

• РАДИО И СВЯЗЬ •

# СПРАВОЧНИК

---

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ  
ТЕХНИКА

## **СПОНСОР ИЗДАНИЯ— БАНК «ОРБИТА»**

**Акционерами банка являются  
ведущие производители телекоммуникаций  
и бытовой радиоэлектроники  
России и других стран СНГ,  
коммерческие банки России  
и иностранные фирмы,  
предприятия разных форм собственности  
и физические лица.**

**Банк имеет филиалы  
в Москве, Калуге, Рязани,  
Туле, Пензе и Новгороде.**

**Открываются филиалы  
в Твери, Омске и Томске.**

**Адрес центрального офиса:**

**117909, Москва-49, ГСП-1  
2-й Спасоналивковский пер., д. 7**

**тел. (095) 238-87-20**

**факс (7095) 230-29-65**

# **СПРАВОЧНИК**

## **ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА**

Под общей редакцией

Ю.Б.Зубарева

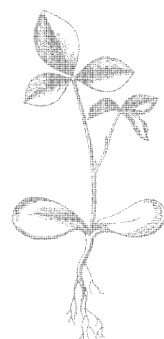
и

Г.Л.Глориозова



МОСКВА „РАДИО И СВЯЗЬ”

1994



Scan AAW

ББК 32.97  
Т31.  
УДК 621.397

Издание справочника осуществлено при участии  
Межрегионального банка развития связи и информатики

Ответственный редактор 1 и 2-й частей Б. П. Хромой, 3-й части — Б. М. Певзнер, 4-й — А. М. Варбанский, 5-й — Н. А. Реушкин

*Авторский коллектив*

Часть 1, 2: Б. Н. Артюхин, В. Г. Балобанов, Р. Е. Быков, В. А. Михайлов, Б. Н. Николаев, Л. Ф. Некрасов, Б. М. Певзнер, Б. П. Хромой, С. М. Шерайзин, В. А. Урвалов.

Часть 3: В. В. Андрусенко, М. А. Бальчюнас, Р. Е. Быков, Б. М. Горелов, Я. М. Гершкович, Б. С. Григорьев, С. И. Ерохина, А. И. Кулыгин, Г. И. Кучеров, Л. Г. Лишин, Я. И. Лукьянченко, И. А. Лучихин, В. И. Малинин, В. С. Неманов, Б. М. Певзнер, В. М. Семенов, Л. Л. Серов, В. Я. Сорин, Д. А. Таранец, С. П. Уханов, С. Е. Юрьева, А. Б. Юхнев.

Часть 4: А. М. Варбанский.

Часть 5: Н. А. Реушкин, А. Я. Белик, В. Д. Кузнецов, А. А. Павлов.

Редакция литературы по радиотехнике и электросвязи

Телевизионная техника: Справочник: Под общей редакцией Ю. Б. Зубарева и Г. Л. Глориозова. — М.: Радио и связь, 1994. — 312 с.: ил.

ISBN 5-256-01026-3.

Приводится хронология развития телевидения (ТВ); рассматриваются основополагающие сведения теории ТВ, формирование и обработка сигналов изображений; описываются аппаратура формирования телевизионных программ, передающая телевизионная сеть, а также приемные распределительные системы телевидения.

Для инженерно-технических и научных работников, эксплуатирующих и разрабатывающих ТВ аппаратуру различного назначения, полезен студентам вузов, специализирующимся в области телевидения.

Т 2402020000-026  
046(01)-94 КБ-52-127-92

ББК 32.97

Справочное издание

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА

Справочник

Редакторы И. С. Балашова, В. Н. Вяльцев  
Обложка художника Н. А. Пашуро  
Художественный редактор В. И. Мусиенко  
Технический редактор Л. А. Горшкова  
Корректор Т. В. Дземидович

ИБ № 1530

ЛР № 010164 от 04.01.92  
Сдано в набор 15.11.93  
Бумага офс. № 1  
Усл. печ. л. 32,76  
Изд. № 23135

Подписано в печать 14.02.94  
Гарнитура литературная  
Усл. кр.-отт. 33,39  
Зак. 4929

Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Печать офсетная  
Уч.-изд. л. 47,5  
Тираж 8000 экз.

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693  
Производственно-издательский комбинат ВИНТИ.  
140010, Люберцы, 10, Московской обл., Октябрьский просп., 403.

ISBN 5-256-01026-3

© Артюхин Б. Н., Балобанов В. Г.,  
Быков Р. Е. и др., 1994



## Предисловие

Информационно развивающееся общество требует оперативной передачи изображений для многомиллионной аудитории, что возможно только с помощью систем ТВ вещания. Только телевидение может обеспечить оперативную доставку всему населению государства (и даже многих государств) визуальную информацию при достаточном качестве воспроизведения. Электронная телевизионная система (ТВС) явилась результатом синтеза достижений многих областей техники: оптики, электронной оптики, вакуумной техники, физической электроники, радиотехники. Телевизионное преобразование «от света до света» воплотило в себе процесс многократных преобразований, реализуемых звеньями ТВС с использованием различных физических явлений. Все они подчинены единой цели: оперативной передаче в реальном времени изображений наблюдаемой сцены по каналу связи с данной пропускной способностью при приемлемом качестве воспроизведения. Несмотря на использование многообразия физических явлений в процессе формирования сигнала изображений ТВС обладает единством с информационной точки зрения. Информационные характеристики являются сквозными пронизывающими все звенья ТВС, относящиеся к различным областям техники. Это, в свою очередь, позволяет относить телевидение как науку к информатике.

Развитие техники телевидения все более расширяет его значение. Важную роль играет не только ТВ вещание, но и прикладное телевидение. Оно не связано с передачей сигналов по эфиру (радио) и потому свободно от норм и стандартов, вводимых для вещания. Оно может быть приспособлено к освоению всего спектрального оптического диапазона длин волн, а не только к спектру, соответствующему видимому глазом участку. Основные ТВ параметры можно варьировать в процессе проектирования и функционирования (адаптации) в конкретной ТВС.

Прикладные ТВС отличаются от вещательных резким сокращением числа получателей информации до одного или нескольких человек (операторов), что позволит перейти к новому типу получателя — автомату, принимающему самостоятельные решения. Такие решения могут быть положены в основу работы телевизионных роботов и автоматов, например для управления конвейером при сортировке писем, посылок по данным направлениям. Автомату может быть поручен процесс учета и контроля прохождения посылок на всем пути их следования.

Прикладные ТВС расширяют производственные возможности человека-оператора благодаря улучшению условий наблюдения за технологическими процессами. Создание ТВ роботов, функционирующих автономно, является более сложной задачей. Использование телевидения в научных целях позволило получить изображения объектов, ранее недоступных для наблюдения. Оснащение ТВ устройствами космических аппаратов принесло человечеству изображения, которые стали вкладом в исследование Земли и планет, в развитие внеатмосферной астрономии. Применение твердотельных ТВС в сочетании с компьютерами обеспечило работу

большого телескопа на космической орбите и значительно повысило качество традиционных наземных астрономических наблюдений. Следствием этого явились новые открытия в астрономии. Развитие твердотельных ТВС вызвало появление ТВ аналогов фотокамер и кинокамер, снимки и фильмы с которых просматриваются на мониторах. Такие камеры не только удобны, но и решают стратегическую задачу экономии уменьшающихся запасов серебра. Сочетание твердотельной ТВ камеры с телефоном решает задачу дешевого и надежного видеотелефона.

Несмотря на разнообразие ТВС по структуре, параметрам и назначению, все они строятся на общих принципах. Самым известным и специфическим для ТВ является принцип развертки. Развертка изображения осуществляется синхронно на передающем и приемном концах системы. Принцип развертки позволяет передавать изображение, состоящее примерно из 0,4 млн. элементов, в виде временного сигнала по одному каналу связи с последующим его восстановлением. Столь же важен принцип многоэлементного накопления за время кадра световых квантов (фотонов), собираемых объективом и преобразуемых в фотоэлектроны с помощью фотоэффекта. Накопление фотоэлектронов в приборах с зарядовой связью (ПЗС) создает дискретное зарядовое изображение, характеризующее таблицей чисел, каждое из которых отражает заряд группы фотоэлектронов, просуммированных одним элементом. Число фотоэлектронов, накопленных каждым элементом, можно оценить в двоичных разрядах. Поэтому накопленное кадровое изображение в первом приближении содержит количество информации, равное произведению:  $\text{числа строк} \times \text{число элементов в строке} \times \text{число разрядов (двоичных единиц)}$ . Такое количество информации извлекается из потока фотонов (светового потока) с помощью принципа накопления и должно быть передано по каналу связи за время кадра (0,04 с). Хотя число извлеченных двоичных единиц информации велико (порядка  $10^6$ ), оно существенно меньше числа накапливаемых фотонов. Принцип развертки позволяет преобразовывать многоэлементное зарядовое изображение в электрический сигнал-функцию времени, подлежащую передаче по каналу связи с последующим приемом и восстановлением светового изображения. Принцип экономной передачи информации по каналу связи формализуется в теории информации, является общим для всех видов связи, включая передачу видеoinформации внутри телевизионного робота. Согласно этому принципу при передаче изображений с помощью идеального кодирования теоретически можно достичь максимальной точности (нижней границы ошибки), лимитируемой значением пропускной способности канала, согласованного с источником информации. Телевидение отличается от других видов связи наибольшей пропускной способностью канала. Его важнейшими проблемами являются повышение точности и скорости при передаче изображений при ограниченных пропускных способностях каналов связи. Эти проблемы актуальны для всех ТВС — от ТВЧ до ТВ роботов.

Ю. Б. Зубарев

## Введение

Данный справочник является попыткой большого коллектива специалистов объединить и обобщить на базе современной теории многочисленные направления развития телевизионной техники, широко используемые в ТВ вещании и различных областях народного хозяйства.

Характер и глубина изложения материала рассчитаны на инженерно-технических и научных работников, разрабатывающих и эксплуатирующих ТВ аппаратуру различного назначения.

Книга охватывает материал, который кратко мож-

но было бы объединить названием «От образования телевизионного сигнала до его передачи в эфир, а также его прием и распределение». Кроме краткой хронологии развития телевидения в нем рассматриваются вопросы формирования ТВ программ, аппаратура этого формирования, входящая в телецентр, внестудийные средства ТВ вещания, видеозапись, телевизионная передающая сеть включая спутниковые ТВС, а также приемные распределительные системы, антенные устройства системы кабельного ТВ, оборудование линейных трактов.

## Краткая хронология развития телевизионной техники

Идея электрической передачи изображений возникла почти одновременно с возникновением электросвязи. Однако из-за сложности и синтетического характера ее реализация задержалась до создания достаточно мощной научно-исследовательской и промышленной базы. Все это не позволяет назвать имя бесспорного изобретателя телевидения и точную дату его изобретения аналогично телеграфу (П. Л. Шиллинг, 1832 г.), телефону (А. Г. Бел, 1876 г.), радио (А. С. Попов, 1895 г.), однако дает возможность судить о влиянии отдельных деятелей и коллективов на развитие данной научно-технической отрасли.

Первая попытка систематизации предложений по электрической передаче изображений относится к 1911 г. [1], когда вышел в свет документированный обзор патентов и трудов, посвященных в основном факсимильной связи. Часть этого капитального исследования посвящена описанию ранних ТВ проектов. Последующие, более продуктивные, периоды развития ТВ техники не нашли такого же систематизированного отражения в печати. Поэтому в основу настоящей краткой хронологии положено несколько работ [2—7], снабженных ссылками на первоисточники. Спорные даты и факты уточнялись по первым публикациям.

По набору используемых технических средств и достигнутым результатам в хронологии развития телевидения можно выделить следующие периоды: 1) начальный (до 1920 г.) (период размышления); 2) механического ТВ (1921—1935 гг.); 3) электронного ТВ (1936—1966 гг.); 4) цветного и спутникового ТВ (с 1967 г.).

Первый проект передачи по проводам заранее подготовленных изображений выдвинул английский механиком А. Беном в 1843 г. [1]. Вслед за ним несколько изобретателей предложили ряд автографических систем, но до уровня коммерческого использования был доведен лишь пантографический телеграф итальянца Д. Казелли. В России аппараты его системы действовали на линии Москва—Петербург в 1866—1868 гг. Для передачи с помощью пантографа требовалось предварительно нарисовать изображение диэлектрическими чернилами на металлической фольге, укрепляемой в передающем аппарате. В аналогично устроенном приемном аппарате вместо фольги помещали чистый лист бумаги, пропитанный раствором, приобретавшим окраску под действием электрического тока. Для развертки изображения использовались маятники. При синхронном движении маятников, одновременно приводимых в действие особым сигналом, по фольге в передающем и по бумаге в приемном аппаратах перемещаются контакты, осуществляя построчную развертку изображения. Эти контакты, включенные в телеграфную линию вместе с батареей питания, составляют общую цепь. Строка развертывалась за одно колебание маятника, а все изображение, поделенное на 120 строк, передавалось за 2 мин. Тариф на пользование пантографом был высок<sup>1</sup>. Поэтому пантограф не пользовался популяр-

ностью и не оправдывал расходов на эксплуатацию.

От автографических систем ТВ унаследовало хорошо осознанную и экспериментально доказанную необходимость, во-первых, поэлементной развертки, во-вторых, построчной коммутации элементов изображения, в-третьих, синхронного сканирования.

Для передачи натуральных объектов в движении, кроме значительного увеличения скорости развертки, требовалось прибегнуть к оптической проекции, преобразовать отраженный объектом свет в электрические сигналы, передать их по линии связи, а затем осуществить обратное преобразование электрических сигналов в световое излучение. Средства для этого уже были в распоряжении исследователей.

В средние века для забав и развлечений служила камера-обскура — полый ящик с маленьким отверстием, дававший перевернутое изображение предметов и людей. Научное ее значение, как отметил акад. С. И. Вавилов, заключалось в том, что она впервые позволила получить оптическое изображение вне человеческого глаза [8]. В XVI в. появились камеры, вооруженные простой линзой. В 1839 г. Э. Беккерель обнаружил фотоэлектрический эффект — преобразование солнечного света в электричество с помощью пластинки окисленной меди, помещенной в электролит [9]. Эффект Беккереля вначале не повлиял на развитие ТВ, хотя впоследствии его использовали в ряде ТВ проектов. Открытие фотопроводимости селена в 1873 г. У. Смита, наоборот, вызвало всплеск изобретательской активности. Оно почти совпало по времени с изобретением телефона, в котором многие увидели электрическую модель человеческого слуха. Поиск электрической аналогии другого органа чувств — зрения — привел к проектам первых ТВ систем (ТВС).

Селеновые фотоэлементы имели недостаток — медленный фотоэффект. В начале XX в. они были вытеснены безынерционными вакуумными фотоэлементами на основе внешнего фотоэффекта, обнаруженного в 1886 г. как побочное явление в известных опытах Г. Герца с электромагнитными волнами. Большой вклад в изучение этого фундаментального явления и формулирование основных законов внешнего фотоэффекта (1888 г.) внес А. Г. Столетов [9].

Технические средства для обратного преобразования электрических сигналов в изображение на первых порах были весьма несовершенны, хотя удачные опыты состоялись намного раньше, чем открытие фотоэффекта. Если не считать кратковременного искрения электростатических машин и разрядов лейденских банок (конденсаторов), вследствие их невысоких энергетических характеристик, то пальма первенства, несомненно, принадлежит петербургскому ученому В. В. Петрову, который в 1802 г. получил устойчивый свет от volta столба, указав три вида открытых им «световых явлений»: электрическую дугу, газовый разряд, люминесценцию [10].

Авторы первых проектов ТВС использовали также свет от накаливаемых тел, поскольку электровакуумная осветительная лампа, изобретенная А. Н. Лодыгиным в 1871 г. и усовершенствованная Т. Эдисоном в 1880 г., не сразу получила широкую известность. Яр-

<sup>1</sup> За передачу телеграммы полного размера 100×130 мм отправитель платил 16 руб. (двухнедельное жалование мелкого чиновника).

жость элементов воспроизводимого изображения предлагалось модулировать электрическим сигналом от фотоэлемента как непосредственно, так и с помощью реле или модуляционных устройств, основанных на эффектах магнито- или электрооптического вращения плоскости поляризации света, открытых соответственно в 1845 и 1875 г. М. Фарадеем и Д. Керром.

С момента зарождения ТВ развивалось международными усилиями. В период с 1878 г. до конца XIX в. представителями разных сословий в 11-ти странах было вынесено на суд общественности 25 проектов ТВС [3], часть которых получила широкую известность.

1878 г. Профессор физики А. де Пайва (Португалия) выступает с проектом ТВС, где в качестве передатчика использует камеру-обскуру с селеновой фоточувствительной поверхностью, «различные области которой получают разное воздействие», и подвижным контактом, а в качестве приемника — накальный элемент за матовым стеклом [1, 6].

1879 г. Изобретатель Д. Редмонд (Ирландия), чтобы избежать трудностей сканирования и синхронизации (оупущенных в описании де Пайвы), предложил в качестве передатчика мозаичную селеновую панель, каждый элемент которой соединен с соответствующим накальным элементом приемной панели многопроводной линией связи [3].

1880 г. Государственный служащий Д. Керн (США) публикует описание аналогичного многопроводного устройства. Приводимая в ряде источников более ранняя дата этого изобретения (1875 г.) не имеет документального подтверждения [1, 3].

Профессора-электротехники У. Эйртон и Д. Перри (Англия) в подобной же системе предлагают конструкцию приемного устройства на основе эффекта Керри [3]. Инженер М. Леблан (Франция) предложил развертывать изображение с помощью качающихся зеркал и впервые выдвинул идею передачи цветных изображений, используя цветовыделение трехгранной призмой [1, 2].

1881 г. Адвокат К. М. Сенлек (Франция) комбинирует для передачи изображения мозаичную селеновую панель, а для приема — мозаику из накаливаемых проволок с двумя механическими коммутаторами и вводит передачу отдельного синхронизирующего сигнала [2].

1884 г. Студент П. Нипков (Германия) патентует проект «электрического телескопа» — ТВС на основе сканирующего диска со спирально расположенными отверстиями. Для модуляции яркости в приемнике использует эффект Фарадея [1, 6].

1885 г. Студент П. И. Бахметьев (Россия) описывает проект, в котором спиральная развертка изображения осуществляется линейкой из 12 селеновых фотоэлементов, а воспроизведение — тем же числом регулируемых газовых горелок. В [11] сообщается, что доклад об этой системе автор сделал в 1880 г.

1889 г. Изобретатель Л. Вейлер (Франция) предлагает зеркальный сканирующий барабан [2].

1897 г. Учитель Я. Щепаник (Польша) патентует в Англии ТВС, основанную на идеях М. Леблана, в которой предусматривает передачу звукового сопровождения [1].

1898 г. Гимназист из г. Ченстохова (Польша) М. Вольфке запрашивает патент в России на ТВС с передачей сигналов по радио и воспроизведением изображения с помощью диска Нипкова и газосветной трубки [12].

1899 г. Инженер-технолог А. А. Полумордвинов (Россия) патентует цветную ТВС с последовательной передачей цветоделенных сигналов. Основываясь на трехкомпонентной теории зрения Ломоносова—Юнга—Гельмгольца, он вводит понятие «триада цветов» [7, 13].

1890 г. Военный инженер К. Д. Перский (Россия) в докладе на Международном конгрессе в Париже впервые вводит в международное обращение термин

television [14]. Разнообразие предложенных оптико-механических средств и методов опережало практические успехи, состоявшие в передачах одного или нескольких элементов изображения, которые смогли продемонстрировать Редмонд, Сенлек, Эйртон и Перри [3]. В XIX в. сложились предпосылки для зарождения электронного ТВ. В 1858 г. Ю. Плюккер (Германия) открыл катодные лучи [10], в 1871 г. У. Крукс (Англия) изготовил трубки для исследования свечения различных веществ, облучаемых широким катодным пучком в разреженной среде, в 1897 г. К. Ф. Браун (Германия) применил катодную трубку для индикации быстротекущих электрических процессов и для этого установил в ней диафрагму с отверстием, ограничивающим поперечное сечение катодного пучка. Он воспользовался свойством катодных лучей отклоняться под воздействием магнитного поля. Исследуемый ток подводил к внешнему электромагниту, и на флюоресцирующем экране высвечивалась линия между двумя точками, соответствующими положительному и отрицательному пикам. Для наблюдения формы процесса эту линию требовалось спроецировать на внешний экран и развернуть по оси времени с помощью качающегося зеркала, укрепленного на подвижном якоре другого электромагнита. В последующие годы трубка Брауна претерпевает ряд существенных изменений: Д. Д. Томсон (Англия) при определении отношения масса/заряд электрона применил отклоняющие пластины внутри колбы (1899 г.), А. Венельт (Германия) ввел фокусирующий электрод и накальный катод (1903 г.), М. Дикман (Германия) запатентовал устройство с ручным управлением перемещения светящегося пятна по экрану катодной трубки (1906 г.) [6], Л. И. Мандельштам (Россия) предложил схему получения токов пилообразной формы (1907 г.), усовершенствованную Д. А. Рожанским [15]. Наконец, появляются предложения по применению (ЭЛТ) электронно-лучевой трубки в ТВ.

1907 г. Преподаватель физики и электротехники Б. Л. Розинг (Россия) запрашивает патенты в России, Англии и Германии на «Способ электрической передачи изображений», отличающийся применением катодной трубки в приемнике. Он впервые вводит модуляцию плотности катодного пучка и разностороннюю развертку по двум координатам для образования раstra [4]. В механическом передающем устройстве Б. Л. Розинг использует безынерционный калиевый элемент с внешним фотоэффектом.

1908 г. Инженер А. К. Суинтон (Англия) выдвигает идею применения электронного луча для развертки изображения как в приемном, так и в передающем устройствах [4].

1911 г. Б. Л. Розинг публично демонстрирует прием изображения решетки из четырех светлых полос на темном фоне с помощью изобретенной им ЭЛТ [4].

1912 г. А. К. Суинтон публикует грубую схему полностью электронной ТВС, включая передающую ЭЛТ с газонаполненным объемом, мозаичной фоточувствительных элементов из рубидия, ускоряющим напряжением 100 кВ [4]. Попытки Суинтона доказать работоспособность предложенного им устройства не увенчались успехом.

Первая мировая война (1914—1918 гг.) остановила работы по ТВ, но в военные годы развились радиотехника и радиопромышленность, обеспечивавшие армию воюющих держав средствами связи. В эти годы была разработана технология изготовления электронных приемно-усилительных и генераторных ламп, а также фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Обретенный мир стимулировал повышенный интерес к научной работе. Новому подъему ТВ, наметившемуся в начале 20-х гг. XX в., в значительной мере способствовало распространение массового радиовещания. В этот период создаются ТВС с оптико-механическим разложением и электронным усилением, предложенные изобретателями разных стран.

1919 г. Инженер Д. Михали (Венгрия) построил ТВС «Телегор» с разверткой изображения с помощью вибрирующих зеркал и осуществил передачу простых силуэтных изображений [16].

1920 г. И. А. Адамян (РСФСР) разработал и испытал на практике ТВС с применением промежуточного клише — бумажной ленты, на которой заранее записывались сигналы изображения [17].

1921 г. Группа специалистов под руководством М. А. Бонч-Бруевича (РСФСР) создала «радиотелескоп» — ТВС с передающей матрицей  $10 \times 20$  калиевых фотоэлементов и приемной матрицей из такого же числа миниатюрных неоновых ламп. О радиотелескопе председатель Радиосовета А. М. Николаев докладывает В. И. Ленину [18].

1922 г. Изобретатель Б. А. Рчеулов (РСФСР) патентует ТВС с вакуумными трубками, содержащими вибрирующие фотоэлемент (на передающей стороне) и катодолуминесцентный точечный источник света (на приемной), а также предлагает одновременно записывать сигналы звука и изображения на стальной ленте для последующего их воспроизведения в приемнике [19, 20].

1925 г. Ч. Дженкинс (США), Д. Берд (Англия), И. А. Адамян (СССР) демонстрируют передачи изображений с использованием диска Нипкова [20].

1926 г. Л. С. Термен (СССР) демонстрирует в Москве и Ленинграде перед массовой аудиторией зеркально-дисковую ТВ с воспроизведением изображения на экране площадью  $1 \text{ м}^2$  [21].

1927 г. Специалистами фирмы «Белл» (США) во главе с Г. Е. Айвсом разработан видеотелефон и продемонстрирована опытная видеотелефонная связь с четкостью 50 строк на расстоянии 400 км [20].

В годы первой и второй пятилеток в СССР широко развернулись исследовательские работы в области ТВ, объединенные единым планом. Они проводились под руководством С. Н. Какурина, П. В. Шмакова и В. И. Архангельского (Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ) им. В. И. Ленина), А. А. Чернышева и Я. А. Рыфтина (Электrofизический институт), В. А. Гурова и А. А. Расплетина (Центральная радиолaborатория), А. Л. Минца и А. Я. Брейтбарта (laborатории завода им. Коминтерна), А. Ф. Шорина и Б. Л. Розинга (Центральная лаборатория проводной связи), И. Е. Горона (НИИсвязь) и т. д. На развитие работ определенное воздействие оказывали сообщения из-за рубежа о том, что крупные радиотехнические компании и фирмы вкладывают значительные средства в разработку передающей ТВ аппаратуры и выпуск телевизоров. С скромные бюджетные ассигнования на исследовательские работы в области ТВ (например, на 1932 г. было выделено 784 тыс. руб.) вынуждало констатировать дальнейшее отставание от уровня зарубежной техники [22].

1928 г. Началось опытное ТВ вещание в США, Англии и Германии с механической разверткой на 30—48 строк [20].

1931 г. 29 апреля. Первый опыт передачи изображения из Москвы в Ленинград через коротковолновый передатчик на аппаратуре ВЭИ с дисками Нипкова [5].

1 октября. Из студии Московского радиовещательного узла начались регулярные ТВ передачи на средних волнах с четкостью 30 строк, 12,5 кадров [5]. В том же году опытные ТВ передачи были проведены в Ленинграде, Томске и Одессе. Они вызвали интерес публики, но после того, как перестал действовать фактор новизны, качество изображения вызвало разочарование. Такие недостатки, как слабая яркость, крайне низкая четкость, малый размер экрана, неустойчивая синхронизация, не компенсировались в общем справедливыми рассуждениями специалистов об узкой полосе частот и, следовательно, теоретически неограниченной дальности распространения радиосигналов изображения.

Многочисленные предложения (более 700 с 1925 г. по 1930 гг. [20]) по усовершенствованию способов развертки, передачи и воспроизведения изображений не могли дать и не дали ощутимых результатов, так как не устранили главного противоречия механических ТВС: повышение четкости приводило к уменьшению размера элемента изображения и, как следствие, к снижению чувствительности. Непродолжительный период торжества механического ТВ не увенчался созданием впечатлительной ТВС удовлетворительного качества, но оказался продуктивным для формулирования общих требований к зрительной коммутации, разработки устройств, обучения специалистов. Механическое ТВ уступило место электронному в середине 1930-х гг. Отдельные энтузиасты и ранее занимались конструированием в области электронного ТВ. Важным шагом явилась разработка в 1929 г. высоковакуумного кинескопа (термин введен В. К. Зворыкиным), пришедшего на смену катодным трубкам с газовой фокусировкой. Передающие трубки предлагаются в патентных заявках Е. Шульца (Франция, 1921 г.), В. К. Зворыкина (США, 1923 г.), М. Дикмана и Р. Хелла (Германия, 1925 г.), Б. П. Грабовского с соавторами (СССР, 1925 г.), А. А. Чернышева (СССР, 1925 г.), Ф. Фарнсворта (США, 1927 г.), К. Тиханьи (Венгрия, 1928 г.) и др. [6, 20, 23]. Демонстрации передачи и приема изображений полностью электронными средствами проводятся в 1928 г. Грабовский, в 1929 г. Фарнсорт и в 1930 г. М. Арденне (Германия), причем первые двое применили сконструированные ими передающие и приемные трубки, а третий использовал в качестве передающей кинескоп, работающий по методу бегущего луча (просвечивается передаваемый объект-киноплёнка развертывающим пятном с люминесцентного экрана на фотоэлемент). Эти устройства не создали серьезной конкуренции механическому ТВ из-за неэффективного использования светового потока. Поиски средства повышения чувствительности ТВ привели к использованию принципа, или эффекта накопления заряда, образующегося на фоточувствительном элементе в промежутках между коммутациями. Этот эффект был не нов. Еще А. Г. Столетов при исследовании внешнего фотоэффекта накапливал электрические заряды на слюдяном конденсаторе перед подключением измерительного прибора [9]. Аналогичный метод применял А. Вольта при измерении атмосферного электричества почти за сто лет до Столетова. Первой ТВС с накоплением зарядов был «радиотелескоп» М. А. Бонч-Бруевича 1921 г., в котором к каждому из 200 элементов матрицы подключен небольшой конденсатор. Конструктивная находка Бонч-Бруевича не была своевременно отражена в печати и не помешала Ч. Дженкинсу взять патент на механическую ТВС с накоплением в 1928 г.

В 1930 г. радиофизик А. П. Константинов (СССР) в патентной заявке на передающую ТВ трубку с мозаичным фотокатодом предложил способ накопления зарядов благодаря емкостям, образованным отдельными фоточувствительными элементами, коммутуруемыми электронным лучом [23]. Следующий шаг в этом направлении был сделан С. И. Катаевым (СССР), запатентовавшим в 1931 г. трубку с накоплением и коммутацией путем разряда элементарных конденсаторов с помощью вторичной эмиссии, а в 1932 г. опубликовавшим статью, в которой указал на возможность изготавливать мозаику способом катодного распыления серебра [24].

1933 г. В. К. Зворыкин (США) прочитал доклад на конференции Общества радиоинженеров США, а затем — перед учеными Москвы и Ленинграда [25] о разработанной им и его сотрудниками передающей ТВ трубке с накоплением зарядов на мозаичной фоточувствительной мишени — *иконоскопе* (термин введен В. К. Зворыкиным).

П. В. Шмаков и П. В. Тимофеев (СССР) подают заявку на *супериконоскоп* — передающую ТВ трубку с переносом электронного изображения со сплошного фо-

токахода на диэлектрическую накопительную мишень [23].

Г. В. Брауде (СССР) разработал способ шумовой коррекции ламповых усилителей, а также создал теорию широкополосного усиления [26].

1934 г. Л. А. Кубецкий (СССР) демонстрирует работу многокаскадного фотоумножителя (изобретенного им в 1930 г.) с усилением более 1000 [5] и предлагает иконоскоп с встроенным вторично-электронным умножителем.

Ф. Фарнсворт (США) демонстрирует *диссектор* [23] — передающую трубку без накопления зарядов со сплошным фотокатодом и вторично-электронным умножителем.

Б. В. Круссер и Н. М. Романова (СССР) создают первый советский иконоскоп [5].

1935 г. Я. А. Рыфтин (СССР) демонстрирует полностью электронную ТВС на 180 строк с использованием отечественных трубок [5].

В Ленинграде создан Всесоюзный научно-исследовательский институт телевидения (ВНИИТ), возглавивший важнейшие разработки в области ТВ техники [5].

1936 г. Б. В. Круссер и И. Ф. Песьяцкий (ВНИИТ) изготовили первые образцы супериконоскопа [23].

Лондонский телецентр начал ТВ передачи по электронной системе с четкостью 405 строк [27].

Впервые проведены ТВ передачи Олимпийских игр из Берлина [27].

Началось проектирование и строительство телецентров в Ленинграде на отечественном оборудовании, разработанном ВНИИТ, и в Москве на импортном оборудовании, закупленном у фирмы RCA [5].

1937 г. В США и Германии проведены экспериментальные ТВ передачи с четкостью 441 строка [27].

Состоялись пробные передачи Ленинградского (240 строк, 25 кадров) и Московского (343 строки, 25 кадров, 50 полей) телецентров [5].

Мастерские ВНИИТ выпустили первую серию телевизоров типа ВРК, разработанных А. А. Расплетиным, В. К. Кенигсоном, М. Н. Товбиным и С. А. Орловым, для приема передач Ленинградского телецентра [23].

1938 г. Завод им. Козицкого в Ленинграде приступил к серийному выпуску телевизоров ТК-1 по лицензии фирмы RCA [5].

Д. Л. Берд (Англия) продемонстрировал цветную передачу с помощью механической ТВС на 120 строк [7].

Парижский телецентр начал ТВ передачи с Эйфелевой башни с четкостью 441 строка [27].

1939 г. Ф. Фишер (Швейцария) изобрел систему «Эйдофор» для приема ТВ изображений на большой экран [28].

В одном из жилых домов Москвы введен в эксплуатацию ТВ трансляционный узел с разводкой видеосигнала по кабелю на 30 абонентов [5].

1940 г. А. С. Бучинский (СССР) сконструировал кинескоп с ионной ловушкой [14].

Завод «Радист» в Ленинграде приступил к массовому выпуску телевизоров 17ТН-1 по схеме М. Н. Товбина, С. А. Орлова и др. [23].

П. Голдмарк (США) продемонстрировал цветную последовательную ТВС на 343 строки с электронно-лучевым сканированием и механическим цветоделением [7].

Приняты новые ТВ стандарты в СССР (441 строка) и в США (525 строк) [5].

В начале второй мировой войны ТВ вещание в Западной Европе прекратилось осенью 1939 г., в СССР — летом 1941 г. К этому времени основные научно-технические проблемы электронного ТВ были решены. Новые стандарты на ТВ сигнал, принятые в законодательном порядке, обеспечивали передачу изображений высокого качества. Быстрыми темпами увеличивалось промышленное производство приемной и передающей ТВ аппаратуры, а число компаний и фирм

США и Западной Европы, занятых в этой сфере, в короткий срок выросло до 50.

В СССР общий объем капиталовложений на развитие ТВ по плану третьей пятилетки составлял около 100 млн. руб. Если к началу войны приемный парк насчитывал всего 4000 телевизоров, то на 1942 г. планировался выпуск около 20 000, из них 1800 — упрощенных, предназначенных для трансляционных узлов с кабельной разводкой видеосигнала, строительство которых намечалось в Москве, Ленинграде и Киеве [29].

Особое место в пятилетнем плане отводилось созданию ТВ комплекса Дворца Советов. Проектное задание готовила под руководством А. В. Дубинина большая группа ленинградских и московских специалистов: А. А. Расплетин, И. С. Джигит, М. Н. Товбин, С. П. Пивоваров, А. М. Халфин и др. Подразумевалось, что эта работа будет стимулировать развитие средств ТВ вещания и заложит основу полной телефикации страны.

В военные годы ТВ вещание продолжало развиваться только в США. Известные факты применения ТВ в действующих армиях США и Германии — для контроля за движением торпед и управляемых снарядов — носят единичный характер. В системе ПВО блокадного Ленинграда использовалась аппаратура для преобразования радиолокационного изображения в телевизионное, изготовленная сотрудниками ВНИИТ (Э. И. Голованевский, И. Ф. Песьяцкий, Н. Ф. Курчев и др.) на базе контрольно-испытательной установки завода «Радист» [30].

Наиболее значительным достижением военных лет явилась разработка в США высококачественной передающей ТВ трубки *суперортикона* [31]. В СССР в конце 1943 г. возобновились разработки в области ТВ, а в 1944 г. начались восстановительные работы под руководством С. В. Новаковского на Московском телецентре (МТЦ).

1945 г. 7 мая Московский телецентр первым в Европе возобновил передачи, прерванные войной [5].

1946 г. В Москве под руководством Е. Н. Геништы разработан телевизор «Москвич-Т-1», в Ленинграде — «Ленинград Т-1» (разработчики Д. С. Хейфец и С. А. Мазиков) [5].

Возобновились ТВ передачи в Англии [32].

1947 г. Начались опытные передачи Ленинградского телецентра, перестроенного на стандарт 441 строка, 25 кадров, 50 полей.

В СССР начата разработка цветной ТВС с последовательной передачей цветов [7].

1948 г. Московский телецентр перешел на стандарт 625 строк [5]. Опытный образец студийной аппаратуры был разработан при участии немецких специалистов. Во Франции принят стандарт 819 строк [4].

1949 г. Советская промышленность приступила к массовому выпуску телевизора КВН-49 конструкции Н. К. Кенигсона, Н. М. Варшавского и И. А. Николаевского. Выпуск продолжался до 1960 г. и составил 12 млн. шт. [5].

Специалисты ВНИИТ завершили создание стационарной аппаратуры МТЦ на 625 строк, 25 кадров, 50 полей [5].

Парк телевизоров в США составлял 2 млн. шт. и прибавлялся на 400 тыс. шт. ежемесячно [28].

1950 г. В США разработан *видикон* — передающая ТВ трубка с фотосопротивлением [31].

П. В. Шмаков с сотрудниками демонстрирует работу установки стереоскопического ТВ [5].

1951 г. Пущен в пробную эксплуатацию Киевский телецентр, возобновил передачи Ленинградский, реконструированный на стандарт 625 строк, начал передачи первый в стране любительский телецентр в Харькове с четкостью 320 строк. В последующие годы радиолобителями в СССР было построено 19 телецентров [5].

С июня по октябрь компания CBS впервые в США

вела регулярное цветное ТВ вещание по системе с последовательной передачей цветов [7].

1952 г. Возобновились ТВ передачи в ГДР [32].

1953 г. Начались ТВ передачи в ЧССР и Японии [32].

1954 г. Начал передачи Московский экспериментальный центр цветного ТВ по системе с последовательной передачей цветов. Для приема этих передач завод им. Козицкого выпустил партию цветных телевизоров «Радуга» с вращающимся трехцветным диском [7].

В США введен стандарт NTSC на совместимую систему цветного ТВ. Специалисты фирмы RCA во главе с Г. Лоу разработали промышленный образец массового кинескопа [28].

Начались ТВ передачи в Болгарии, ПНР и ВНР [32].

Создана ТВ сеть «Евровидение» [32].

1955 г. По инициативе П. В. Шмакова в Ленинграде разработана и построена совместимая ТВС по типу NTSC [7].

1958 г. И. А. Андриановой (СССР) разработан промышленный образец цветного массового кинескопа [5]. Конец 50-х — начало 60-х годов ознаменовалось бурным развитием ТВ, вызванным необходимостью, во-первых, сделать действительно массовым это наиболее совершенное средство информации населения, во-вторых, создать условия для широкого применения ТВ устройств в народном хозяйстве и научных исследованиях. Не последнюю роль сыграли благоприятные перспективы освоения космического пространства и связанная с ними потребность в надежных и высококачественных ТВС. С этого времени развитие ТВ определялось деятельностью больших коллективов и объемом выделенных ресурсов.

1959 г. 14 октября. Начало космического ТВ. Автоматическая межпланетная станция «Луна-3» впервые сфотографировала невидимую сторону Луны, а затем с помощью ТВС передала на Землю полученные снимки [5].

К концу года в СССР вели передачи 84 телецентра. Приемный парк превысил 3,5 млн. телевизоров [5].

1960 г. Создана телевизионная сеть «Интервидение» [32].

1961 г. 12 апреля Ю. А. Гагарин (СССР) совершил орбитальный полет вокруг Земли на корабле-спутнике «Восток». За состоянием космонавта в полете велось наблюдение с помощью ТВ аппаратуры [33].

1962 г. Осуществлена ТВ передача из Америки в Европу через ИСЗ «Телстар» [33].

1963 г. К началу года в СССР работало 130 телецентров и 250 ТВ ретрансляторов. Парк телевизоров превысил 9 млн. [5].

1965 г. В СССР запущен спутник связи «Молния-1» и проведена прямая ТВ передача из Владивостока в Москву [5].

Подписано соглашение между правительствами СССР и Франции о сотрудничестве в области цветного ТВ [32].

К середине 60-х гг., когда европейские страны начали внедрение цветного ТВ вещания, в США насчитывалось почти 20 млн. цветных телевизоров, а система NTSC была официально принята Японией (1960 г.) и Канадой (1964 г.). В ходе изучения цветных ТВС (их было предложено более тридцати) и последовавших затем острых дискуссий мнения экспертов разделились. Учитывая возросшие возможности обмена ТВ программами, предпринимались попытки принять единую для Европы систему. Из множества систем остались две.

Для СССР с точки зрения помехозащищенности при передаче сигналов на большие расстояния (громадная территория, 11 часовых поясов) и минимальных

искажений при видеозаписи наиболее приемлемой оказалась советско-французская ТВС СЕКАМ-III. Эту же систему приняли Франция, страны СЭВ, ряд африканских и азиатских стран. Другие европейские страны ориентировались на западно-германскую систему PAL, являющуюся довольно близким вариантом NTSC, так как не могли не принять во внимание экономические и иные соображения, продиктованные традиционными связями с фирмами США и Японии [7].

Стандартизация цветных ТВС ускорила развитие ТВ в СССР. Форсируются пуско-наладочные работы на Общесоюзном телецентре им. 50-летия Октября — первом в стране комплексе ТВ аппаратуры 2-го поколения — с широким использованием кассетных блоков на полупроводниковых приборах и техники видеозаписи. Подготавливается внедрение спутникового ТВ вещания для передачи программ центрального телевидения (ЦТ) в отдаленные районы страны. В области приемной техники этот период отмечен унификацией схем в расчете на поточное производство с широким использованием однотипных деталей, узлов, электронных приборов.

1966 г. Годовой выпуск телевизоров в СССР достиг 4,4 млн. шт. [5].

1967 г. Начались ТВ передачи из Москвы через спутник связи «Молния-1» и сеть наземных станций «Орбита» [33].

1967 г. С 1 октября Москва и Париж приступили к регулярным цветным передачам по ТВС СЕКАМ [5].

1967 г. Государственная комиссия приняла в эксплуатацию первую очередь Общесоюзного телецентра им. 50-летия Октября и самую высокую в мире телебашню высотой 537 м [5].

1969 г. Лунный модуль космического корабля США «Аполлон-11» с астронавтами Н. Армстронгом и Э. Олдрином совершили посадку на Луне [33].

1970 г. На Луну доставлен автоматический самодостаточный аппарат «Луноход-1», которым управляли с Земли с помощью ТВС [33].

1971 г. Телевизионная сеть страны состоит из 127 программных телецентров, более 1000 ретрансляционных станций и 45 млн. телевизоров [5].

1973 г. В СССР разработаны *глетиконы* — передающие ТВ трубки с мишенью на основе окиси свинца [35].

1975 г. За год в СССР выпущено около 7 млн. телевизоров, из них около 600 тыс. цветных [36].

1976 г. Введена в действие спутниковая ТВС «Экран» с использованием ИСЗ на геостационарной орбите, охватывающая районы Сибири, Крайнего Севера, Дальнего Востока (40% территории СССР) [33].

1979 г. Внедрена спутниковая ТВС «Москва» для передачи общесоюзной ТВ программы в удаленные пункты европейской части страны, Зауралья, Средней Азии и Дальнего Востока [33].

1980 г. Завершено создание Олимпийского телерадиокомплекса (ОРТК), начатого в 1976 г. под руководством И. А. Росселевича. Его основу составила аппаратура 3-го поколения, рассчитанная только на цветное вещание, разработанная в 1974—1977 гг. [36]. В аппаратуре нашли широкое применение интегральные микросхемы и автоматизированное производство, предусмотрены функциональные нововведения, которые позволили существенно расширить творческие и технические возможности персонала, например электронная проекция заднего плана (рир-проекция), электронная указка, аппаратура раскрашивания фона и надписей, спецэффектов с программным управлением и т. д. В комплекс входит передвижная ТВ станция (ПТС) «Магнолия», заменившая первую цветную ПТС «Лотос», и передвижная видеозаписывающая станция. Как для студийного, так и внестудийного ТВ вещания служит унифицированная передающая камера на трех глетиконах, снабженная вариобъективом, изменяющим



фокусное расстояние в 10—20 раз. Для формирования 20 международных, 9 информационных и 3 внутрисюжетных олимпийских программ использовалось 330 передающих камер, 88 ПТС «Магнolia», около 200 стационарных и 180 временных аппаратных ТВ и радиовещания, более 300 видеоманитонов — в 3 раза больше, чем на предыдущих олимпиадах в Мюнхене и Монреале. Для освещения хода соревнований было оборудовано около 1300 комментаторских мест [62]. Когда закончилась Московская олимпиада, ОТРК стали использовать для формирования дублей программ ЦТ. В 1985 г. Первая общесоюзная программа имела четыре дубля и распространялась по территории с населением 230 млн. чел. (более 93% населения страны). Вторая общесоюзная программа имела два дубля. Современный уровень развития ТВ у нас характеризуется разветвленной системой спутникового ТВ вещания, большим числом наземных передающих станций (около 10 000) и обширным парком телевизоров (около 100 млн. шт.). К концу 1986 г. в стране действовали 515 мощных ТВ станций, около 6000 маломощных, 3500 системы «Экран», 800 системы «Москва», 92 станции системы «Орбита», 17 станций «Интерспутник». Широкое распространение получили прикладные визуальные и автоматические ТВ устройства, применяемые в различных средах: на земле, под водой и в космосе, где в 1986 г. получены ТВ изображения ядра кометы Галлея [37]. Завершена работа по международному проекту «Лощман», в котором принимали участие организации СССР, Европейского космического агентства и США. По полученным изображениям оперативно уточнялась траектория движения кометы, что позволило провести приближавшийся к ней европейский аппарат «Джотто» на расстоянии около 500 км от ядра со средней ошибкой 80 км.

В ближайшие 10—20 лет возможности ТВ и его роль в жизни общества возрастут. В 1982 г. XV Пленарная Ассамблея МККР при участии делегации СССР приняла рекомендацию по цифровому кодированию видеосигналов в аппаратно-студийных комплексах, позволившему заменить несовместимые стандарты аналогового кодирования СЕКАМ, NTSC и PAL единым цифровым стандартом, что, с одной стороны, повышает качество изображения у миллионов телезрителей, а с другой — облегчает международный обмен ТВ программами. Поскольку ни одна страна не предполагает изменять излучаемые радиосигналы, то на выходе передающих ТВ станций будут устанавливаться цифроаналоговые преобразователи [36]. Широко используется цифровая техника в ТВ аппаратуре 4-го поколения. Также по рекомендации МККР с 1974 г. у нас и в других странах разрабатывается международный стандарт на ТВС высокой четкости (ТВЧ), а начиная с 80-х гг. на международных выставках и ярмарках демонстрируются образцы приема-передающей и видеозаписывающей аппаратуры на стандарт с удвоенным числом строк разложения, высотой экрана (проекционного) 0,5...1 м при соотношении сторон 16/9 [34]. За рубежом проводятся экспериментальные передачи ТВЧ по радиоканалам с полосой пропускания до 100 МГц и по волоконно-оптическим линиям кабельного ТВ. В нынешнем тысячелетии функции телевизора существенно расширятся благодаря дальнейшему внедрению бытовой видеозаписи и систем информационного обслуживания населения с выводом дополнительной буквенно-графической информации на ТВ экран. Подобные системы в ряде зарубежных стран успешно функционируют. Совершенствование ТВ техники тесно связано с развитием элементной базы: интегральной схемотехники, оптоэлектроники, безвакуумных преобразователей на ПЗС с устройствами памяти, жидкокристаллических плоских экранов и т. д. Научные достижения в этих областях позволяют утверждать, что ТВ техника, развиваемая международными усилиями, продолжает прогрессировать.

## Список литературы

1. Korn A., Glatzer B. Handbuch der Phototelegraphie und Teleautographie.— Leipzig, 1911.— 488 с.
2. Dauvillier A. La télévision électrique // *Ravde Generale de L'e l'électricité*.— 1928.— Т. 23.— N 1.— P. 5—23; N 2.— P. 61—73; N 3.— P. 117—128.
3. Shiers G. Historical notes on television before 1900 // *SMPTE J.*— 1977.— V. 86, N 3.— P. 129—137.
4. Горохов П. К., Б. Л. Розинг — основоположник электронного телевидения.— М.: Наука, 1964, 120 с.
5. Бурлянд В. А., Володарская В. Е., Яроцкий А. В. Советская электротехника и электросвязь в датах.— М.: Связь, 1975, 192 с.
6. Goebel G. Aus der Geschichte des Fernsehens — die ersten fünfzig Jahre // *Bosch Technische Berichte*.— 1979.— Bd. 6.— Ht. 5/6.— S. 211—235.
7. Певзнер Б. М. Системы цветного телевидения.— Л.: Энергия, 1969, 232 с.
8. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII в.— М.: Наука, 1974, 352 с.
9. Урвалов В. А. Открытие фотоэлектрического эффекта и его освещение в историко-технической литературе: Сб. Из истории энергетики, электроники и связи.— М.: АН СССР, 1984.— Вып. 14.— С. 120—138.
10. Урвалов В. А. Очерки истории телевидения.— М.: Наука, 1990, 216 с.
11. Бахметьев П. И. Новый телефотограф // *Электричество*.— 1885.— № 1.— С. 2—7.
12. Привилегия № 4498 (Россия). Прибор для электрической передачи изображений без посредства проводов / М. Вольфке.— Заявлена 24 ноября 1898 г., выдана 30 ноября 1900 г.
13. Привилегия № 10738 (Россия). Светораспределитель для аппарата, служащего для передачи изображений на расстоянии. / А. А. Полумордвинов.— Заявлена 23 декабря 1899 г., выдана 27 февраля 1906 г.
14. Perskyi C. Television an moyen de l'électricité. Exposition Universelle Internationale de 1900. Congrès Internationak de l'Electricité. Annexes.— Paris: Gauthier-Villars, 1903.— P. 54—56.
15. Альберти Е. Катодный осциллограф / Пер. с нем.; под ред. С. Н. Ржевкина.— М.— Л.: Гостехиздат, 1933.
16. Михаил Д. Видение на расстоянии / Электрическое дальновидение и телегор.— М.— Л.: Книга, 1925, 176 с.
17. Товмоян А. К. Из истории телевидения и фототелеграфа.— Ереван: АН Арм. ССР, 1971.
18. Ленин В. И. Полн. собр. соч.— Т. 52.— С. 154.
19. Пат. 3803 СССР. Электрический телескоп / Б. А. Рчеулов (Рчеули).— Заявлен 27 июня 1922 г., выдан 31 октября 1927 г.
20. Shiers G. The rise of mechanical television. 1901—1930 // *SMPTE J.*— 1981.— V. 90.— N 6.— P. 508—521.
21. Термен Л. С. Из истории телевидения: Сб. Из истории энергетики, электроники и связи.— М.: АН СССР, 1966.— Вып. 1.— С. 38—44.
22. Связь и телемеханика. Объяснительная записка к сводному тематическому плану научно-исследовательских работ 1932 г. // *Известия электропромышленности* слабого тока.— 1932.— № 7—8.— С. 46—79.
23. Баранцев А. И., Урвалов В. А. У истоков телевидения.— М.: Знание, 1982. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Радиоэлектроника и связь, № 3»), 64 с.
24. Катаев С. И. Электронное телевидение // *Техника связи*.— 1932.— № 11.— С. 29—35.



25. Зворыкин В. К. Телевидение при помощи катодных трубок.— Л.— М.: Энергоиздат, 1933, 32 с.
26. Брауде Г. В. О коррекции частотных и фазовых характеристик усилительных устройств // ЖТФ, 1934,— Т. IV.— Вып. 9.— С. 1714—1739; Вып. 10.— С. 1818—1828.
27. Техника современного телевидения / Под ред. С. И. Катаева.— М.: Радиоиздат, 1938.
28. Zworykin V. K., Ramberg E. G. Television: its indebtedness and contribution to science.— Impact of Basic Res. Technol.— N.-Y.— London, 1973.— P. 195—296.
29. План развития телевидения в 3-й пятилетке.— ЛГАНТД, ф. 223, оп. 1—1, д. 39, С. 1—163.
30. Родиков В. Е. Приключения радиолуча.— М.: Молодая гвардия, 1988, 304 с.
31. Weimer P. K. A historical review of the development of television pickup devices (1930—1976) // IEEE Trans.— 1976.— V. ED-23.— N 7.— P. 739—752.
32. Коробейников В. С. Голубой чародей.— М.: Молодая гвардия, 1975, 176 с.
33. Эстафета космических подвигов / Под ред. Г. Остроумова.— М.: Изд-во «Известия», 1981, 344 с.
34. Кривошеев М. И. Перспективы развития телевидения.— М.: Радио и связь, 1982, 144 с.
35. Новые советские передающие телевизионные приборы / Г. С. Вильдгрубе, И. К. Малахов, Р. М. Степанов, В. А. Урвалов // Техника кино и телевидения.— 1977.— № 10.— С. 42—49.
36. Первышин Э. К., Русанова А. А., Федоровский Е. Г. Индустрия передачи информации.— М.: Радио и связь, 1984.— 176 с.
37. О полете межпланетных станций «Вега-1» и «Вега-2». Сообщение ТАСС (Правда, 14 марта 1986 г., № 73 (24695))

## ЧАСТЬ 1.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

#### 1.1. Источники оптического излучения

Телевизионные передачи проводятся в различных световых условиях, и только в студии может быть выдержано освещение со строго определенными характеристиками. Излучение источников света содержит составляющие многих длин волн. Лучистая энергия, излучаемая Солнцем, так же как и энергия, излучаемая раскаленными металлами (например, нить лампы накаливания), характеризуется непрерывным спектром, т. е. излучения этих источников содержат компоненты всех длин волн видимого диапазона. Газоразрядные лампы имеют линейчатый спектр, т. е. в их излучениях содержатся составляющие дискретных длин волн. При внестудийных передачах освещение может создаваться разными источниками: лампочками накаливания, газоразрядными лампочками разных типов, естественное (солнечное) освещение может сочетаться с искусственным.

Качественная характеристика излучения источника света определяется его цветовой температурой, которая создается на основе законов теплового лучеиспускания. При нагревании тела сначала увеличивается испускание невидимых тепловых лучей; при дальнейшем увеличении температуры тело начинает испускать темно-красные лучи, потом красные, оранжевые, желтые и другие более коротковолновые лучи. В результате свечение из красного становится оранжевым, потом желтым и, наконец, белым, причем одновременно увеличивается общая яркость свечения. К температурным излучателям, т. е. к излучателям, подчиняющимся законам теплового излучения, относятся такие источники света, как Солнце, свечи, лампы накаливания и т. п.

Температурное излучение зависит не только от температуры тела, но и от его физических свойств. Чем больше тело поглощает падающую на него энергию, тем больше энергии оно испускает при нагревании. Наибольшей поглощательной способностью обладают черные тела. Тело, которое поглощает всю падающую на него лучистую энергию, называют абсолютно черным. При увеличении температуры абсолютно черного тела максимум излучения смещается в сторону более коротких волн и быстро возрастает по абсолютному значению. Для реальных температурных излучателей, так же как и для абсолютно черного тела, весь ход кривой спектрального распределения энергии в видимой части спектра полностью определяется их температурой. Но чтобы от излучателей, изготовленных из разных материалов, получить одинаковый (или близкий) спектральный состав излучения, нужно нагревать их до разной температуры. Поэтому для удобства сравнения спектров излучателей принято пользоваться понятием цветовой температуры излучения. Цветовой температурой излучения данного источника называют то значение температуры, до которого надо нагреть абсолютно черное тело, чтобы получить от него излучение того же цвета. Если данный источник является температурным излучателем,

то совпадение по цвету его излучения и излучения абсолютно черного тела означает одинаковое распределение энергии обоих излучателей в видимой части спектра. Однако спектральное распределение энергии таких источников света, например, как газоразрядных и люминесцентных ламп или голубого неба, характеризующихся определенным значением цветовой температуры, не будет соответствовать спектральной кривой температурного излучателя при той же цветовой температуре, хотя цвета их свечения очень похожи.

Цветовую температуру принято выражать в градусах абсолютной шкалы и обозначать К. На рис. 1.1.1 для удобства сравнения ординаты кривых, соответствующих значению  $\lambda = 555$  мкм, приняты за 100%.

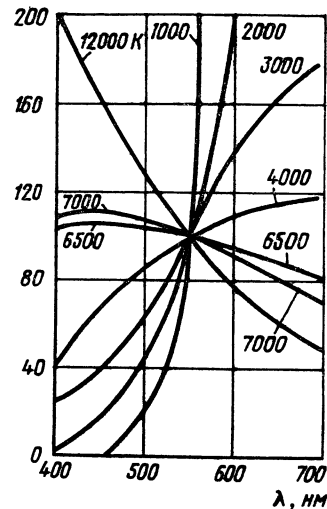


Рис. 1.1.1. Спектральные распределения энергий температурных излучателей

#### Цветовая температура, К, для источников

Лампы накаливания		
осветительные 100...1000 Вт . . . . .	2700...2950	
прожекторные и кинопроекционные . . . . .	2900...3300	
Люминесцентные лампы		
дневного ЛЛ . . . . .	6000	
холодного белого ЛХБ . . . . .	4300	
белого ЛБ . . . . .	3450	
теплого белого ЛТБ . . . . .	2600	
Солнце в летний день на широте Москвы	5100	
Дневной свет при сплошной облачности	6300—67000	

Международной осветительной комиссией в 1931 г. для фотометрии и колориметрии были стандартизированы три цветové температуры для источников А, В, С соответственно 2854, 4800, 6500 К. В цветном ТВ также

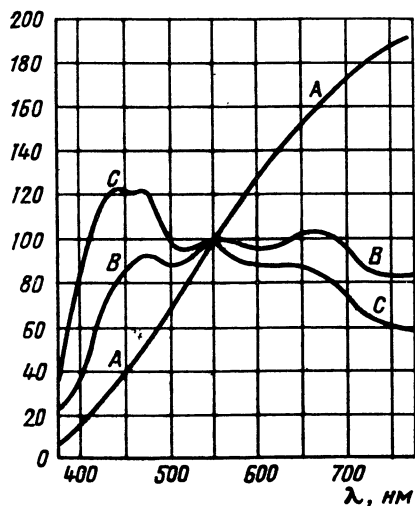


Рис. 1.1.2. Спектральные распределения энергий стандартных источников А, В, С

применяют понятие *стандартный источник* с D с температурой 6500 К (рис. 1.1.2). В качестве источника А применяют отобранные, отоженные и проградированные лампы накаливания. Источники В и С получают с помощью установки светофильтров перед лампой, имеющей цветовую температуру 2854 К. При передаче из студии обычно применяют источники света с цветовой температурой  $(3200 \pm 100)$  К с непрерывным спектром, т. е. близкие по спектральному распределению энергии к стандартному источнику белого света А. Принято считать, что при наблюдении цветного изображения на экране телевизора (в неосвещенной комнате) цветовое ощущение у зрителей лучше при освещении передаваемой сцены дневным светом (источник белого света С, 6500 К). Цветные кинофильмы на пленке шириной 35 мм также рассчитаны на применение в кинопроекторах источника света, близкого к С (ксеноновая лампа, 5600 К). Кинофильмы на пленке шириной 16 мм рассчитаны на источник света 3200 К. Для получения нужного белого света на экране телевизора независимо от типа источника, освещающего передаваемую сцену, используют различные методы цветокоррекции либо в передающей камере набором соответствующих светофильтров, либо в усилительном тракте обработкой электрических сигналов.

## 1.2. Основные светотехнические величины

Диапазон электромагнитных волн охватывает 50 октав, из которых на видимый свет приходится только одна. Это диапазон длин волн 390...770 нм. Следует различать величины, характеризующие любое электромагнитное излучение, и фотометрические величины. В то время как первые из них объективно характеризуют общие энергетические свойства излучения, вторые выражают субъективное восприятие света человеком.

В фотометрии действие света характеризуют не энергией, или мощностью, излучения, а его восприятием человеческим глазом, которое зависит от длины волны. Отношение светового потока, который является физиологической величиной, к потоку излучения зависит от длины волны и называется спектральной видностью  $V(\lambda)$ . Максимум спектральной видности (рис. 1.2.1) соответствует длине волны 555 нм и составляет 680 лм/Вт. Здесь *люмен* — фотометрическая величина, называемая световым потоком и обозначаемая обычно буквой  $F$ . Для количественной оценки силы воздейст-

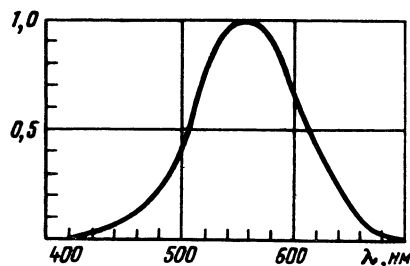


Рис. 1.2.1. Кривая видности

вия лучистой энергии на глаз необходимо учитывать два обстоятельства: 1) видность излучения, т. е. неодинаковую чувствительность глаза к излучениям разных длин волн, даваемую кривой спектральной видности; 2) неравномерность плотности распределения мощности излучения по разным длинам волн реальных источников света:

$$\rho(\lambda) = dP/d\lambda, \quad (1.2.1)$$

где  $\rho(\lambda)$  — плотность мощности электромагнитного излучения, Вт/нм;  $P$  — мощность излучателя, Вт;  $\lambda$  — длина волны, нм.

Мощность электромагнитного излучения видимой части диапазона длин волн, Вт

$$P_{\text{св}} = \int_{\lambda=380}^{\lambda=770} V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda, \quad (1.2.2)$$

где  $V(\lambda)$  — величина безразмерная;  $\rho(\lambda)$ , Вт/нм,  $P_{\text{св}}$ , Вт.

Мощность светового электромагнитного излучения, оцениваемая по воздействию на нормальный глаз, называют *световым потоком*  $F$ . Единицей светового потока является люмен. Между мощностью электромагнитного излучения и световым потоком в максимуме кривой видности ( $\lambda_0 = 555$  нм) экспериментально установлена следующая связь:

$$F_{\lambda_0} = 683 P_{\text{св}}. \quad (1.2.3)$$

Соотношения (1.2.2) и (1.2.3) позволяют определять световой поток любого источника

$$F = 683 \int_{\lambda=380}^{\lambda=770} V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda. \quad (1.2.4)$$

*Пример.* Оценим световой поток, испускаемый источником с равномерным распределением плотности мощности излучения по длине волны (такой источник, у которого  $\rho(\lambda) = \text{const}$ , называют равноэнергетическим). Если в пределах видимой части света (380...770 нм) мощность излучения  $P = 1$  Вт, то плотность этой мощности, Вт/нм

$$\rho(\lambda) = dP/d\lambda = P/(\lambda_{770} - \lambda_{380}) = 1/(\lambda_{770} - \lambda_{380}). \quad (1.2.5)$$

Таким образом для равноэнергетического (белого) излучения

$$\begin{aligned} F_{\text{бел}} &= 683 \int_{\lambda=380}^{\lambda=770} V(\lambda) \frac{d\lambda}{\lambda_{770} - \lambda_{380}} = \\ &= \frac{683}{\lambda_{770} - \lambda_{380}} \int_{\lambda=380}^{\lambda=770} V(\lambda) d\lambda. \end{aligned} \quad (1.2.6)$$

В (1.2.6) интеграл равен площади под кривой видности  $V(\lambda)$ . Поскольку  $V(\lambda)$  известна, можно численно определить интеграл, который составляет 0,332. Сле-

довательно, создаваемый излучателем равноэнергетического типа поток белого света  $F_{\text{бел}} = 683 \cdot 0,322 = 220$  лм. Таким образом имеются два эквивалента лучистой энергии и светового потока для цветов: желто-зеленого  $\lambda_0 = 550$  нм,  $V_0 = 1$ ; 1 Вт = 683 лм, белого  $\rho(\lambda) = \text{const} \cdot 1$  Вт = 220 лм. Лампа накаливания имеет коэффициент светоотдачи 8...15 лм/Вт и создает световой поток  $F = 800 \dots 1500$  лм.

Световой поток может неравномерно распределяться в пространстве. Для учета этого распределения введена единица силы света. *Сила света* — одна из основных величин Международной системы единиц СИ; она измеряется в канделах (кд) и обозначается через  $I$ . *Кандела* — эта сила света, излучаемого черным телом перпендикулярно поверхности площадью  $1/60$  см<sup>2</sup> при температуре 2042,5 К (температура затвердевания платины при нормальном давлении). Отметим, что кандела — основная единица, определяемая с помощью эталона, а световой поток — единица производная. Зависимость силы света от направления характеризуется диаграммой направленности излучателя. Поскольку излучение неравномерно в пространстве в определенном фиксированном направлении должна быть *сила света*

$$I = dF/d\omega, \quad (1.2.7)$$

где  $dF$  — световой поток в пределах телесного угла  $dS$ . Если  $dS = 1$  стр., проходит, равномерно распределяясь, световой поток в 1 лм, то в этом направлении сила света  $I = 1$  кд. Среднее значение силы света  $I_{\text{ср}}$  точечного источника определяется отношением всего излучаемого им светового потока  $F_{\text{полн}}$  к полному телесному углу (в стерадианах)  $\omega_{\text{полн}} = 4\pi$ :

$$I_{\text{ср}} = F_{\text{полн}}/4\pi. \quad (1.2.8)$$

**Пример:** Для ламп накаливания с  $P = 100$  Вт, излучающей световой поток  $F_{\text{полн}} = 800 \dots 1500$  лм,  $I_{\text{ср}} = F_{\text{полн}}/4\pi = (800 \dots 1500)/4\pi = 60 \dots 120$  кд. Наиболее регулярный характер имеет (ДН) диаграмма направленности диффузно излучающей поверхности, называемая *излучателем Ламберта*. Для источника, излучающего в направлении, составляющем угол  $\alpha$  с нормалью к поверхности, сила света  $I$  равна  $\cos \alpha$  (рис. 1.2.2). Для других излучателей, например ламп накаливания, ДН менее регулярны. Большинство объектов, изображение которых передается с помощью ТВ, обладают способностью отражать, а не излучать световую энергию. Количество отраженной энергии зависит от свойств отражающей поверхности (коэффициента отражения) и количества падающей энергии. Отражающие поверхности выступают в роли вторичных источников света. Для светотехнических расчетов вводят физическую величину — освещенность. *Освещенностью* называют отношение светового потока к площади освещаемой поверхности. Если световой поток распределен по поверхности неравномерно, то освещенность — это *плотность светового потока* по поверхности, лк

$$E = dF/dS \quad (1.2.9)$$

(освещенность в 1 лк создается световым потоком в 1 лм на площади в 1 м<sup>2</sup>).

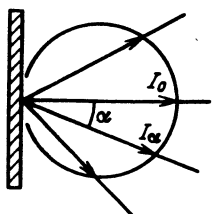


Рис. 1.2.2. Диаграмма направленности излучателей Ламберта

#### Освещенность, лк, объектов

Киноэкран . . . . .	40 ... 200
Книга при ее чтении . . . . .	20
Телевизионная студия . . . . .	2000
Предметы в тени в летний день . . . . .	1000
Предметы на открытом месте в солнечный день . . . . .	100 000

Яркость  $B$ , характеризуется плотностью силы света по площади. Важно отметить, что, в отличие от освещенности, имеется в виду площадь поверхности, не на которую падает свет, а с которой он излучается. По системе СИ яркость измеряется в канделах на метр квадратный, т. е. яркость в 1 кд/м<sup>2</sup> создается светящейся площадкой размером в 1 м<sup>2</sup>. Если излучающая поверхность искривлена или наклонна, вместо площади  $S$  вводят *кажущуюся площадь*, равную проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению распространения.

Значения яркостей, кд/м<sup>2</sup>, для источников

Киноэкран . . . . .	10 ... 30
Экран кинескопа . . . . .	40 ... 80
Экран проекционного кинескопа . . . . .	$(1 \dots 2) \cdot 10^4$
Пламя спички . . . . .	$5 \cdot 10^3$
Нить лампы накаливания . . . . .	$5 \cdot 10^6 \dots 10^7$
Электрическая дуга . . . . .	$10^8 \dots 2 \cdot 10^8$
Солнце . . . . .	$1,5 \cdot 10^9$

Многие источники света излучают свет, распределение которого в пространстве подчиняется закону Ламберта (закону косинусов). В частности, излучение экрана приемной ТВ трубки довольно точно следует этому закону.

Сила света, излучаемого светящейся площадкой площадью  $S$  (рис. 1.2.3), зависит от направления, опре-

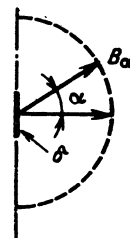


Рис. 1.2.3. Зависимости яркости от угла наблюдения для излучателя Ламберта

деляемого углом  $\alpha$  между данным направлением и перпендикуляром к площадке. Для свечения, следующего закону Ламберта:

$$I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha, \quad (1.2.10)$$

где  $I_0$  — сила света в перпендикулярном к площадке направлении. Поскольку кажущаяся площадь  $S_{\alpha} = S \cos \alpha$  в направлении вектора, составляющего угол  $\alpha$  с вектором  $I_0$ , яркость

$$B_{\alpha} = I_{\alpha}/S_{\alpha} = I_0 \cos \alpha / S \cos \alpha = I_0/S. \quad (1.2.11)$$

Выражение (1.2.11) показывает, что яркость не зависит от направления наблюдения. Этим объясняется тот факт, что при наблюдении экрана телевизора изображение кажется одинаково ярким вне зависимости от того, где находится зритель — перед экраном или сбоку от него.

### 1.3. Зрительный анализатор человека Основные характеристики

Изучение механизмов зрительного восприятия и характеристик зрительного анализатора человека вызвано необходимостью определить условие правильного согла-

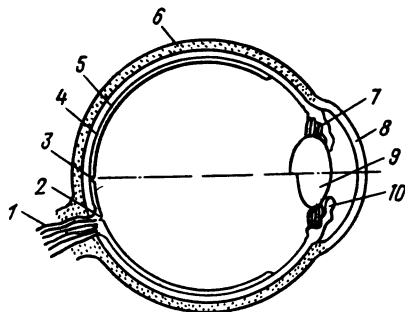


Рис. 1.3.1. Строение глаза

сования параметров ТВС и зрения. Механизмы зрительного восприятия являются аналогами процедур обработки визуальной информации и могут служить источником идей построения и оптимизации аналогичных систем обработки изображений. Глазное яблоко (рис. 1.3.1) человека представляет собой шарообразное тело диаметром около 24 мм, которое окружено сравнительно твердой оболочкой — *склерой* 6. Склера в передней части переходит в *роговицу* 8, имеющую прозрачную для света и относительно твердую структуру. Диаметр роговой оболочки около 12 мм. Чечевицеобразный *хрусталик* 9 — двояковыпуклая линза — строит на внутренней оболочке глаза — *сетчатке* 4 перевернутое изображение предметов. С передней стороны глаза хрусталик прикрывается *радужной оболочкой* 10, образующей зрачок глаза. Играв роль диафрагмы, зрачок изменяется в диаметре 2...8 мм. Благодаря действию удерживающих *мышц* 7 хрусталик может изменять радиусы кривизны обеих поверхностей, из-за чего изменяется фокусное расстояние и устанавливается (фокусируется) изображение на сетчатке. Это называется *аккомодацией*. Пространство между роговицей и хрусталиком (передняя камера) заполнено прозрачной жидкостью, пространство между хрусталиком и сетчаткой — студенистообразной прозрачной массой.

Светочувствительными элементами глаза являются *колбочки* и *палочки* — они входят в состав сетчатки (около  $7 \cdot 10^6$  колбочек и  $130 \cdot 10^6$  палочек). Таким образом, сетчатка имеет дискретную светочувствительную структуру. Распределены колбочки и палочки по поверхности сетчатки неравномерно (рис. 1.3.2). Видно, что

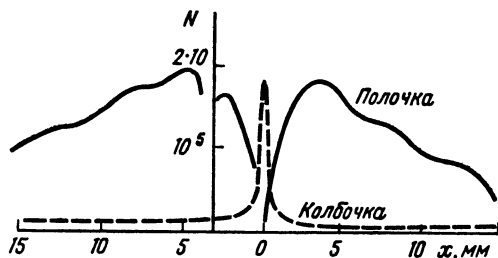


Рис. 1.3.2. График распределения числа палочек и колбочек на сетчатке глаза

колбочки концентрируются в области *желтого пятна* (см. рис. 3.1.3) — участка сетчатки, расположенном в центре и обладающем свойствами наилучшего видения (расстояние  $x$  отсчитывают от центра желтого пятна). Желтое пятно имеет овальную форму длиной около 2 мм и шириной 0,8 мм. Палочки сконцентрированы на периферии. Светочувствительные элементы глаза преобразуют световую энергию в импульсы, которые по нервным волокнам и *зрительному нерву* 1 передаются в зрительные центры головного мозга, где и обраба-

тывается поступающая информация. Такая предварительная обработка информации осуществляется на сетчатке благодаря наличию разветвленной нейтральной структуры, охватывающей значительные участки сетчатки. В месте отведения зрительного нерва имеется нечувствительная часть сетчатки — *слепое пятно* 2.

Колбочковый аппарат обладает меньшей световой чувствительностью, чем палочковый, поэтому его условно называют *аппаратом дневного зрения*. Колбочковый аппарат обладает цветовой чувствительностью; палочковый аппарат ею не обладает. Обменные процессы в активных тканях глаза происходят благодаря наличию *сосудистой оболочки* 5 — системы нервных волокон и кровеносных сосудов, связанных с глазными веной и артерией, расположенной непосредственно перед сетчаткой. Нервная ткань практически прозрачна для проходящего через нее света. Кровеносные сосуды для света мало прозрачны, однако не мешают восприятию изображения, что определяется локальной адаптацией светочувствительных элементов.

Удобно выделить механизмы, определяющие три аспекта зрительного восприятия: 1) образование оптического изображения на светочувствительной поверхности глаза; 2) преобразование оптического изображения в нервные импульсы, распространяющиеся по зрительному нерву; 3) обработка полученной информации зрительными центрами головного мозга. Все эти механизмы представляют собой единое целое и взаимосвязаны.

Светочувствительные элементы сетчатки преобразуют световую энергию в химическую, тепловую, электрическую. Установлено, что энергия нервных импульсов на несколько порядков больше энергии падающего света, т. е. между поглощением света и возникновением сигналов в нервном волокне происходят промежуточные процессы. Световое излучение (падающий свет) выступает в качестве сигнала, управляющего этими процессами, к числу которых и относится фотохимическая реакция.

Светочувствительные элементы сетчатки — колбочки — содержат *родопсин* (зрительный пурпур), который при воздействии света распадается на витамин А и белок (ретинин). Освобождающаяся при этом энергия создает сигнал в нервном волокне.

Способность зрительного анализатора человека реагировать на световое раздражение называют *чувствительностью глаза*. Это — величина, обратная интенсивности порогового раздражения,  $I_{\text{п}}^{-1}$ . Пороговое раздражение — минимальная интенсивность светового воздействия, которая вызывает ощущение света. Глаз способен реагировать на единицы световых квантов, а зрительный анализатор обеспечивает нормальное восприятие при очень высоких интенсивностях падающего света. Способность глаза изменять чувствительность и приспосабливаться к разной интенсивности падающего света называют *адаптацией*. Палочковый аппарат обладает большей чувствительностью, чем колбочковый: он реагирует на яркости порядка  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  кд/м<sup>2</sup>, а колбочковый — порядка единиц. При яркостях около 10 кд/м<sup>2</sup> палочковый аппарат ослепляется, так как скорость распада родопсина увеличивается настолько, что его концентрация резко падает, и в конце концов полностью разлагается зрительный пурпур. При яркостях  $10 \dots 10^4$  кд/м<sup>2</sup> работает только колбочковый аппарат. Таким образом, световой динамический диапазон глаза составляет около  $10^9$ . Такой широкий диапазон обусловлен фотохимическими процессами разложения зрительного пурпура, а также (в меньшей степени) *диффракционированием* — (изменением диаметра зрачка) явлениями, связанными с автоматическим регулированием воздействующего на сетчатку светового потока.

Диапазон длин волн, в котором глаз реагирует на электромагнитное излучение, 380...760 нм. Внутри диапазона чувствительность глаза неодинакова. Чувствительность глаза к воздействию монохроматического излучения разной длины волны — величина, обратная

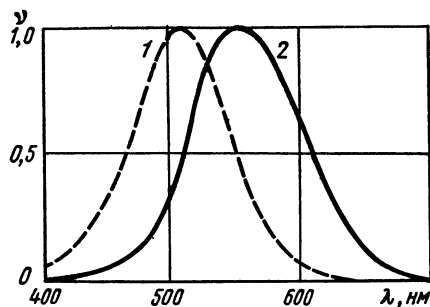


Рис. 1.3.3. Кривая относительной видимости

значению интенсивности раздражения, которое может вызвать у наблюдателя ощущение определенной яркости. Зависимость чувствительности глаза от длины волны называют *кривой относительной видимости* (рис. 1.3.3, 2). При существенном уменьшении интенсивности раздражения эта кривая смещается в сторону более коротковолнового излучения (см. рис. 1.3.3, 1), что приводит к увеличению чувствительности глаза к синим лучам и резкому снижению к красным 1 (*явление Пулькине*). Кривая относительной видимости — исходная характеристика при расчете ряда ТВ устройств при согласовании их с характеристиками зрения человека. Важнейшими характеристиками зрения являются *восприятие яркости* и *число различных градаций*. Если на глаз воздействует световое излучение, то наблюдатель реагирует не на абсолютное изменение значения интенсивности  $\Delta I$ , а на относительное  $\Delta I/I$ . Минимальное относительное изменение интенсивности  $\Delta I/I = \Delta_n$  (ощуемое) называют *относительным разностным порогом* раздражения. Эта величина в пределах изменения яркости от десятых долей до  $10^3$  кд/м<sup>2</sup> постоянна, а ощущение пропорционально логарифму интенсивности:  $e = K \ln(I/I_n)$ , где  $K$  — коэффициент пропорциональности (рис. 1.3.4). Если известно значение разностного порога

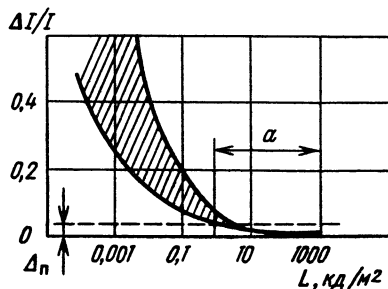


Рис. 1.3.4. Пределы изменения относительного разностного порога раздражения

$\Delta_n$ , можно определить регистрируемое глазом число градаций  $N = (\ln K) / \ln(1 + \Delta_n)$ . Число градаций определяют не только относительным разностным порогом, но и контрастностью  $K$  изображения (рис. 1.3.5):  $K = 100$  (черный бархат с коэффициентом отражения 0,009, снег с коэффициентом отражения 0,9) и  $\Delta_n = 0,02$   $N = 232$ . При выборе динамического диапазона яркостей и контрастности изображения на экране телевизора следует помнить, что контрастность черно-белого изображения телевизора более 100:1 (в затемненном помещении).

*Разрешающая способность* — это способность зрительного анализатора реагировать на различие в раздражении в пространстве поля зрения (при монокулярном зрении — различие в плоскости изображения). Разрешающую способность оценивают минимальным углом

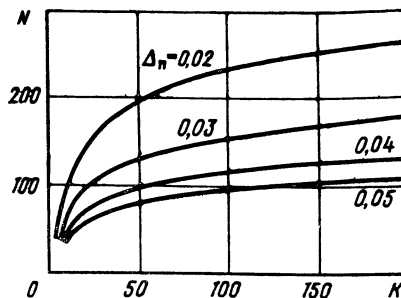


Рис. 1.3.5. Зависимости числа градаций от контрастности

зрения  $\varphi_{\min}$  (рис. 1.3.6), под которым раздельно видны две рядом расположенные, разделенные промежутком детали изображения. Этот угол называют *углом разрешения* глаза. Чтобы видеть две детали (см. рис. 1.3.6, а и б) раздельными (кольцо разомкнутым), необходимо, чтобы между их изображениями  $a'$  и  $b'$  на сетчатке оставалось пространство, возбуждение которого вызвало бы ощущение иное, чем те места, на которых отобража-

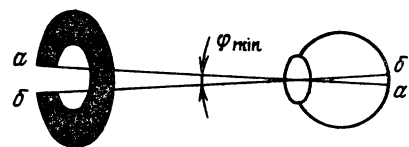


Рис. 1.3.6. К определению угла разрешения глаза

ются изображения деталей а и б. В некоторых случаях разрешающую способность характеризуют величиной, обратной углу разрешения, — *остротой зрения*  $\varphi_{\min}^{-1}$ . В оптимальных условиях наблюдения разрешающая способность зрительного анализатора определяется влиянием хроматической аберрации в хрусталике, механизм которой аналогичен механизму влияния хроматической аберрации на разрешающую способность оптических приборов; определенный вклад вносят также влияние дискретной структуры сетчатки и дифракция света. При яркости фона испытательной таблицы 100 кд/м<sup>2</sup> и предельной контрастности изображения острота зрения достигает 0,75...1' (рис. 1.3.7). По характеристикам

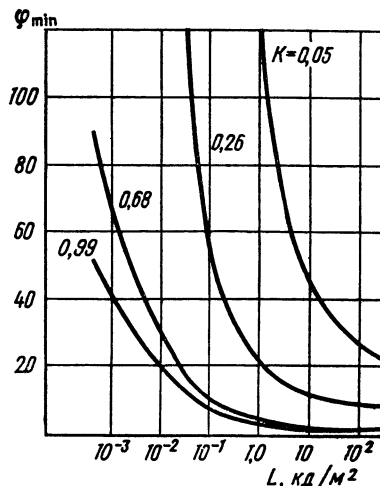


Рис. 1.3.7. Зависимости остроты зрения от яркости изображения

разрешающей способности зрительного анализатора можно рассчитать число элементов разложения ТВ системы с учетом расстояния рассматривания ТВ изображения, его размеры, яркость, степень дискретизации (число элементов в строке и на высоту изображения). Однако использование пороговых характеристик для расчета ТВ систем не всегда оправдано. Необходимо учитывать реакцию зрительного анализатора на снижение четкости изображения по сравнению с предельной, установленной исходя из характеристик (см. рис. 1.3.7). Установлено, что кажущееся приращение четкости  $\Delta G$  пропорционально относительно приращению числа элементов  $\Delta n/n$ , а кажущаяся четкость  $G = (\rho \ln n) / \ln n_{\max}$ , где  $\rho$  — коэффициент пропорциональности. Из рис. 1.3.8 видно, что снижение числа элементов, участвующих в формировании изображения, в 2 раза (от  $n_{\max}$  до  $n_{\max}/2$ ) приводит к снижению кажущейся четкости изображения до  $G=0,949$ , т. е. на 5,1%. При малом числе элементов незначительное изменение их числа, участвующих в формировании изображения, как видно из рис. 1.3.8, приводит к существенному изменению кажущейся четкости изображения. Эту особенность зрения эффективно используют при выборе числа строк или элементов разложения.

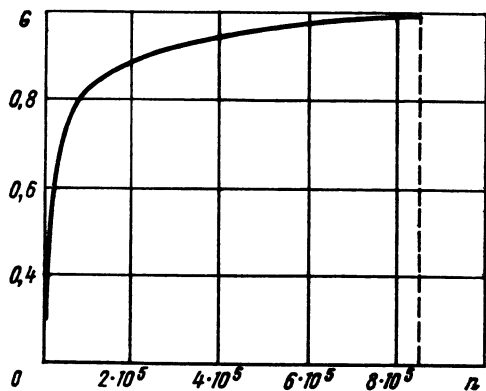


Рис. 1.3.8. Зависимость четкости от числа элементов при  $n_{\max} = 85 \cdot 10^4$  (число элементов изображения при числе строк 800 и формате 3/4)

При проектировании ТВ систем нужно учитывать *восприятие мелькающих изображений*. Возникновение порогового ощущения при воздействии светового раздражения определяют общим количеством квантов света, поглощенных эффективной площадкой рецептивного поля. Это количество при фиксированной интенсивности раздражения зависит от площади рецептивного поля и времени воздействия света. Следовательно, между моментом воздействия света на сетчатку и моментом возникновения соответствующего зрительного ощущения проходит некоторое время, называемое *временем ощущения*.

Для возникновения зрительного ощущения при фиксированной площади рецептивного поля необходимо, чтобы произведение интенсивности раздражения  $L$  на время возникновения  $\tau$  достигло порога  $L\tau = \text{const}$  (рис. 1.3.9). При интенсивностях раздражения, превышающих пороговую в 400 раз, время ощущения составляет 0,1 с. При прекращении раздражения для исчезновения ощущения также требуется определенное время. Механизмы инерционности процессов возбуждения и торможения связаны с конечными временами протекания фотохимических реакций и распространения нервного возбуждения и его регистрации зрительными центрами головного мозга.

В условиях наблюдения ТВ изображения зрительный анализатор работает в режиме воздействия на не-

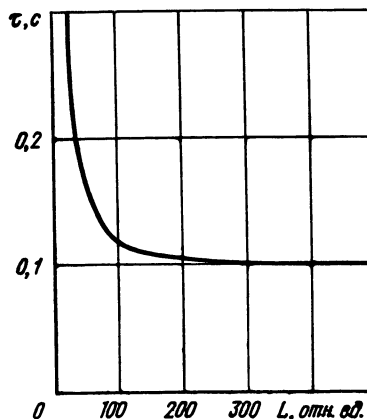


Рис. 1.3.9. Зависимость времени ощущения от интенсивности раздражения (построена по результатам эксперимента)

го периодически изменяющихся по интенсивности световых потоков. При невысокой частоте изменения интенсивности света возникает ощущение мерцания изображения. Если частоту увеличивать, то при определенном ее значении ощущение мерцания прекращается и наблюдатель ощущает изображение как немерцающее. Частоту, при которой возникает ощущение слияния мерцаний, называют *критической частотой слияния мерцаний*  $f_{кр}$ , она связана с временем ощущения, а следовательно, зависит от интенсивности раздражения. Для описания этой зависимости используют соотношение, полученное на базе обработки многочисленных экспериментальных данных  $f_{кр} = a \lg L + b$ , где  $a$  и  $b$  — постоянные коэффициенты, определяемые скважностью световых импульсов, их формой и спектральным составом. Зависимость критической частоты слияния мерцаний от интенсивности раздражения логарифмическая. При яркости белого источника излучения  $30 \text{ кд/м}^2$  и скважности световых импульсов 2 ( $a=9,6$ ,  $b=65$ )  $f_{кр}=41$  Гц. Критическая частота слияния мерцаний определяет выбор частоты смены ТВ изображений (частота кадров). Объемное восприятие пространства связано с *бинокулярным зрением*. Существенную роль при этом играют *аккомодация*, вызванная изменением кривизны хрусталика из-за сокращения ресничной мышцы (мышечное усилие, необходимое для фокусировки на объекты, находящиеся на разном расстоянии от наблюдателя, дает информацию об удалении от него этих объектов), восприятие перспективы, относительное перемещение объектов в поле зрения и др.

Два изображения, формируемые на сетчатке каждого из глаз, воспринимаются наблюдателем как одно. Глаза при фиксации объекта, например (рис. 1.3.10), поворачиваются (*конвергируют*) так, чтобы формировалось изображение  $a$  этого объекта в области желтого пятна. В углах конвергенции  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  содержится информация об удалении рассматриваемого объекта  $A$  (следует учесть, что расстояние между зрительными осями глаз — *глазной базис* — для каждого индивидуума фиксировано и в среднем составляет около 65 мм). Ощущение объемности пространства возникает из-за разности проекций наблюдаемой сцены на сетчатках от левого и правого глаз — *диспаратности* точек проекции. Проекция  $b_n$  и  $b_d$  точки  $B$  на сетчатках правого и левого глаза отстоят на разных расстояниях от изображения точки фиксации  $A$  ( $a_n$  и  $a_d$  соответственно), т. е.  $a_n b_n \neq a_d b_d$ . Разница в длине отрезков  $a_n b_n$  и  $a_d b_d$  тем больше, чем больше удалена по глубине точка  $B$  от точки  $A$  в пространстве рассматриваемой сцены.

Исследования остроты стереоскопического зрения показывают, что наблюдатель фиксирует разницу по глубине в точках, отстоящих на расстоянии 7,5 м при удалении точки фиксации от наблюдателя на 100 м,

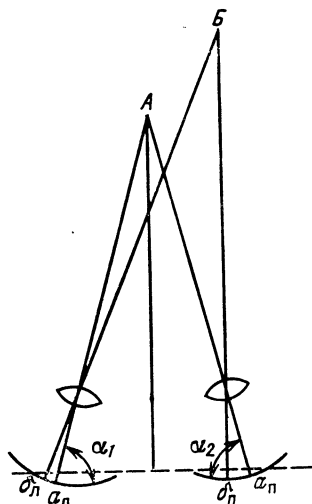


Рис. 1.3.10. К вопросу о бинокулярном зрении

и расстоянии около 2 см при удалении точки фиксации на 5 м. Глубинный порог стереозрения можно выразить в угловой мере как минимальную фиксируемую наблюдателем разницу в углах  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  (см. рис. 1.3.10, для точки Б). Он составляет 10...30. Трехкомпонентная теория *цветового зрения* основана на том, что подавляющее большинство цветов может быть получено путем сложения в определенных количествах трех основных цветов: красного, желтого и голубого. Истоки теории цветового зрения в работе великого русского ученого М. В. Ломоносова.

Построена феноменологическая модель цветового зрения, которая постулирует наличие трех видов рецепторов, реагирующих на красную, желтую и голубую части спектра. При равном возбуждении рецепторов создается ощущение белого, а все другие цветовые ощущения связываются с соотношением возбуждения этих трех. Установлены закономерности формирования цвета смесей, аддитивного и субтрактивного смешения световых потоков, введено цветовое уравнение, как способ записи равенства ощущений зрительного анализатора при воздействии на него различных по спектральному составу излучений. Суммирование возбуждения рецепторов трех цветов дает ощущение яркости. Следует заметить, что гистологически существование трех различных рецепторов на сетчатке глаза не нашло полного подтверждения. Поэтому в рамках трехкомпонентной теории цветового зрения существуют модели, в которых механизм цветоделения, т. е. формирования отдельных откликов на различные по спектральному составу возбуждения, приписывают каждой колбочке (цветоделение осуществляется непосредственно внутри светочувствительного элемента), а также модели, в которых колбочки в зависимости от состояния светочувствительного компонента изменяют свою спектральную чувствительность и тем самым анализируют цветовое содержание изображения и др.

Вопросами количественной оценки цветовой восприимчивости занимается *колориметрия*. Она основана на экспериментах и дает хорошие результаты при расчете таких систем передачи и воспроизведения цветных изображений, как цветная фотография и кино, типографская печать и цветное телевидение. Рассматриваемые в колориметрии принципы измерения цвета и расчетов относятся в основном к условию наблюдения цветовых полей достаточно крупного размера (более 30...40°) и яркости, соответствующей оптимальным условиям наблюдения цветного изображения (100...200 кд/м<sup>2</sup>). Восприятие цвета мелких и крупных деталей разное, а цвета деталей изображения, размеры которых соизмеримы с раз-

решаемыми глазом, не различаются и воспринимаются как серые. Это свойство зрения используют при построении систем воспроизведения изображений, в том числе и телевизионных.

## Список литературы

1. Кравков С. В. Глаз и его работа.— М.: Изд. АН СССР, 1950.
2. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение. Под ред. В. С. Вавилова.— М.: Мир, 1977.
3. Грегори Р. Л. Глаз и мозг. Под ред. А. Р. Лурия и В. П. Зинченко.— М.: Прогресс, 1970.

## 1.4. Фотометрия и колориметрия лучистого поля объектов наблюдения

### 1.4.1. Основные понятия фотометрии [3—6]

Телевизионная система воспроизведения цветных изображений базируется на трехкомпонентности зрения человека — свойстве, позволяющем получать большинство встречающихся в природе цветов смешиванием в определенных пропорциях трех основных цветов: красного, зеленого и синего. Трехкомпонентная теория цветового зрения Ломоносова — Юнга — Гельмгольца объясняет это свойство наличием в глазу человека трех видов рецепторов (светоприемников — колбочек), чувствительных соответственно к синей, зеленой и красной областям спектра видимых излучений. Выделить из сетчатки глаза человека одиночные колбочки трех видов и измерить их спектральные чувствительности удалось лишь в 1964 г. Однако механизм цветового зрения человека изучен еще недостаточно. Есть данные о том, что сигналы от колбочек трех видов в чувствительных клетках сетчатки глаза до подачи в мозг проходят сложную обработку, включающую нелинейные преобразования и кодирование, напоминающее цветовое кодирование в ТВ [1]. Основополагающими для цветного ТВ и трехцветной колориметрии являются трехкомпонентная линейная модель цветового зрения и законы смешения цветов [2].

Возможность получать большинство цветов аддитивной смесью трех взаимно независимых цветов существенно упрощает передачу и воспроизведение цветных изображений. Для этого нужно определить количества красной, зеленой и синей составляющих в цвете объекта и передать информацию об этом на приемную сторону. Цвета объекта передачи будут воспроизводиться на приемной стороне сложением красного, зеленого и синего цветов, взятых в соответствующих пропорциях.

Окружающие нас предметы становятся видимыми благодаря энергии электромагнитных колебаний, испускаемых или отражаемых ими и попадающих в глаза человека. В диапазоне длин волн видимых излучений 380...760 нм человек воспринимает энергию этих колебаний как свет. Световое излучение характеризуют распределением мощности излучения по спектру — *спектральной плотностью мощности*  $P(\lambda)$  и мощностью излучения (*лучистым потоком*)

$$P = \int_0^{\infty} P(\lambda) d\lambda. \quad (1.4.1)$$

Спектральная плотность, лучистый поток и другие энергетические характеристики описывают физические свойства излучений. Для оценивания светового воздействия излучений используют фотометрические (световые) величины. Переход от энергетических величин к световым определяется *относительной спектральной световой эффективностью* монохроматических излучений  $V(\lambda)$ , для дневного зрения. Эту функцию (рис.



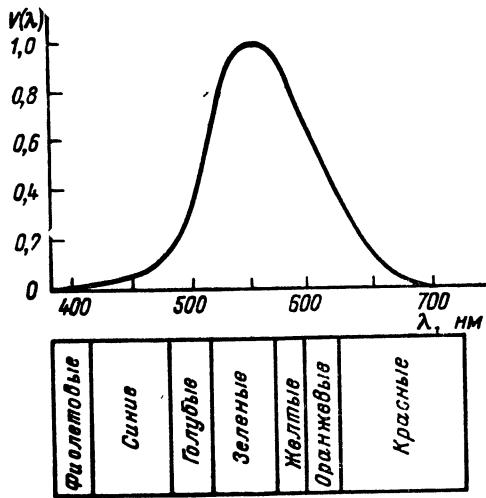


Рис. 1.4.1. Кривая видности

1.4.1) — называют *кривой видности*. Она является усредненной кривой спектральной чувствительности глаза при дневном зрении и стандартизирована МКО в 1924 г.

Суммарная количественная оценка видимой человеком мощности электромагнитного излучения — *световой поток*, лм (люмен):

$$F = K_m \int_{380 \text{ нм}}^{760 \text{ нм}} V(\lambda) P(\lambda) d\lambda, \quad (1.4.2)$$

где  $K_m$  — коэффициент пропорциональности.

Экспериментально установлено, что 1 Вт лучистого потока монохроматического излучения с  $\lambda = 555$  нм равен 683 лм, т. е.  $K_m = 683$  лм/Вт. Отношение  $K_m = F/P$  называют *светоотдачей излучения*. Максимальной светоотдачей  $K_{\max} = 683$  лм/Вт обладает монохроматическое излучение с  $\lambda = 555$  нм. Светоотдачу источников света оценивают отношением излучаемого светового потока к мощности, потребляемой от источника питания. У ламп накаливания  $K = 8 \dots 15$  лм/Вт.

*Сила света*,  $I = dF/d\omega$ , характеризует пространственную плотность светового потока  $dF$  в телесном угле  $d\omega$  выбранного направления. Единица силы света — *кандела* (кд), служит основой для построения всей системы световых единиц. Кандела — сила света в направлении нормали к отверстию абсолютно черного тела, имеющего температуру затвердевания платины и площадь  $1/60 \text{ см}^2$ .

*Светимость*  $R = dF/dS_{\text{ш}}$  — плотность излучаемого светового потока  $dF$  по площади поверхности источника излучения  $dS_{\text{ш}}$ .

*Яркость*, кн/м<sup>2</sup> (устаревшее название единицы — НИТ), светящейся поверхности в заданной точке и в направлении, составляющем угол  $\alpha$  с нормалью к поверхности  $L = dI/(dS \cos \alpha)$  — отношение силы света  $dI$  элемента поверхности  $dS$  к площади проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению силы света.

Диапазон яркости белых участков изображения на экране кинескопа  $60 \dots 80 \text{ кд/м}^2$ .

*Освещенность*  $E = dF/dS$ , лк (люкс), характеризует плотность светового потока  $dF$  по освещаемой поверхности  $dS$ . Освещенность в 1 лк создается световым потоком в 1 лм, равномерно распределенным по поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ ;  $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$ . Диапазоны для освещенности киноэкрана  $40 \dots 200$  лк, для объекта передачи в ТВ студии  $1000 \dots 2000$  лк.

1.4.2. **Объективные и субъективные характеристики цвета.** *Цвет* — характеристика зрительного ощущение,

позволяющая человеку распознавать качественные различия излучений, обусловленные разным спектральным составом света. В явлении «цвет» объективным фактором является световое излучение, его мощность, спектральный состав, а субъективным цветное ощущение, возникающее у человека. Цветовое ощущение характеризуют тремя параметрами: светлотой, цветовым тоном и насыщенностью. *Светлота* — свойство зрительного ощущения, согласно которому поверхность кажется испускающей больше или меньше света. Светлоте нельзя непосредственно измерить и выразить числом, но можно оценить количественно: больше, равно, меньше. Оценку *равно* характеризуют измеренным значением яркости излучения. Светлота и яркость излучения связаны нелинейной зависимостью, приближенно выражаемой законом Вебера—Фехнера.

Свойство зрительного ощущения, обозначаемое словами: фиолетовый, синий, зеленый, красный и т. д. — называют *цветовым тоном*. Излучение с равномерным распределением энергии по видимому спектру имеет белый цвет. Если из этого излучения последовательно выделять монохроматические излучения с длинами волн  $380 \dots 760$  нм, получим все цветовые тона спектра. Человек может различить более 150 спектральных цветовых тонов. Примерное деление видимого спектра по основным цветовым тонам показано на рис. 1.4.1. Глаз наиболее чувствителен к желто-зеленым излучениям, менее к оранжево-красным и еще меньше — к синим. Кроме чистых спектральных тонов человек различает около 30 оттенков пурпурных цветовых тонов, получаемых при смешении фиолетового и красного спектральных цветов.

*Насыщенность* — свойство цветового ощущения, характеризующее степень удаленности данного цвета по зрительному восприятию от белого. Чистые спектральные цвета максимально насыщенные, а белые и серые ненасыщенные. Светлота дает количественную характеристику цвета, а цветовой тон и насыщенность — качественную. Качество цвета называют *цветностью*. Трем субъективным параметрам цветового ощущения соответствуют объективные параметры цвета (цветового стимула) — яркость, преобладающая длина волны и чистота цвета. Яркость — фотометрическая величина. *Преобладающей длиной волны  $\lambda_d$*  называют длину волны монохроматического излучения того же цветового тона, что и данный цвет. Под колориметрической *чистотой цвета* (светового потока  $F$ ) понимают относительное содержание в нем спектрального цвета (монохроматического светового потока  $F_\lambda$ ):  $p = F_\lambda/F = F_\lambda/(F_\lambda + F_0)$ , где  $F_0$  — световой поток белого цвета. В одинаковых условиях наблюдения различным цветам соответствуют излучения разных спектральных составов. Однако ощущения одного и того же цвета могут вызывать излучения разных спектральных составов. Например, белый цвет создает излучение с широким непрерывным спектром, смесь узкополосных красного, зеленого и синего излучений или два соответственно подобранных монохроматических излучения. Визуально одинаковые цвета, имеющие разные спектральные составы, называют *метамерами*.

1.4.3. **Трехцветное выражение цветов.** Описывать цвета их спектральным составом сложно и неудобно из-за метамеров, поэтому в колориметрии и цветном ТВ используют трехцветное представление цветов. Опыты с аддитивным уравниванием цветов производят следующим образом. В визуальном колориметре на левую половину поля сравнения (белую диффузно отражающую поверхность) направляют излучение опорного белого цвета  $E$  с равномерным спектральным распределением мощности, а на правую половину — излучение красного  $R$ , зеленого  $G$  и синего  $B$  основных цветов (рис. 1.4.2, а). Интенсивности излучений основных цветов подбирают так, чтобы цвета правой и левой половин поля сравнения визуально не различались. Измеряют мощности излучений основных

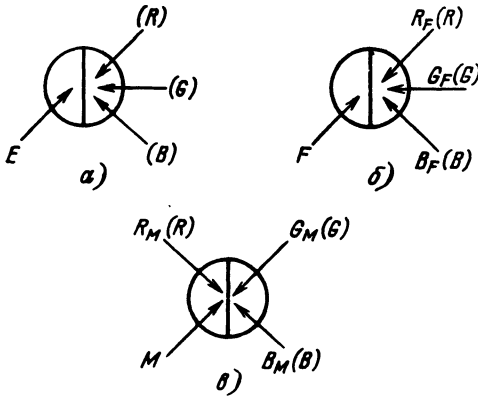


Рис. 1.4.2. Способы визуального согласования цветов

цветов  $R_R$ ,  $G_R$ ,  $B_R$ . Измеренные значения определяют единичные количества основных цветов  $(R)$ ,  $(G)$ ,  $(B)$ , уравнивающие опорный белый цвет  $E$ . Затем на левую половину поля направляют излучение некоторого цвета  $F$  и, изменяя мощности излучений основных цветов, визуально уравнивают их смесь с цветом  $F$ , измеряют мощности излучений основных цветов  $P_{RF}$ ,  $P_{GF}$ ,  $P_{BF}$  и вычисляют относительные величины  $R_F = P_{RF}/P_{RE}$ ,  $G_F = P_{GF}/P_{GE}$ ,  $B_F = P_{BF}/P_{BE}$ , которые называют *координатами цвета*. Результат зрительного уравнивания записывают в виде цветового уравнения  $F = R_F(R) + G_F(G) + B_F(B)$ , где символами  $(R)$ ,  $(G)$ ,  $(B)$  обозначены единичные количества основных цветов, а  $R_F$ ,  $G_F$ ,  $B_F$  — количества этих значений, необходимые для уравнивания цвета  $F$ . Если некоторый цвет  $M$  нельзя уравнивать смесью основных цветов, то единичное количество одного из основных цветов, например  $(R)$ , смешивают с цветом  $M$  (рис. 1.4.2, в) и устанавливают зрительное равенство смеси цветом  $M$  и  $(R)$  со смесью цветов  $(G)$  и  $(B)$ . Результат такого уравнивания записывают *цветовым уравнением*

$$M + R_M(R) = G_M(G) + B_M(B), \quad (1.4.3)$$

где координаты  $R_M$ ,  $G_M$ ,  $B_M$  определены аналогично:

$$R_M = P_{RM}/P_{RE}, \quad G_M = P_{GM}/P_{GE}, \quad B_M = P_{BM}/P_{BE} \quad (1.4.4)$$

Уравнение (1.4.3) можно переписать  $M = -R_M(R) + G_M(G) + B_M(B)$ . Использование отрицательных значений цвета позволяет математически выражать все цвета с помощью любых трех взаимно независимых цветов. Основные законы смешивания, относящиеся к нормальному цветовому зрению в нормальных условиях, установлены в середине XIX в. Грассманом [2]:

1. Непрерывному изменению возбуждающего излучения соответствует непрерывное изменение цвета.
2. Два цвета при смешении всегда дают один и тот же цвет, независимо от того, из каких цветов составлен каждый из них
3. Яркость смеси цветов равна сумме яркостей составляющих смеси.
4. Любой цвет можно выразить через любые три линейно независимые цвета.

Цвет — трехмерная величина, может быть представлен в трехмерном пространстве точкой (или вектором), а координаты цвета — координатами точки (или вектора). Обычно используют взаимно перпендикулярные оси координат. Каждый основной цвет имеет свою координату, равную единице, а две другие — равны нулю, и располагается на соответствующей координатной оси (рис. 1.4.3). Для равномерного заполнения цветового пространства цветами масштабы цветовых координат по координатным осям устанавливают одинаковыми. Цветовое пространство аффинно: в нем нельзя сравнивать длины отрезков разных направлений. Можно сравнивать лишь длины отрезков одной прямой

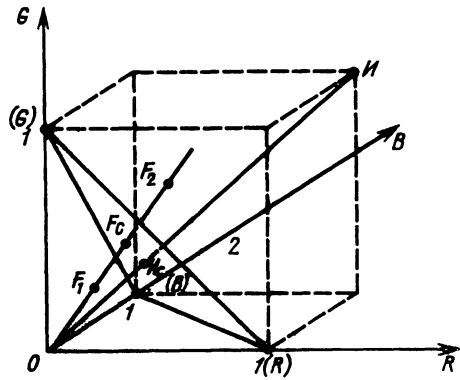


Рис. 1.4.3. Цветовое пространство координатной системы RGB

или параллельных прямых. В цветовом пространстве системы, построенной на реальных цветах  $(R)$ ,  $(G)$ ,  $(B)$ , все реально воспроизводимые цвета заключены в пределах куба. Точка 0 соответствует черному цвету, точка И — исходному (опорному) белому, точки  $(R)$ ,  $(G)$ ,  $(B)$  — основным цветам. Остальные вершины соответствуют попарным смесям единичных количеств основных цветов. Цвет количественно определяют абсолютными значениями координат, а качественно — соотношением между координатами. При изменении количества цвета пропорционально изменяются все его координаты, а точка, определяющая этот цвет, перемещается по прямой, проходящей через начало координат. При изменении качества цвета — цветности — изменяется соотношение между координатами цвета на плоскости, а в пространстве — положение прямой, проходящей через начало координат и точку данного цвета. Количество цвета в колориметрии выражают либо суммой цветовых координат

$$T = R + G + B, \quad (1.4.5)$$

либо координатой яркости  $Y$ . Цветность определяют двумя параметрами. Она отображается точкой на единичной плоскости цветового пространства, проходящей через точки основных цветов (см. рис. 1.4.3). Цветность любого цвета характеризуют точкой пересечения единичной плоскости и прямой, проходящей через начало координат и точку данного цвета. Так, цвета  $F_1$  и  $F_2$  на рис. 1.4.3 имеют одинаковую цветность, представляемую на единичной плоскости точкой  $F_c$ . Проектированию точки цветового пространства на единичную плоскость соответствует деление координат цвета на их сумму:

$$r = R/T, \quad g = G/T, \quad b = B/T. \quad (1.4.6)$$

Из (1.4.5) и (1.4.6) следует  $r + g + b = 1$ . Из рис. 1.4.3 видно, что следы пересечения координатных плоскостей с единичной плоскостью образуют треугольник, вершины которого представляют цветности основных цветов. Его называют *цветовым треугольником*. При равномерном цветовом треугольнике  $(R)$   $(G)$   $(B)$  координатная сетка (рис. 1.4.4, а) будет косоугольной, что неудобно в использовании. Обычно в качестве графика цветностей используют параллельную проекцию единичной плоскости на координатную плоскость  $(R)0(G)$ . Цветовой треугольник при этом становится прямоугольным (рис. 1.4.4, б). Для исходного цвета  $И$  координаты  $R_И = G_И = B_И = 1$ ,  $r_И = g_И = b_И = 1/3$  и точка  $И_0$  на рис. 1.4.4, а и б находится в центре тяжести треугольников. Графические способы решения задач даны в [2, 5, 7, 8]. Цветовые координатные системы можно строить на любой группе из трех линейно независимых цветов. Один и тот же цвет  $F$  в цветовых системах RGB и XYZ имеет координаты

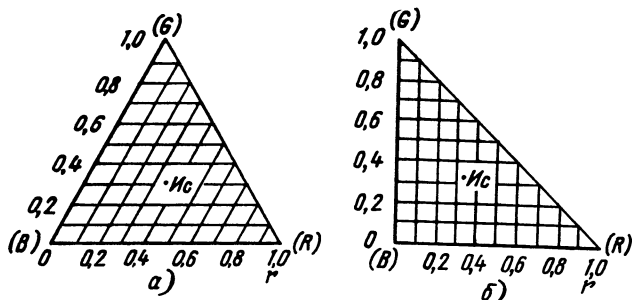


Рис. 1.4.4. Цветовые треугольники RGB с сетками координат  $r, g$

$$F = R_F(R) + G_F(G) + B_F(B) = X_F(X) + Y_F(Y) + Z_F(Z).$$

Переход от координат цвета  $R, G, B$  к координатам  $X, Y, Z$  выполняют с помощью системы линейных уравнений

$$\begin{aligned} X &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B, & Y &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B, \\ Z &= a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B \end{aligned} \quad (1.4.7)$$

или в матричной форме записи

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты  $a_{ij}$  матрицы преобразования определяют по основным и опорному белому цветам одной системы в другой системе. Цветности из одной системы в другую пересчитывают по координатам

$$x = \frac{c_{11}r + c_{12}g + c_{13}}{c_{31}r + c_{32}g + c_{33}}, \quad y = \frac{c_{21}r + c_{22}g + c_{23}}{c_{31}r + c_{32}g + c_{33}}.$$

Формулы пересчета цветовых координат при различных способах задания координатных систем определены в [2, 5].

#### 1.4.4. Основные стандарты колориметрии:

1. Условия определения стандартов. Стандарты колориметрии посвящены источникам и условиям освещения и наблюдения, колориметрическим системам, оцениванию цветовых различий. Существует множество источников света, при которых можно наблюдать объект: солнечный свет, разные фазы дневного света, свет ламп накаливания, люминесцентных ламп и т. п. Световые излучения этих источников имеют разный спектральный состав, что существенно влияет на цвет освещаемых предметов. Для сравнения результатов цветовых измерений в колориметрии используют стандартизованные источники света  $A, B, C, D_{65}$  [9, 10]. Источники воспроизводят условия освещения:  $A$  — искусственного электрическими лампами накаливания;  $B$  — прямого солнечного;  $C$  — рассеянного дневного;  $D_{65}$  — усредненного дневного. В качестве источника  $A$  используют газонаполненную лампу накаливания с вольфрамовой нитью, в качестве источников  $B$  и  $C$  — источник  $A$  в сочетании с жидкостными или стеклянными фильтрами, обеспечивающими требуемое спектральное распределение излучения (рис. 1.4.5). Источники света принято характеризовать цветовой температурой. Цветовая температура  $T_c$  источника света соответствует абсолютной температуре идеального излучателя (абсолютно черного тела), свет которого имеет ту же цветность, что и данное излучение. Разные цветовые температуры стандартных источников света ничего не говорят о реальных температурах этих источников или о спектральном распределении излучений, а лишь отмечают разницу их цветностей. Поэтому  $T_c$  излучения является неполной

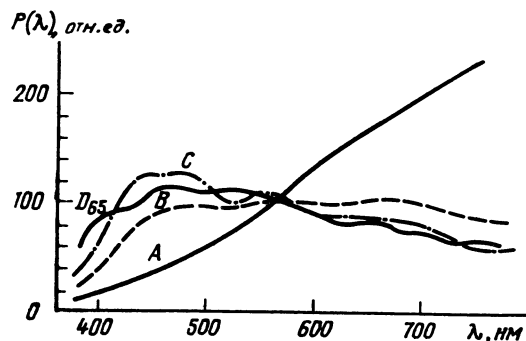


Рис. 1.4.5. Относительные спектральные распределения мощностей излучений источников  $A, B, C, D_{65}$  (МКО)

характеристикой излучений с точки зрения передачи цветов объектов (рис. 1.4.6, табл. 1.4.1).

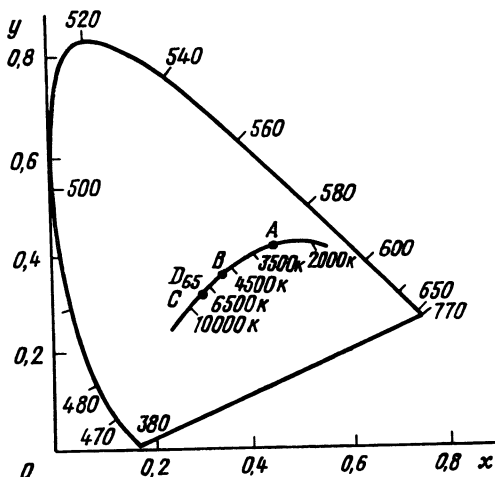


Рис. 1.4.6. Цветовой график  $x, y$  МКО (1931 г.) с линией цветностей абсолютно черного тела и цветностями стандартных излучений МКО

Таблица 1.4.1. Координаты цветности и цветовой температура стандартных излучений МКО [9]

Излучение	Координата цветности		$T_c, K$
	$x$	$y$	
A	0,4476	0,4074	2856
B	0,3484	0,3516	4874
C	0,3101	0,3162	6774
$D_{65}$	0,3127	0,3290	6504

В колориметрии и в цветном ТВ вместо источников  $B$  и  $C$  используют  $D_{65}$ . В расчетах часто используют белый цвет  $E$ , который имеет равномерное распределение энергии излучения по длинам волн.

Стандартные условия освещения и наблюдения отражающих образцов установлены МКО [9]. Колориметрические измерения отражающих образцов проводят при одном из следующих условий освещения и наблюдения: 45/0 — свет падает на образец под углом  $45^\circ$  относительно нормали к поверхности образца, наблюдение образца — по нормали к его поверхности; 0/45 — свет падает по нормали, а наблюдение — под углом  $45^\circ$  к нормали; диффузное/0 — диффузное освещение образца и наблюдению по нормали; 0/диф-

фузное — освещение по нормали и диффузное измерение отраженного света.

2. Колориметрические системы. Основой для построения цветовых координатных систем служат экспериментальные данные по сложению цветов, стандартизированные МКО в 1931 г. в виде цветовой системы RGB МКО.

При субъективном измерении цветовых координат 79 спектральных цветов, одинаковой мощности монохроматических излучений и равноэнергетическом белом цвете  $E$  в качестве исходного взят цвет, полученный с помощью смешения трех основных цветов — монохромных излучателей с длинами волн  $\lambda_R = 700$  нм,  $\lambda_G = 546,1$  нм,  $\lambda_B = 435,8$  нм. Единичные количества этих цветов характеризуют [5] соотношением мощностей, Вт, монохроматических излучений  $P_R : P_G : P_B = 243,9 : 4,663 : 3,384$  или соотношением световых потоков  $F_R : F_G : F_B = 1 : 4,5907 : 0,0601$  лм. Для их измерений служит цветовой треугольник (рис. 1.4.7). Кривые

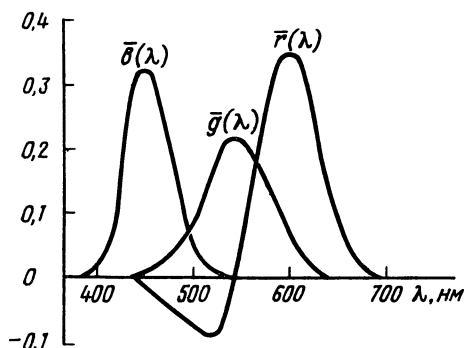


Рис. 1.4.7. Кривые сложения системы RGB (МКО)

сложения  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$ ,  $\bar{b}(\lambda)$ , полученные в результате субъективных измерений (рис. 1.4.8), неудобны для колориметрических расчетов, поскольку имеют отрицательные ординаты для ряда монохроматических излучений. В 1931 г. МКО стандартизовала систему

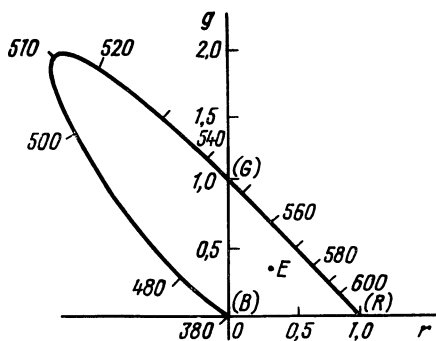


Рис. 1.4.8. Цветовой треугольник (R)(G)(B) МКО и линии спектральных и пурпурных цветностей

XYZ, свободную от этого недостатка. В системе XYZ МКО использованы нереальные основные (X), (Y), (Z) и опорный белый E цвета. Цвета (X), (Y), (Z) выбраны так, чтобы координата Y была пропорциональна яркости, а ординаты кривых сложения цветов  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  были положительны. Переход от координат R, G, B к координатам X, Y, Z выполняют по формуле [7]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,7689 & 1,7517 & 1,1302 \\ 1,0000 & 4,5907 & 0,0601 \\ 0,0000 & 0,0565 & 5,5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

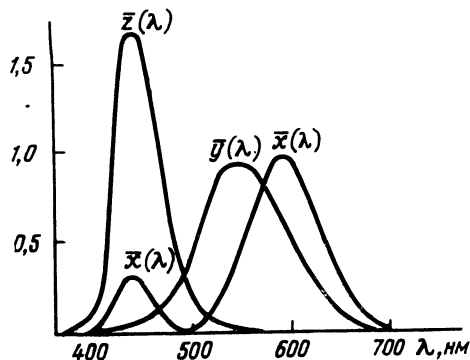


Рис. 1.4.9. Кривые сложения системы XYZ (МКО)

Кривыми сложения  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  (рис. 1.4.9) характеризуют стандартного колориметрического наблюдателя МКО 1931 г. Кривая сложения  $\bar{y}(\lambda)$  совпадает с кривой относительной спектральной световой эффективности монохроматических излучений  $V(\lambda)$ . Координаты цветности в системе XYZ определяют по формулам, аналогичным (1.4.5) и (1.4.6):  $x = X/W$ ,  $y = Y/W$ ,  $z = Z/W$ , где  $W = X + Y + Z$ . На рис. 1.4.10

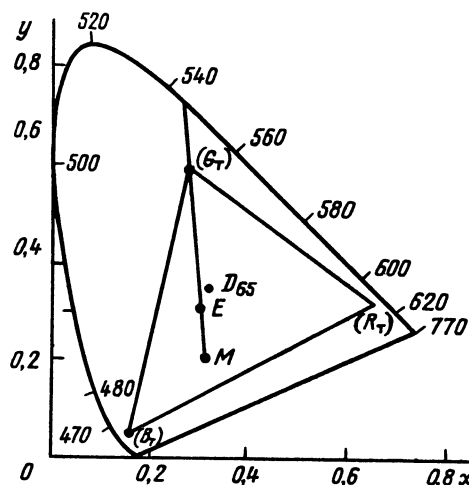


Рис. 1.4.10. Цветовой график  $x, y$  (МКО) с линиями спектральных и пурпурных цветностей и цветным треугольником основных цветов ТВ приемника

линии спектральных и пурпурных цветностей ограничивают область реальных цветностей, а треугольник основных цветов стандартизован. Цветовой график позволяет определять значения преобладающей длины волны и чистоты цвета для любой цветности. Преобладающая длина волны  $\lambda_p$  определяется точкой пересечения с линией спектральных цветностей прямой, проведенной из точки выбранного опорного белого цвета через точку данного цвета. Например, цветность  $G_T$  имеет преобладающую длину волны  $\lambda_p = 545$  нм. Пурпурные цветности, для которых нельзя найти чистые спектральные излучения, характеризуют дополнительной длиной волны  $\lambda_d$  (численное значение дополнительной длины волны записывают со знаком минус). Чистоту цвета определяют по значениям координат цветности  $x, y$  точки [12]:

$$p = \frac{y_\lambda}{y} \frac{y - y_6}{y_\lambda - y_6} = \frac{y_\lambda}{y} \frac{x - x_6}{x_\lambda - x_6},$$

где  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$  и  $x_0$ ,  $y_0$  — координаты цветностей спектральной и опорной белой.

3. Расчет координат цвета. Координаты цвета с известным спектральным распределением излучения  $P(\lambda)$  в системе ZYZ МКО рассчитывают по формулам:

$$X = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \bar{x}(\lambda) P(\lambda) d\lambda; \quad Y = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \bar{y}(\lambda) P(\lambda) d\lambda;$$

$$Z = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \bar{z}(\lambda) P(\lambda) d\lambda,$$

где  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  — кривые сложения в системе XYZ,  $\lambda_1=380$  нм,  $\lambda_n=760$  нм — границы светового диапазона излучений. Поскольку функции  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  и  $P(\lambda)$  задаются табличным способом с шагом  $\Delta\lambda=5$ , или 1 нм, то на практике интегрирование заменяют суммированием:

$$X \approx \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \bar{x}(\lambda_i) P(\lambda_i); \quad Y \approx \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \bar{y}(\lambda_i) P(\lambda_i);$$

$$Z \approx \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \bar{z}(\lambda_i) P(\lambda_i).$$

Пример расчета координат цветности  $x$ ,  $y$  дан в [6].

1.4.5. Цветовые системы ТВ тракта. Цветовой анализ объекта передачи, передача кодированных сигналов цветности и синтеза цвета в приемнике цветного изображения характеризуются различными колориметрическими системами [12]. Основные цвета кинескопа и опорный белый цвет, который должен получаться при возбуждении люминофоров равными сигналами, определяют цветовую координатную систему приемника. Согласно ГОСТ 7845—79 [11] основные цвета (R), (G), (B) должны иметь координаты цветности:  $x_R=0,64$ ,  $y_R=0,33$ ;  $x_G=0,29$ ,  $y_G=0,60$ ;  $x_B=0,15$ ,  $y_B=0,06$ . В качестве опорной белой принята цветность источника  $D_{65}$  с координатами  $x=0,313$ ;  $y=0,329$ . Из рис. 1.4.10. видно, что цветовой треугольник охватывает большинство цветностей, встречающихся в ТВ вещании. Для стандартизованных основных цветов яркость связана с координатами цвета [12]:  $Y=0,2219R + 0,7068G + 0,0713B$ . Стандартизованные основные цвета имеют следующие значения преобладающей длины волны, нм, и чистоты цвета, %:  $\lambda_{dR}=610$ ,  $p_R=95$ ;  $\lambda_{dG}=545$ ;  $p_G=85$ ;  $\lambda_{dB}=460$ ,  $p_B=60$ .

Кривые сложения для стандартизованной цветовой системы приемника [12] рис. 1.4.11 имеют значительные отрицательные и побочные положительные ветви. Спектральные характеристики чувствительности передающей камеры для колориметрически верного анализа должны совпадать с кривыми сложения рис. 1.4.11. На практике

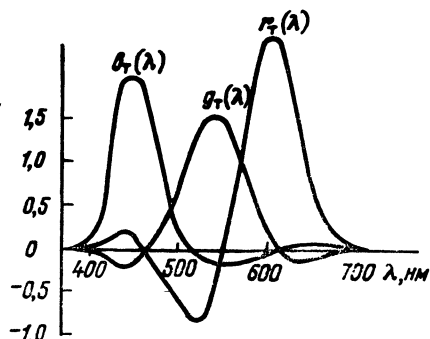


Рис. 1.4.11. Кривые сложения цветовой системы ТВ приемника

в камерах воспроизводят лишь главные положительные ветви кривых сложения, что приводит к искажениям цветопередачи. Эти искажения можно снизить, применив матричную коррекцию сигналов передающей камеры [2]. Вопросы колориметрии рассмотрены в [4, 6, 12, 14], а подробно в [2, 5].

## Список литературы

1. Пэдхем Ч., Сродерс Д. Восприятие света и цвета.— М.: Мир, 1978.— 256 с.
2. Кустарев А. К. Колориметрия цветного телевидения.— М.: Связь, 1967.— 335 с.
3. Гуревич М. М. Фотометрия.— 2-е издание.— Л.: Энергоатомиздат, 1983.— 272 с.
4. Кривошеев М. И., Кустарев А. К. Световые измерения в телевидении.— М.: Связь, 1973.— 224 с.
5. Новаковский С. В. Цвет в цветном телевидении.— М.: Связь, 1989.— 386 с.
6. Самойлов В. Ф., Хромой Б. П. Телевидение.— М.: Связь, 1975.— 400 с.
7. Мешков В. В. Основы светотехники. Часть 2.— М.— Л.: Госэнергоиздат, 1961.— 416 с.
8. Справочник по телевизионной технике. / Перевод с англ. Под ред. С. И. Катаева. Том 1.— М.— Л.: Госэнергоиздат, 1962.— 616 с.
9. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике.— М.: Мир, 1978.— 592 с.
10. ГОСТ 7721—76. Источники света для измерения цвета.
11. ГОСТ 7845—79. Система вещательного телевидения. Основные параметры. Методы измерений.
12. Кустарев А. К., Шендерович А. М. Искажения цветного телевизионного изображения.— М.: Связь, 1978.— 184 с.
13. Международный светотехнический словарь. 3-е издание. / Русский текст под общей редакцией Д. Н. Лазарева.— М.: Русский язык, 1979.
14. Ткаченко А. П. Цветное телевидение.— Мн.: Беларусь, 1981.— 255 с.

## 1.5. Описание изображений объектов наблюдения

1.5.1. Источник сообщений ТВС. В ТВ системе явления (объекты и события)  $G$  окружающего мира выступают источниками информации. Телевизионная система обеспечивает передачу информации с помощью последовательности зрительных (ТВ изображения) и слуховых образов — ТВ сообщений. Зрительные образы формируют источники сообщений системы передачи информации.

Основные требования к ТВ изображениям: 1) они должны содержать все сведения об объекте передачи, соответствующие назначению системы и свойствам получателя информации; 2) точность задания этих сведений должна учитывать ограничения на технические параметры ТВС и выбранный критерий верности воспроизведения; 3) сформированное ТВ изображение должно быть задано в форме, удобной для передачи по каналу связи. Выполнение этих требований обеспечивается в процессе семантического кодирования — формирования зрительного образа объекта передачи — и синтаксического кодирования — задания ТВ сообщений в форме, удобной для передачи по каналу связи.

Свойства семантического кодирования: 1) выделение событий (объектов) для передачи и формирование сообщений на их основе; в ТВС эти процессы должны удовлетворять критериям полноты и подлинности [1] (иллюзия непосредственного восприятия натуры); 2) сообщение, формируемое в процессе семантического кодирования, обладает избыточностью, которая определяется различиями воспринимающей способности

создателя и получателя ТВ изображения; для вещательной ТВ системы необходимо увеличивать избыточность из-за наличия различий воспринимающей способности по группе получателей; 3) производительность источника сообщений, характеризующая эффективность семантического кодирования, зависит от формы представления информации. Так как системы связи инвариантны к форме представления информации [2], то эффективность передачи семантической информации (т. е. содержания сообщения) обеспечивается только в процессе семантического кодирования.

Свойства синтаксического кодирования: кодирование охватывает ряд структурных преобразований ТВ сообщений в процессе формирования ТВ сигнала [3, 4]: генерализации, нормализации, декомпонирования, дискретизации, кодирования. Элемент ТВ сообщения задается  $n$ -мерным вектором ( $n$  — число существенных параметров, определяющих зрительный образ)  $\alpha_i = c_{1,i}e_1 + \dots + c_{j,i}e_j + c_{n,i}e_n = \sum_{j=1}^n c_{j,i}e_j$ , где  $e_1, \dots, e_n$  — координатные орты;  $c_{1,i}, \dots, c_{n,i}$  — координаты вектора  $\alpha_i$ , соответствующие значениям существенных параметров: пространственно-временных —  $X, Y, Z, T$  и светотехнических, задаваемых, например, яркостью  $L$ , цветовым тоном  $\lambda$  и насыщенностью  $p$ .

Операторы генерализации  $E$  и нормализации  $H$  связаны с наложением требований к точности передачи  $E(e_L, e_\lambda, e_p, e_X, e_Y, e_Z, e_T)$  и диапазону изменения  $H$  значений выделенных информационных параметров ТВ системы:  $S \xrightarrow{E \circ H} S' = \{L, \lambda, p, X, Y, Z, T\}_{E,H}$ .

Оператор декомпонирования  $D$  преобразует многомерное сообщение  $S'$  в совокупность двумерных на основе поэлементной передачи значений независимых параметров  $L, \lambda, p$  элементов с пространственно-временными координатами  $X, Y, Z, T$ :

$$S \xrightarrow{D \circ (E \circ H)} S'' = \{\{L, T\}_{E,H}; \{\lambda, T\}_{E,H}; \{p, T\}_{E,H}\}.$$

Сообщению  $S''$  (2) соответствует совокупность трех одномерных сигналов  $A_i = \{a_L(t); a_\lambda(t); a_p(t)\}$ . Операторы дискретизации (по времени и значениям) одномерных сигналов обеспечивают представление полученных непрерывных сигналов  $A_i$  в дискретной форме  $A$ . В процессах декомпонирования и дискретизации отсчетные точки (отсчеты) выбирают через временные интервалы, зависящие от требуемой точности передачи пространственно-временных координат  $e_X, e_Y, e_Z, e_T$ , а шаг квантования отсчетных значений определяется требуемой точностью передачи светотехнических координат  $e_L, e_\lambda, e_p$ . Однако эти требования различны для разных деталей изображения, так как значения порогов зрительного восприятия  $\delta_j$ , определяющие эти требования, зависят от указанных параметров передаваемых деталей. Поэтому задача дискретного представления ТВ изображений сложна.

**1.5.2. Дискретная структура ТВ изображений.** Для минимальных значений интервала дискретизации и шага квантования ТВ изображение представляется в виде совокупности  $\hat{S}$  дискретных элементов  $\alpha_i \in \hat{S}$ . Элемент  $\alpha_i$  можно считать принадлежащим некоторой области  $v_k$  — детали изображения. В ней различие параметров элементов не обнаруживается при восприятии, т. е. это различие ниже порога восприятия  $\delta_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ).

Свойства дискретной структуры ТВ изображения [5]:

1. Множества элементов ТВ изображения образует метрическое пространство  $m_n$  [6] с расстоянием

$$\rho(\alpha_i, \alpha_k) = \max_{j=\overline{1, n}} \{x_j | c_{j,i} - c_{j,k} | \},$$

где  $x_j > 0$  — нормирующий множитель (нормирование к максимальному или текущему значению  $j$ -го параметра).

Тогда для области  $v_k$ :

$$\hat{S} \subseteq \bigcup v_k, v_k = \{\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_m\}, \max \rho(\alpha_i, \alpha_k) < \delta_i, i = \overline{1, m}; k = \overline{1, m}.$$

2. Области  $v_k$  образуют минимальную  $\varepsilon$ -сеть в метрическом пространстве ТВ-изображений  $\hat{S}$ ,  $\rho$ . Элементы — представители областей  $v_k$  — образуют множество  $A$ , которое задает с точностью до  $\varepsilon$  описание множества элементов изображения:  $\rho(\alpha_i, \alpha_k) < \varepsilon, A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha_{N_\varepsilon}\}, \min N_\varepsilon$  при  $\varepsilon = \delta_j$ . Изменение  $\delta_j$  в диапазоне значений параметров ТВ изображения значительно усложняет определение  $\varepsilon$ -сети и множества  $A$ . Однако для многих задач обработки ТВ изображений — кодирование, коррекция, фильтрация — можно ограничиться заданием ТВ изображения  $\hat{S}$  классами эквивалентности.

3. Отношение эквивалентности  $Q: \alpha_k \sim \alpha_i \rightarrow \delta_{j,k}$ ,  $\delta_{j,i} \in \Delta\delta_{j,q}$  на множестве  $\hat{S}$  порождает разбиение его на классы эквивалентности  $\hat{S} = A_1 \cup A_2 \cup \dots; A_q \cap A_p = \emptyset$  при  $q \neq p$ . В один класс объединяют элементы изображения, для которых значения порогов зрительного восприятия лежат в некоторой области  $\Delta\delta_{j,q}$ , принадлежащей интервалу  $\delta_{j,\min} \dots \delta_{j,\max}$ . Задание ТВ изображения классами эквивалентности является более грубым по сравнению с  $\varepsilon$ -сетью. Но для его определения требуется оценить меньшее число параметров элементов  $\alpha_i \in \hat{S}$ , что существенно упрощает реализацию классификации элементов ТВ изображения. Классы эквивалентности выбирают, исходя из конкретной задачи обработки изображений. Разбиение на классы эквивалентности используют во многих задачах обработки изображений: объединение в одном классе элементов по протяженности мелких деталей и яркостных переходов при эффективном кодировании, сегментация изображений в задачах фильтрации. В известных системах цветного ТВ фактически выделяют класс тонкоструктурных составляющих, информация о цветности которых не передается. Разбиение на классы эквивалентности лежит в основе современных адаптивных методов обработки ТВ изображений. В [7] рассмотрен оптимальный выбор классов эквивалентности для задач адаптивной фильтрации и коррекции ТВ сигнала.

4. Для каждого класса  $A_q \subset \hat{S}$  существует подкласс элементов  $A_q^0$ , воспринимаемых в процессе зрительного обнаружения. Частотные, временные и динамические ограничения в ТВС приводят к тому, что восприятие элементов ТВ изображения охватывает процессы зрительного обнаружения и различения (пороги восприятия  $\delta_j^0$  и  $\delta_j^p$  соответственно). В процессе обнаружения воспринимаются малоконтрастные детали изображения, причем увеличение уровня шумов приводит к возрастанию значений контраста, для которых восприятие происходит в процессе обнаружения. Для одноэлементных деталей изображения  $\delta_j^0 > \delta_j^p$  примерно в 3 раза. Подклассы элементов  $A_q^0 \subset \hat{S}$  описывают текстуру изображения [8, 9], обработка и передача которой существенно влияет на качество изображения, так как в зависимости от сюжета и качества передачи текстура занимает 30...50% площади кадра.

**1.5.3. Вероятностное описание изображений.** Выбор интервала дискретизации  $\Delta C_d$  по пространственным и временному параметрам, а также шага квантования  $\Delta C_k$  для светотехнических параметров изображения определяет алфавит символов, с помощью которых задается множественное описание изображений. Если значения  $\Delta C_d$  и  $\Delta C_k$  постоянны и не зависят от параметров изображения, то множественное описание инвариантно структуре изображения. Примером может служить классическая импульсно-кодовая модуляция (ИКМ), при которой эти значения минимально независимы от параметров изображения. Тогда модель изображения представляет собой множество  $A_n$  дискретных элементов  $\alpha_i$  минимальной протяженности. Ал-

фавитом символов для их описания является шкала квантования  $\Sigma_j$ . Изображение можно задать областями  $\Phi_a$ , в которых различие параметров элементов  $\alpha_i$  не обнаруживается при восприятии либо оно ниже требуемой точности воспроизведения. Его можно задать также классами эквивалентности. Элементы  $\alpha_i$  каждого класса характеризуются порогами зрительного восприятия либо требованиями к точности воспроизведения, которые принадлежат одной области значений порогов (требований к точности). Вероятностное описание изображений охватывает задание плотности вероятности, числовых характеристик, а также априорных вероятностей элементов, областей, классов эквивалентности, используемых в множественном описании. Его используют для оценки энтропии и производительности источника изображений, анализа и синтеза систем кодирования. В общем случае множество реальных изображений представляет собой нестационарный случайный процесс. Только для ограниченного класса изображений и определенных допущений принимается их стационарность в широком смысле, для которой характерна независимость оценок математического ожидания, дисперсии и корреляционной функции от значений пространственных  $x, y$  и временной  $t$  координат.

Распределение яркости  $L(x, y, t)$  деталей изображения существенно зависит от изображения, т. е. сюжета структуры (рис. 1.5.1 [10] и рис. 1.5.2 [11]). Для не-

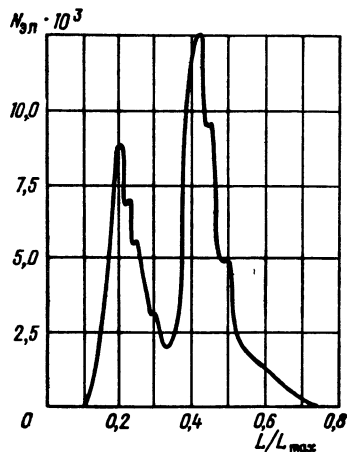


Рис. 1.5.1. Гистограмма распределения яркостей изображения

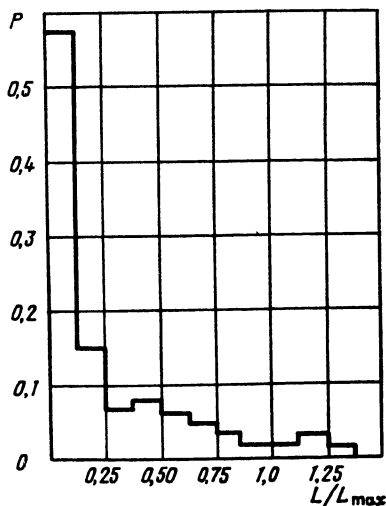


Рис. 1.5.2. Гистограмма распределения яркостей изображения (кинокадры)

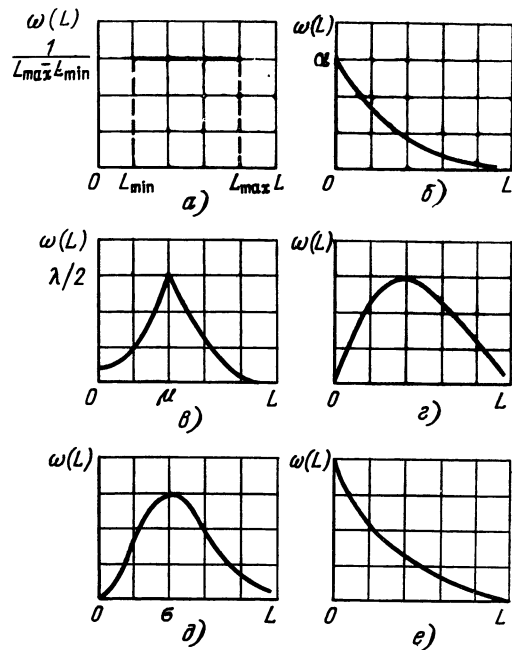


Рис. 1.5.3. Законы распределения яркости изображения

которых сюжетов отмечено распределение яркости, близкое к равномерному [12—14]. Если учесть принятое допущение о стационарности изображений, то математической моделью значений яркости  $L(x, y, t)$  могут служить следующие законы распределения вероятности [15]:

равномерный (рис. 1.5.3, а)

$$w(L) = \begin{cases} 0 & L < L_{\min}, \\ \frac{1}{L_{\max} - L_{\min}} & L_{\min} < L < L_{\max}, \\ 0 & L > L_{\max}, \end{cases} \quad (1.5.1)$$

$$\eta_{1,L} = (L_{\min} + L_{\max})/2, \quad \eta_{2,L} = (L_{\max} - L_{\min})^2/12;$$

экспоненциальный односторонний (рис. 1.5.3, б)

$$w(L) = \begin{cases} 0 & L < 0, \\ a \exp(-aL) & 0 < L < \infty, \end{cases} \quad (1.5.2)$$

$$\eta_{1,L} = 1/a, \quad \eta_{2,L} = 1/a^2;$$

экспоненциальный двусторонний (закон Лапласа, рис. 1.5.3, в)

$$w(L) = \frac{\lambda_B}{2} \exp[\lambda_B |L - \mu|], \quad \eta_{1,L} = \mu, \quad \eta_{2,L} = 2/\lambda_B^2; \quad (1.5.3)$$

логарифмически-нормальный (рис. 1.5.3, г)

$$w(L) = \begin{cases} 0 & L < 0, \\ \frac{1}{L \sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln L - a)^2}{2\sigma_L^2} \right] & 0 < L < \infty, \end{cases} \quad (1.5.4)$$

$$\eta_{1,L} = \exp(a + \sigma_L^2/2), \quad \eta_{2,L} = \exp(2a + \sigma_L^2) \cdot (\exp \sigma_L^2 - 1);$$

Рэля (рис. 1.5.3, д)

$$w(L) = \begin{cases} 0 & L < 0, \\ \frac{L}{\sigma_L^2} \exp\left(-\frac{L^2}{2\sigma_L^2}\right) & 0 < L < \infty, \end{cases} \quad (1.5.5)$$

$$\eta_{1,L} \approx 1,25\sigma_L, \quad \eta_{2,L} \approx 0,43\sigma_L^2.$$

На основе фотометрирования натуральных сцен и киноизображений получено [11] для *одномерной плотности вероятности распределения яркости в изображении* (рис. 1.5.3, е)  $w(L) = (1/\eta_{1,L}) \exp(-L/\eta_{1,L})$ . В этих выражениях: математическое ожидание, как среднее значение

яркости изображения  $\eta_{1,L}(x, y, t) = \int_{-\infty}^{\infty} L(x, y, t) w(L;$

$x, y, t) dL$  и дисперсия  $\eta_{2,L}(x, y, t) = \int_{-\infty}^{\infty} [L(x, y, t) - \eta_{1,L} \times \times (x, y, t)]^2 w(L; x, y, t) dL$ . Для стационарного процесса  $\eta_{1,L} = \int_{-\infty}^{\infty} L w(L) dL$ ,  $\eta_{2,L} = \int_{-\infty}^{\infty} (L - \eta_{1,L})^2 w(L) dL$ .

Законы Рэля, логарифмически-нормальный, экспоненциальный односторонний законы удовлетворительно описывают одномерные плотности

$$R(\Delta x, \Delta y, \tau) = R(\Delta x) R(\Delta y) R(\tau). \quad (1.5.6)$$

Обычно условия разделения АКФ изображений по про-

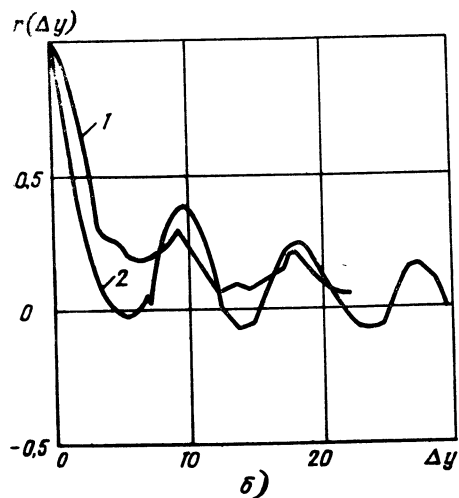
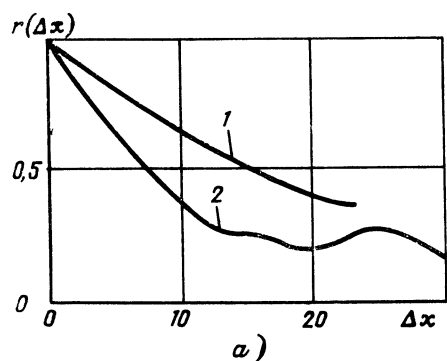


Рис. 1.5.4. Графики коэффициентов автокорреляции изображений (1 — полутонового (портрет) и 2 — двухградационного (текст)) в направлении: а — горизонтальном; б — вертикальном

странственным координатам не выполняются. Коэффициент автокорреляции изображений

$$r(\Delta x, \Delta y, \tau) = \frac{K(\Delta x, \Delta y, \tau)}{K(0, 0, 0)} = \frac{R(\Delta x, \Delta y, \tau) - \eta_{1,L}^2}{R(0, 0, 0) - \eta_{1,L}^2},$$

полученный на основе аппроксимации результатов измерений статистических характеристик [10], имеет вид (рис. 1.5.4)  $r(\Delta x, \Delta y) = \exp[-(k_1^2 \Delta x^2 + k_2^2 \Delta y^2)^{1/2}]$ , где  $k_1$  и  $k_2$  — масштабные константы. На основе этого выражения для коэффициента автокорреляции принято представление ТВ изображений двумерным марковским процессом первого порядка. Для некоторых ансамблей изображений справедлива следующая аппроксимация [10, 11] (рис. 1.5.5)  $r(\Delta x, \Delta y) = \exp(-k_1 |\Delta x| - k_2 |\Delta y|)$

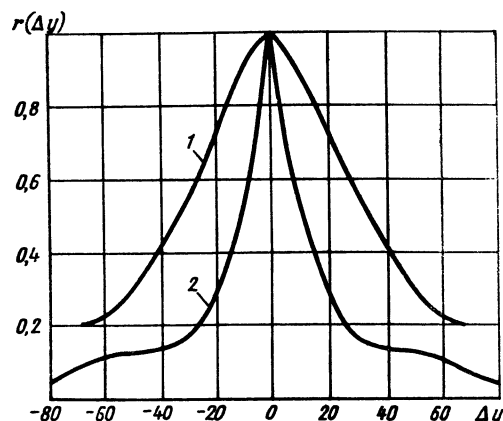


Рис. 1.5.5. Графики коэффициентов корреляции изображений (1 — крупный план (портрет), 2 — общий план с преобладанием тонкоструктурных деталей)

или для трехмерного случая [16]  $r(\Delta x, \Delta y, \tau) = \exp(-k_1 \times \times |\Delta x| - k_2 |\Delta y| - k_3 |\tau|)$ , где  $k_3$  — масштабная константа. Из этих выражений следует, что для этих ансамблей изображений допустимо раздельное представление АКФ (1.5.6). Тогда константы  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  представляют собой величины, обратные интервалу корреляции  $\Delta_k$  соответственно по координатам  $x$ ,  $y$  и  $T$ :

$$\Delta_k = \int_0^\infty r(\Delta) d\Delta; \quad \Delta_{k,x} = \frac{1}{k_1}; \quad \Delta_{k,y} = \frac{1}{k_2}; \quad \tau_k = \frac{1}{k_3}.$$

Исходя из допущений стационарности и эргодич-

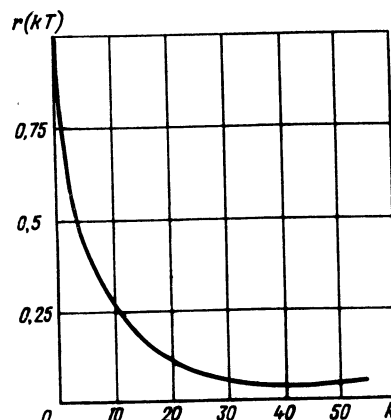


Рис. 1.5.6. Изменение коэффициента межкадровой автокорреляции изображений



ности ТВ изображений на основе экспериментальных данных в [17] получен закон изменения коэффициента межкадровой автокорреляции (рис. 1.5.6) вероятности реальных полутоновых изображений, экспоненциальный двусторонний. Экспериментальные данные [см. (1.5.1) — (1.5.5)] позволяют определять вероятности для разных уровней яркости шкалы квантования  $\Sigma_L$ . Кроме числовых характеристик  $\eta_{1,L}$  и  $\eta_{2,L}$  для вероятностного описания изображений используют автокорреляционную или автоковариационную функции, а также энергетический спектр, которые с учетом принятых допущений о стационарности и эргодичности процесса имеют вид

$$R(\Delta x, \Delta y, \tau) = \lim_{T_x \rightarrow \infty, T_y \rightarrow \infty, T \rightarrow \infty} \frac{1}{T_x} \frac{1}{T_y} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T_x}{2}}^{\frac{T_x}{2}} \int_{-\frac{T_y}{2}}^{\frac{T_y}{2}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} L(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \tau) L(x, y, t) dx dy dt,$$

$$K(\Delta x, \Delta y, \tau) = R(\Delta x, \Delta y, \tau) - \eta_{1,L}^2,$$

$$G(\omega_x, \omega_y, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R(\Delta x, \Delta y, \tau) \times \times \exp[i(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y + \omega \tau)] d\Delta x d\Delta y d\tau,$$

где  $\Delta x, \Delta y, \tau$  — смещения реализации изображения в направлениях  $x, y$  и времени.

Учитывая поочередность процессов пространственного и временного анализа и синтеза изображений, можно использовать следующее разделение трехмерной автокорреляционной функции (АКФ):  $R(\Delta x, \Delta y, \tau) = R(\Delta x, \Delta y)R(\tau)$ . Для изображений с преобладающими горизонтальной и вертикальной структурами (например, здания) допустимо раздельное представление пространственной АКФ [15]. Тогда

$$r(\tau) = r(kT_k) \approx 0,77 \exp\left(-\frac{|\tau|}{4,77T_k}\right) + 0,23 \exp\left(-\frac{|\tau|}{337T_k}\right),$$

где  $T_k$  — период следования кадров ( $T_k = 0,04$  с). Вероятностное описание изображений в задачах адаптивной обработки (кодирования, фильтрации, коррекции) требует задания вероятностных характеристик дискретных областей  $\Phi_A$ , а также классов эквивалентности  $A_q$  изображения. В [18] определены законы распределения вероятностей тонкой структуры изображений: 1) деталей одно- и трехэлементной протяженности по горизонтали положительного и отрицательного контраста  $\gamma_1^{\pm} \dots \gamma_3^{\pm}$ ; 2) групп из двух и трех импульсов  $\gamma_{11}$  и  $\gamma_{111}$ , соответствующих передаче периодических структур изображения с минимальным периодом повторения; 3) границ одно- и трехэлементной протяженности  $\gamma_{\Phi 1}^{\pm}, \dots, \gamma_{\Phi 3}^{\pm}$  для крупных деталей. Эти законы распределения относятся к различным сюжетам изображений — серий оригиналов (табл. 1.5.1 и 1.5.2); портрет — крупный план I, среднеплановые сюжеты II, пейзаж III, индустриальные сюжеты IV, а также смешанные сюжеты высокого V и среднего качества VI. Значения коэффициентов [18] (см. табл. 1.5.1) для следующих законов распределения:

нормального ( $a, \sigma$ );

$$w(x_v) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_v - a)^2}{2\sigma^2}\right],$$

Таблица 1.5.1. Значения коэффициентов для различных законов распределения

Параметр сигнала	Закон распределения	Серии оригиналов					
		I	II	III	IV	V	VI
$\sigma_1^-$	$a$	25,4	29,9	37,9	31,4	29,0	36,8
	$\sigma$	15,6	12,8	15,8	15,4	16,2	12,3
	$\sigma$	20,4	23,9	30,3	25,0	23,1	29,4
$\gamma_1^+$	$a$	44,7	49,8	68,7	52,9	50,5	60,3
	$\sigma$	26,1	21,1	32,1	29,5	32,8	23,0
	$\sigma$	35,7	39,7	54,8	42,2	40,3	48,2
$\gamma_2^-$	$a$	57,6	24,5	29,4	31,5	28,8	27,6
	$\sigma$	34,1	10,2	14,2	15,5	16,3	11,8
	$\sigma$	45,9	19,6	23,5	25,1	23,9	22,0
$\gamma_2^+$	$a$	80,1	13,0	17,4	17,7	16,4	—
	$\sigma$	46,2	6,31	9,99	10,3	10,1	—
	$\sigma$	64,0	10,4	13,9	13,9	13,1	—
$\gamma_3^-$	$a$	98,9	28,7	31,4	36,0	33,3	31,7
	$\sigma$	63,2	13,9	15,3	16,5	17,4	14,7
	$\sigma$	78,5	22,9	25,2	28,7	26,7	25,3
$\gamma_3^+$	$a$	12,2	18,3	23,0	22,4	22,6	20,6
	$\sigma$	64,7	25,5	12,0	12,6	14,0	11,3
	$\sigma$	97,3	14,6	18,6	17,8	18,0	16,5
$\gamma_{\Phi 1}^-$	$a$	48,0	43,1	60,9	57,1	45,7	59,7
	$\sigma$	25,5	14,7	23,7	20,9	23,7	19,0
	$\sigma$	38,3	34,4	48,6	45,6	36,4	47,7

Рэлея ( $\sigma$ ):

$$w(x_v) = \frac{x_v}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{x_v^2}{2\sigma^2}\right],$$

Вейбулла ( $m, x_0$ ):

$$w(x_v) = \frac{m}{x_0} x_v^{m-1} \exp\left[-\frac{x_v^m}{x_0^m}\right], \quad x_v \geq 0.$$

Известны также вероятности появления тонкоструктурных деталей для специальных сюжетов изображения, например морского дна [19].

Из анализа данных таблиц следует: что частота появления деталей одно- и трехэлементной протяженности не превосходит 1...3%; резкие границы двух- и трехэлементной протяженности имеют место в несколько раз реже, чем одноэлементной; частота появления групповых структур  $\gamma_{11}, \gamma_{111}$  уменьшается примерно на порядок для каждого дополнительного элемента в группе. Результаты характеризуют распределение вероятностей тонкой структуры только контрастных деталей изображения воспринимаемых в процессе зрительного различения. Для малокаонтрастных тонкоструктурных составляющих (текстура) изображения, воспринимаемых в процессе зрительного обнаружения, определены вероятности появления таких элементов. Учитывая, что размах ТВ сигнала от элементов текстуры лежит в пределах  $(1 \dots 3)\sigma_{\Phi}$  ( $\sigma_{\Phi}$  — среднеквадратический уровень шумов), для определения вероятности текстуры использовалось: 1) непосредственное измене-

Таблица 1.5.2. Значения коэффициентов для различных законов распределения

Параметр сигнала	Закон распределения	Серии оригиналов					
		I	II	III	IV	V	VI
$\gamma_{\Phi 1}^+$	$a$	91,4	78,0	132	113	100	110
	$\sigma$	41,7	28,0	56,8	48,3	56,4	39,8
	$\sigma$	72,9	62,3	105	90,2	80,1	87,8
$\gamma_{\Phi 2}^-$	$a$	107	42,7	56,7	61,8	53,9	54,8
	$\sigma$	52,3	14,7	22,9	23,9	25,4	19,3
	$\sigma$	85,3	34,1	45,3	49,3	43,1	43,7
$\gamma_{\Phi 2}^+$	$a$	161	27,3	35,3	42,2	37,4	32,7
	$\sigma$	75,4	9,69	11,0	17,1	17,5	12,4
	$\sigma$	128	21,8	28,2	33,7	29,8	26,1
$\gamma_{\Phi 3}^-$	$a$	179	44,3	—	61,9	55,5	53,4
	$\sigma$	81,2	14	—	23,1	24,2	20,1
	$\sigma$	143	35,4	49,3	49,4	44,3	42,6
$\gamma_{\Phi 3}^+$	$a$	235	30,9	40,7	44,7	38,8	38,4
	$\sigma$	110	11,2	21,7	18,4	18,1	15,8
	$\sigma$	187	24,6	32,4	35,7	31,0	30,7
$\gamma_{11}$	$m$	0,490	0,569	0,713	0,645	0,511	0,817
	$x_0$	0,0685	9,61	52,6	14,9	6,86	88,2
$\gamma_{111}$	$m$	0,387	—	0,457	0,583	0,416	0,493
	$x_0$	0,752	—	1,31	0,858	0,711	1,43

ние площади фотооригинала, занятой элементами текстуры; 2) временная фильтрация зрения (табл. 1.5.3). Установлено, что повышение качества изображений (снижение уровня помех, повышение разрешающей способности) приводит к возрастанию относительной площади, занятой текстурой. Таким образом, тонкоструктурные элементы текстуры встречаются в изображениях значительно чаще, чем контрастные детали, и система передачи изображений должна обеспечивать надежную их передачу.

Таблица 1.5.3. Относительная площадь текстуры изображения

Тип сюжета	Процент площади экрана, занятой текстурой на уровне				
	$\sigma_{\xi}$	$1,5\sigma_{\xi}$	$2\sigma_{\xi}$	$2,5\sigma_{\xi}$	$3\sigma_{\xi}$
Пейзаж	61	55	47	33	12
Портрет	59	54	46	38	24
Общий план	45	41	33	21	11
Средний план	48	44	37	28	13
Среднее по сюжетам	52	47	39	28	14

1.5.4. Информационное описание изображений. Такое описание определяет количество информации, которое содержится в среднем в изображении, производительность источника ТВ сообщений и избыточность изображений. Информационное описание основывается на множественном описании, определяющем алфавит символов сообщения, и вероятностном описании этих символов. В 1.5.2 обосновано представление изображе-

ний (множественное описание) следующими совокупностями:  $A_{\alpha}$  дискретных элементов  $\alpha_i$ , каждый из которых соответствует минимальным значениям интервала дискретизации  $\Delta C_d^{(\alpha)}$  и шага квантования  $\Delta C_k^{(\alpha)}$  ТВ изображений; если  $\Delta C_d^{(\alpha)}$  и  $\Delta C_k^{(\alpha)}$  постоянны и не зависят от параметров изображения, то множественное описание инвариантно к структуре изображения и задается алфавитом символов в виде шкалы квантования  $\Sigma_j$  для каждого из пространственных, временного и светотехнических параметров изображения  $j = \overline{1, n}$ ;

$A_{\delta}$  областей  $\Phi_{\delta}$ , в которых различие параметров элементов  $\alpha_i$  не обнаруживается при зрительном восприятии либо оно ниже требуемой точности воспроизведения; в этом случае для задания светотехнических параметров  $\alpha_i$  элементов области  $\Phi_{\delta}$  указываются их значения для элемента-представителя  $\alpha_k$  области, которые принадлежат шкалам квантования  $\Sigma_j^{(\delta)}$  светотехнических параметров яркости, цветового тона и насыщенности, причем значения  $\Delta C_k^{(\delta)}$  для  $\alpha_k \in \Phi_{\delta}$  переменные и изменяются в пределах  $\Delta C_{k \min}^{(\delta)} \dots \Delta C_{k \max}^{(\delta)}$  в зависимости от значения порога восприятия  $\delta_j$ ;

$A_{\epsilon}$  классов эквивалентности  $A_{\epsilon}$ ; каждый класс  $A_{\epsilon}$  объединяет элементы изображения, для которых значения порогов зрительного восприятия принадлежат некоторой области  $\Delta \delta^{(\epsilon)}$  из интервала возможных значений  $\delta_j \min$  до  $\delta_j \max$ ; соответственно этому значению  $\Delta \delta^{(\epsilon)}$  выбирается  $\Delta C_k^{(\epsilon)}$  и шкала квантования  $\Sigma_j^{(\epsilon)}$  для каждого класса эквивалентности. Для указанных представлений изображения определено его информационное описание. Число элементов изображения  $N_{\text{общ}}^{(\alpha)}$  определяется минимальным шагом дискретизации  $\Delta C_d$ , значение которого выбирают, исходя из разрешающей способности зрения и технической системы передачи изображений по пространственным координатам изображения  $x$  и  $y$ . Для заданных размеров кадра изображения  $S$  и  $\Delta C_{dx} = \Delta C_{dy} = \Delta C_d$  значение  $N_{\text{общ}}^{(\alpha)} = S / \Delta C_d^2$ . Значение  $H(\alpha)$  определяет среднее количество информации в одном элементе  $\alpha$  изображения. Для минимального шага квантования по светотехническим координатам  $\Delta C_{kl}$ ,  $\Delta C_{k\lambda}$  и  $\Delta C_{kp}$  и шкалы квантования [будут] соответственно равны  $\Sigma_L$ ,  $\Sigma_{\lambda}$  и  $\Sigma_p$ . Тогда среднее количество информации в изображении — энтропия изображения [15]

$$J(A_{\alpha}) = \sum_{i=1}^{N_{\text{общ}}^{(\alpha)}} \{ H[A_L(i) | A_L(i-1), \dots, A_L(1)] + \\ + H[A_{\lambda}(i) | A_{\lambda}(i-1), \dots, A_{\lambda}(1)] + \\ + H[A_p(i) | A_p(i-1), \dots, A_p(1)] \},$$

где  $H[\cdot]$  — условная энтропия по светотехническим параметрам  $L, \lambda, p$ ;  $A(i)$  — квантованные значения каждого из этих параметров для элемента изображения  $\alpha_i$ , т. е.  $A_L(i) \in \Sigma_L$ ,  $A_{\lambda}(i) \in \Sigma_{\lambda}$ ,  $A_p(i) \in \Sigma_p$ . Если число элементов, предшествующих данному, не ограничено, то энтропия элемента изображения  $H(\alpha) = H_L[A(i) | \infty] + H_{\lambda}[A(i) | \infty] + H_p[A(i) | \infty]$ , и энтропия всего изображения, представленного совокупностью  $A_{\alpha}$  дискретных элементов  $\alpha_i$ :

$$J(A_{\alpha}) \approx \frac{S}{\Delta C_d^2} \{ H_L[A(i) | \infty] + H_{\lambda}[A(i) | \infty] + \\ + H_p[A(i) | \infty] \}.$$

Реально для случая поэлементной развертки изображения и числа  $k$  последовательных предыдущих элементов [15] можно принять  $H[A(i) | \infty] \approx H[A(i) | A(i-1) \dots A(i-k)]$ .

—1), ..., A(i—k)]. Известны следующие оценки энтропии изображений, передаваемых поэлементно [20]:  
 для  $\Sigma_L=64$  (6 бит/отсчет) получено  $H_L[A(i)]=4,4$  бит/эл.,  $H_L[A(i)|A(i-1)]=1,9$  бит/эл. и  $H_L[A(i)|A(i-1), A(i-2)]=1,5$  бит/эл.;  
 для  $E_L=256$  (8 бит/отсчет) получено  $H_L[A(i)]=6,41$  бит/эл. и  $H_L[A(i)|A(i-1)]=4,04$  бит/эл.

Эти результаты позволяют сделать вывод, что для оценки энтропии элемента изображения существенную роль играет только небольшое число существующих элементов (один—два элемента). Максимальная энтропия изображения  $J_{\max}(A_\alpha)$  достигается в случае, если все элементы изображения статистически независимы и их значения  $A(i)$  равновероятны. Получаем значение энтропии изображения, бит/изобр.:

$$J_{\max}(A_\alpha) = \frac{S}{\Delta C_{\lambda}^2} (\log_2 \Sigma_L + \log_2 \Sigma_\lambda + \log_2 \Sigma_p) = \frac{S}{\Delta C_{\lambda}^2} \log_2 \Sigma_L \Sigma_\lambda \Sigma_p.$$

Учитывая разницу в разрешающей способности зрения по яркости и цветности, получаем максимальное количество информации в изображении

$$J_{\max}(A_\alpha) = \frac{S}{\Delta C_{\lambda L}^2} \log_2 \Sigma_L + \frac{S}{\Delta C_{\lambda p}^2} \log_2 (\Sigma_\lambda \Sigma_p).$$

Информационное описание изображения, заданного совокупностью  $A_\delta$  областей  $\Phi_\lambda$  либо  $A_\epsilon$  классов эквивалентности, значительно сложнее по сравнению с полученным для совокупности элементов  $A_\alpha$ . Совокупности  $A_\lambda$  и  $A_\epsilon$  изображения могут рассматриваться как алфавиты укрупненных элементов (супералфавиты). До настоящего времени информационное описание изображения в символах этих алфавитов оказывается громоздким и малоприменимым для инженерной практики [15, 21].

#### Список литературы

- Моль А., Фукс В., Касслер М. Искусство и ЭВМ.— М.: Мир, 1975.— 556 с.
- Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике.— М.: ИИЛ, 1963.— 830 с.
- Бауэр Ф. Л., Гооз Г. Информатика.— М.: Мир, 1976.— 486 с.
- Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И. Теоретические основы информационной техники.— М.: Энергия, 1979.— 512 с.
- Шерайзин С. М. Множественное описание телевизионных сообщений и сигналов // Труды учебных институтов связи, сб. Теория передачи информации по каналам связи.— 1984.— С. 45—51.
- Вулих Б. З. Введение в функциональный анализ. М.: Наука, 1967.— 415 с.
- Шерайзин С. М. Адаптивная коррекция и фильтрация телевизионных изображений // Труды НИИР.— 1982.— Вып. 1.— С. 98—103.
- Прэтт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982.— Кн. 2.— 480 с.
- Johnson Y. K., Sakrison D. J. Encoding of Images Based on a two-component Source Model // IEEE Trans. Commun.— 1977.— Vol. 25, N 11.— P. 1251—1266.
- Нетравали А. Н., Лимб Дж. О. Кодирование изображений // Обзор. ТИИЭР.— 1980.— Т. 68, № 3.— С. 76—124.
- Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. М.: Радио и связь, 1986.— 248 с.
- Новик Д. А. Эффективное кодирование. М.: Энергия, 1965.— 236 с.
- Коган И. М. Прикладная теория информации. М.: Радио и связь, 1981.— 216 с.
- Piesch P., Stenger L. Statistical analysis and coding of color video signal // Acta Electronica.— 1976.— Vol. 19.— N 4.— P. 277—287.
- Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 1. М.: Мир, 1982.— 312 с.
- Цифровое телевидение. Под ред. проф. Кривошеева М. И.— М.: Связь, 1980.— 264 с.
- Сорока Е. З. Измерение межкадровой корреляции телевизионного изображения // Электросвязь.— 1965.— С. 77—79.
- Жабик А. М., Малыгин В. А., Шерайзин С. М. Законы распределения вероятностей тонкой структуры изображений // Радиотехника.— 1979.— Т. 34, № 1.— С. 69—73.
- Колобков В. С. Статистические параметры сигналов изображений морского дна // Техника средств связи, сер. Техника телевидения.— 1983.— Вып. 2.— С. 90—97.
- Методы передачи изображений. Под ред. У. К. Прэтта.— М.: Радио и связь, 1983.— 264 с.
- Коган И. М. Прикладная теория информации.— М.: Радио и связь, 1981.— 216 с.

## 1.6. Принципы телевидения

### 1.6.1. Дискретизация изображений:

1. 1. Пространственно-временная. Электрическая передача изображений имеет сходство с электрической передачей звуков (рис. 1.6.1, а). Но если построить систему для передачи изображений (рис. 1. 6. 1, б), заменив микрофон М и телефон ТФ (рис. 1.6, а) соответственно на фотоэлемент ФЭ и

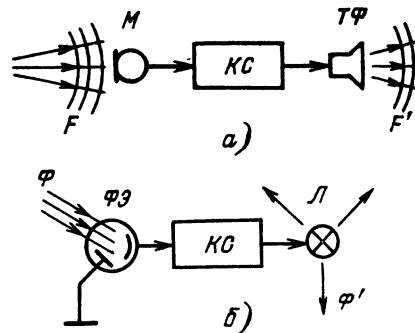


Рис. 1.6.1. Схемы элементарных систем передачи: а — звука; б — изображения

лампу накаливания Л, то на приемном конце удастся получить информацию только об освещенности (яркости) передаваемого изображения. Для получения полной информации передаваемое изображение необходимо разбить на элементарные участки и передавать информацию отдельно от каждого из них [1], причем яркость в пределах границ участка считать постоянной.

Разобьем поле плоского (двумерного) изображения (рис. 1.6.2) вертикальными и горизонтальными линиями на  $N$  элементарных участков со стороной  $\delta$  (осуществим дискретизацию изображения) и будем считать, что в пределах каждого из них, который назовем элементом разложения или изображения, лучистый поток воспринимается как интегральная величина. Для передачи по каналу связи необходимо сообщить номер элемента и его освещенность (яркость). Число оттенков (градаций яркости) зависит от характера изображения. Для получения высококачественного ТВ изображения достаточно передать около 80 градаций яркости [2]. При передаче изображения рис. 1.6.2. все градации

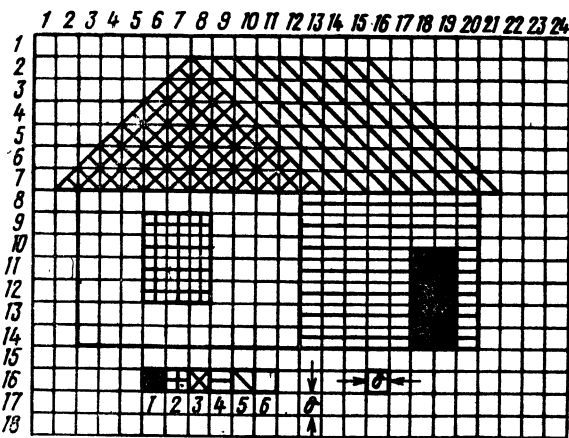


Рис. 1.6.2. К вопросу о передаче элементов изображения

яркости можно пронумеровать: черному присвоить номер 1, темно-серому 2 и так далее до белого (всего в данном случае  $m=6$ ). Для передачи цветного изображения задача усложняется, так как кроме сведений о двух координатах элементов разложения и яркости необходимо передать сведения о его цветности (цветовом токе и насыщенности). Определяя координаты цветности по цветовому треугольнику, можно передать и цветное изображение. Чем меньше размеры элементов изображения и чем больше этих элементов, тем точнее соответствует принятое изображение оригиналу. Увеличение числа элементов разложения улучшает его четкость, повышает разборчивость деталей, но приводит к усложнению и удорожанию ТВ системы. Поэтому для системы ТВ вещания исходят из того, что число элементов разложения не должно превышать некоторого значения  $N_{\max}$ , за пределами которого четкость возрастает, но из-за ограниченности разрешающей способности зрения это не заметно. Оптимальное число  $N$  определяется минимальным размером элемента изображения, внутри которого воспроизводится только средняя яркость, т. е. воспроизведение в отдельности этих элементов с определенного расстояния становится на пределе разрешающей способности глаза. При заданном угле рассматривания и линейной строчной развертке *детальность* может быть определена числом  $N$ , при котором различимость строчной структуры оказывается на пороге разрешающей способности глаза (рис. 1.6.3). Приняв оптимальное расстояние рассматривания  $L/h=5[3]$ , определим оптимальное число строк в растре  $z=\alpha/\delta$ . Определив  $\alpha$  через  $h$  и  $L$  и поставив значение  $\delta=1'$ , получим  $\alpha=2\arctg(h/2L)=2\arctg(1/2\cdot5)\approx 11^\circ$ ,  $z=\alpha/\delta=11\cdot60/1=660$ . При формате кадра  $k=b/h=4/3$ ,  $z=625$  для ТВ вещания число элементов разложения *детальность*, тыс. эл.  $N=kz^2=(4/3)\cdot625^2\approx 520$ .

Число  $N$  однозначно определяется разрешающей

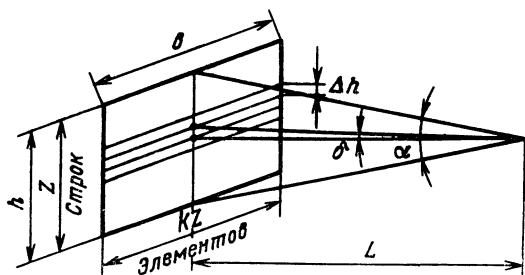


Рис. 1.6.3. К определению детальности элементов

способностью зрительного анализатора: значение  $N=520$  тыс. эл. справедливо только для заданных условий наблюдения. При расстояниях, больше  $5h$ , глаз не различит мелкие детали, а меньше  $5h$  мог бы различать и более мелкие детали, и число элементов разложения могло бы быть больше. Осуществив дискретизацию ТВ изображения в вертикальном и горизонтальном направлениях с шагом  $\delta$  (см. рис. 1.6.2), нужно решить вторую задачу — передать сведения о состоянии каждого элемента изображения.

Одновременно передавать сообщения неэкономично, так как для этого необходимо организовать  $N$  каналов связи в ТВ системе. Поэтому применяют последовательную во времени передачу сигналов: каждый элемент передается в течение времени дискретизации  $\Delta t$ . При достаточной скорости передачи информации на приемном экране световые вспышки от каждого элемента из-за инерционности глаза сольются в непрерывное свечение. Условие отсутствия мерцаний изображения и будет определять число кадров, воспроизводимых в единицу времени.

Для кино число «передаваемых» кадров в секунду составляет 24, а воспроизводимых 48 — из-за того, что каждый кадр демонстрируется зрителю дважды. В ТВ критическая частота мерцаний  $f_{кр}$  выше, чем в кино, поскольку она определяется не только кажущейся яркостью изображения, но и скважностью световых импульсов, создающих ТВ изображение:  $f_{кр}=a \lg L+b$ , где  $L$  — яркость, кд/м<sup>2</sup>, а  $a$  и  $b$  — параметры, зависящие от скважности импульсов.

При увеличении инерционности экрана время свечения элемента изображения увеличивается за счет послесвечения, что приводит к уменьшению  $f_{кр}$ . Для кинескопов, используемых в ТВ вещании,  $f_{кр}=46\ldots 56$  Гц [2]. Номинальной принята частота  $f_{кр.ном}=50$  Гц. Она обеспечивает слитное воспроизведение изображения. Итак, для осуществления ТВ передачи плоское оптическое изображение следует разбить на множество элементов в  $N$ . Их число тем больше, чем больше предельно различимая детальность передаваемого изображения. Информацию о состоянии каждого элемента передают в канал связи последовательно с частотой, обеспечивающей слитное воспроизведение изображений.

2. Дискретизация по светотехническим параметрам. Каждый элемент плоского изображения характеризуется яркостью  $L$ , которая может принимать  $m$  значений, цветностью, определяемой цветовым тоном  $\lambda$ , и насыщенностью цвета  $p$ , т. е. описывается многомерной функцией  $F_i(L, x, y, \lambda, p, t)$ . Число различных градаций яркости зависит от контраста изображения  $K=L_{\max}/L_{\min}$  и порогового контраста  $\sigma=\Delta L/L_{\phi}$ . Величину  $\sigma$  иначе называют еще *контрастной чувствительностью глаза*. По закону Вебера — Фехнера в рабочем диапазоне яркостей  $\sigma=\Delta L/L=0,2\ldots 0,5=\text{const}$ , где  $L$  — освещенность сетчатки глаза. Максимальное число градаций яркости, различимых глазом, прямо пропорционально логарифму контрастности и обратно пропорционально пороговому контрасту  $\sigma$  [3]:

$$m=[\ln(L_{\max}/L_{\min})]/\sigma=2,3/\sigma \cdot \lg(L_{\max}/L_{\min}). \quad (1.6.1)$$

Приняв для ТВ изображения  $K=10\ldots 40$ ,  $\sigma=0,03$ , получим  $m=(2,3/0,03)\lg(10\ldots 40)=(80\ldots 130)$ , т. е. в среднем  $m\approx 100$ . Число цветовых градаций определить сложнее. Экспериментально установлено, что нормальное человеческое зрение различает до 180 цветовых тонов [1] без учета яркостных порогов на одну цветовую градацию.

В аналоговом ТВ дискретизацию изображения по светотехническим параметрам не производят, в цифровом — мгновенному значению сигнала должно соответствовать дискретное значение яркости изображения. Благодаря тому, что глаз различает лишь конечное

число градаций яркости, появляется возможность дискретизировать их значения, т. е. перейти к квантованым изображениям. Квантование — это округление значений яркости, попавших внутрь некоторого их интервала до определенного значения, называемого *уровнем квантования*. Разность между соседними уровнями называют *шагом квантования*. Требуемое число уровней квантования определяется из условия отсутствия ложных контуров (границ) при воспроизведении, т. е. зависит от контрастной чувствительности глаза  $\sigma$ . По (1.6.1) было определено максимальное число различных градаций яркости  $m=130$ . С учетом большого разброса градаций яркости  $L_{\max}$  и  $L_{\min}$  число уровней квантования берут с запасом  $m=256-2^8$ . Аналогичные рассуждения справедливы и при дискретизации сигналов цветности.

Таким образом, при передаче подвижных  $F(L, x, y, t)$  изображений в аналоговом ТВ дискретизируют один из пространственных аргументов  $y$  и времени  $t$ : изображение разбивают во времени на кадры, а каждый кадр — на строки. Шаг дискретизации по времени есть *период кадра*  $T$ , и шаг дискретизации по  $y$  есть *ширина строки*  $\Delta h$  (см. рис. 1.6.3). В системах с чересстрочным разложением кадр разбит на два поля, так что шаг дискретизации по времени  $T/2$ , а по  $y$  —  $2\Delta h$ . По оси  $x$  дискретизация не производят. Однако максимальная частота сигнала зависит от числа элементов в кадре и времени их передачи:  $f_{\max} = 1/2T_{\Sigma} = N/2T_{\Sigma} = kz^2n_k/2$ . Полосу частот сигнала определяют числом строк  $z$  и частотой кадров  $n_k = 1/T$ . По светотехническим параметрам в аналоговом ТВ дискретизацию также не производят, в цифровом дискретизируют все параметры изображения, и в канал связи поступает импульсный сигнал в двоичном коде: имеет два экспериментальных значения 0 и 1, что повышает их помехоустойчивость и открывает большие возможности обработки сигналов с помощью ЭВМ.

## 1.6.2. Анализ телевизионного изображения:

1. Передача изображений. Проиллюстрируем последовательную передачу изображения (рис. 1.6.4 [5]). В передающем устройстве на пло-

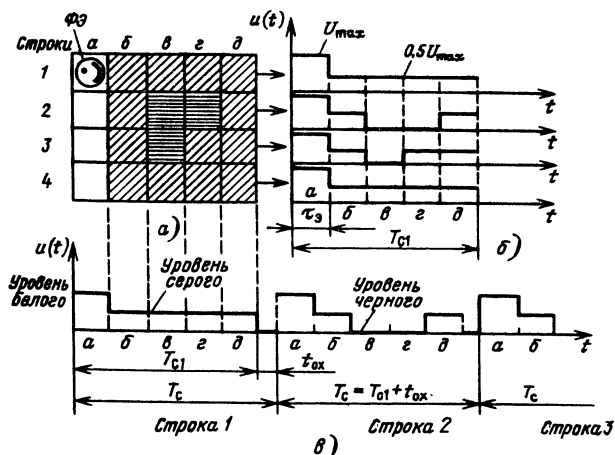


Рис. 1.6.4. Иллюстрация принципа последовательной передачи изображений

ской панели укрепляют фотоэлементы, число которых равно числу элементов разложения. Изображение объекта с помощью объектива проецируют на эту панель. С помощью коммутатора (им может быть и электронный луч) поочередно соединяют каждый фотоэлемент ФЭ с каналом связи. Возникающий в ФЭ фототок  $i_f$ , протекая по нагрузке, образует напряжение сигнала  $U(t)$ . От белого элемента  $I_a$  (рис. 1.6.4, а) получаем  $U_{\max}$ , от серых  $0.5U_{\max}$ , а от черных  $u(t) = U_{\min} =$

$= 0$ . Получаем график напряжения  $u(t)$  (рис. 1.6.4, в) в виде совокупности сигналов строк изображения, показанных на рис. 1.6.4, а. Процесс последовательного во времени преобразования яркости элементов изображения в электрический сигнал составляет сущность ТВ анализа изображения: двумерная функция распределения яркости благодаря использованию анализирующего устройства преобразуется в одномерную функцию времени  $L(x, y) \rightarrow u(t)$ . Назначение анализирующего устройства в том, чтобы образовать электрические сигналы, изменяющиеся в соответствии с яркостями растровых элементов объекта или его изображения. В его состав входят: устройство, образующее развертывающий элемент РЭ, с помощью которого выделяется на объекте и его изображении растровый элемент; развертывающее устройство, последовательно передающее (и принимающее) растровые элементы изображения; преобразователь свет—сигнал, на выходе которого образуется электрический сигнал, соответствующий яркости передаваемых элементов. В ТВ используется фотоэлектрическое преобразование отражаемой от объекта лучистой энергии в электрические сигналы.

Основные методы анализа изображений: *оптический*, применяемый в механических системах ТВ и в фототелеграфии; *электронный*, применяемый во всех современных ТВС. При оптическом методе элемент изображения выделяют светоптическими средствами, (диск Нипкова [1]), в электронном — электронными средствами. Развертывающим элементом (РЭ) может служить отверстие в диафрагме, через которое фотоэлектроны, покинувшие фотокатод диссектора, поступают на электронный умножитель [1] или электронный луч, перемещаемый по мишени в определенной последовательности. Диаметр сечения электронного луча или отверстия в диафрагме диссектора определяют размер элемента разложения.

Основные параметры РЭ — форма, размеры и функция прозрачности или распределения (плотности) электронов в пятне. Форма РЭ может быть прямоугольная, круглая или вытянутая в виде штрих-фокуса (рис. 1.6.5, в). От размера и функции прозрачности  $I(\alpha, \beta)$  (координаты  $\alpha$  и  $\beta$  отсчитывают от центра РЭ) зависит разрешающая способность анализирующего и синтезирующего устройств. Если используется РЭ, в котором плотность тока (светового потока) постоянна, то его функция прозрачности

для *прямоугольной формы* (рис. 1.6.5, а)

$$I(\alpha, \beta) = I_0, \text{ при } -b_p \leq \alpha \leq b_p, -h_p \leq \beta \leq h_p,$$

$$I(\alpha, \beta) = 0, \text{ при } -b_p > \alpha > b_p, -h_p > \beta > h_p,$$

для *круглой формы* (рис. 1.6.5, б)

$$I(\alpha, \beta) = 1, \text{ при } -r \leq \alpha \leq r, -r \leq \beta \leq r,$$

$$I(\alpha, \beta) = 0, \text{ при } -r > \alpha > r, -r > \beta > r.$$

Эти соотношения справедливы для анализирующих устройств, используемых в диссекторах и механических системах ТВ с диском Нипкова. В современных ТВС в качестве РЭ используют электронный луч с круглым сечением (рис. 1.6.5, в), а плотность тока в

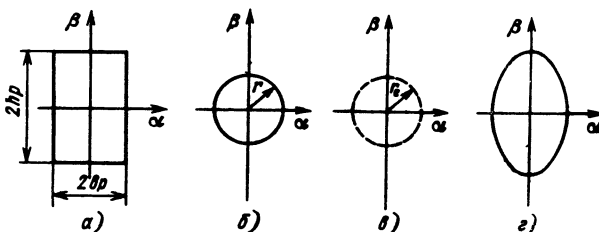


Рис. 1.6.5. Форма развертывающего элемента

луче (рис. 1.6.6, а) приближается к гауссовскому нормальному закону распределения [2, 10]

$$J(\alpha, \beta) = \frac{J_0}{\pi r_e^2} \exp \left\{ - \left[ \left( \frac{\alpha}{r_e} \right)^2 + \left( \frac{\beta}{r_e} \right)^2 \right] \right\}$$

или, переходя к относительной плоскости тока  $\rho(\alpha, \beta) = [J(\alpha, \beta)]/J_0$ , получаем

$$\rho(\alpha, \beta) = \frac{1}{\pi r_e^2} \exp \left\{ - \left[ \left( \frac{\alpha}{r_e} \right)^2 + \left( \frac{\beta}{r_e} \right)^2 \right] \right\},$$

где  $r_e$  — условный радиус апертуры, при котором плотность тока уменьшается в  $e$  раз по сравнению с плотностью тока в центре пучка  $J_0$ .

Рассмотрим влияние на передачу идеальной резкой границы АБ (рис. 1.6.6, а), слева от которой освеще-

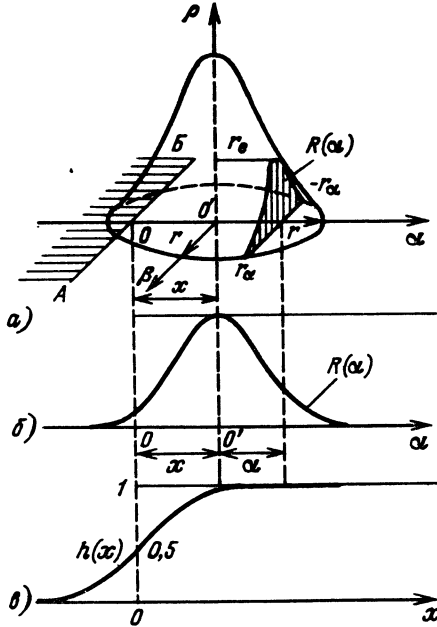


Рис. 1.6.6. К вопросу о влиянии на передачу идеальной резкой границы изображения слева от которой  $E=0$ , справа  $E=\text{const}$

щенность  $E=0$ , справа  $E=\text{const}$ , и найдем относительное изменение сигнала при  $x=vt$   $h(x) = [i(x)]/i_m$ , называемое *переходной характеристикой* анализирующего устройства. Переход симметричного пятна с радиусом  $r$  и прозрачностью  $\rho(\alpha, \beta)$  (рис. 1.6.6, а) через границу АБ сопровождается нарастанием уровня сигнала [10]

$$i(x) = eE \iint_{\Delta S'} \rho(\alpha, \beta) d\alpha d\beta = eEP(x), \quad (1.6.2)$$

где  $P(x)$  — мгновенные значения энергии (прозрачности) той части пятна  $\Delta S'$ , которая находится в данный момент на светлом поле с освещенностью  $E$ ;  $e$  — чувствительность фотопреобразователя.

Величину  $P(x)$  вычисляем следующим образом. Выделяем в пределах  $\Delta S'$  полоски шириной  $dx$ , параллельные границе АБ, имеющие интегральную прозрачность  $R(\alpha) = \int_{-r_\alpha}^{+r_\alpha} \rho(\alpha, \beta) d\beta$ .

При удалении центра пятна  $0'$  от границы АБ на расстояние  $x$   $P(x) = \int_x^r R(\alpha) d\alpha$ .

Подставив (1.6.3) в (1.6.2), найдем

$$i(x) = eE \int_{-x}^r R(\alpha) d\alpha = eE \left[ \int_0^r R(\alpha) d\alpha + \int_0^x R(\alpha) d\alpha \right]. \quad (1.6.3)$$

Учитывая, что

$$\int_0^r R(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \iint_{\Delta S} \rho(\alpha, \beta) d\alpha d\beta, \quad (1.6.4)$$

где  $\Delta S = \pi r^2$  и с учетом (1.6.4) выражение (1.6.3) примет вид

$$i(x) = \frac{eEP}{2} \left[ 1 + \frac{2}{P} \int_0^x R(\alpha) d\alpha \right], \quad (1.6.5)$$

где  $eEP = i_m$  — установившееся значение сигнала  $i(x)$  согласно (1.6.2). Использование (1.6.5) позволяет легко находить функцию

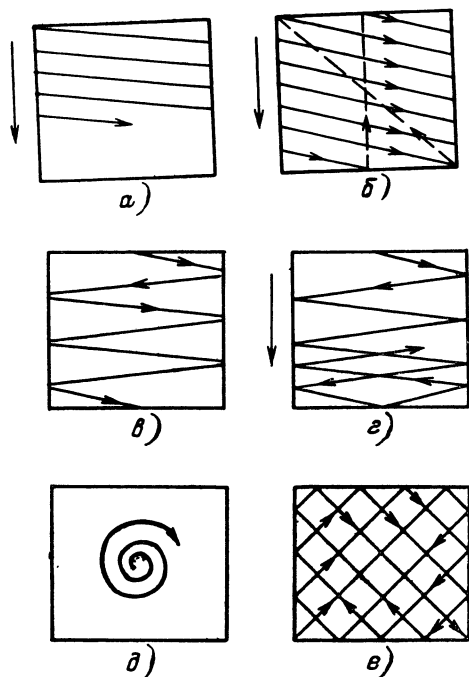
$$h(x) = \frac{i(x)}{i_m} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2}{P} \int_0^x R(\alpha) d\alpha \right],$$

являющуюся одновременно апертурно-временной характеристикой анализирующего устройства, поскольку  $x=vt$  и при  $v=\text{const}$  пропорционально времени  $t$  (рис. 1.6.6, в).

Наличие длинных хвостов в гауссовской кривой приводит к дополнительному увеличению зоны размытости и понижению контраста изображения и, кроме того, не позволяет делать незаметной дискретную структуру раstra в вертикальном направлении. Если поперечный размер апертуры меньше межстрочного расстояния, то изображение воспроизводится с затемнениями между строками, создающими растровый фон. Если поперечный размер апертуры превышает межстрочные расстояния, происходят наложение строк и соответственно потеря четкости. Применение РЭ на приемной и передающей сторонах с постоянным распределением плотности тока по сечению приводит к улучшению четкости и контрастности изображения и устранению визуальной заметности строчной структуры раstra, но в электронных ТВС получить постоянную плотность тока в сечении электронного луча практически не удастся. Анализ ТВ изображения оказался возможным благодаря совместному использованию фотозлемента и развертки — поочередной передаче элементов изображения. Порядок такой передачи, определяющий способ развертки, может быть различным. Развертки могут быть *детерминированными*, у которых траектория движения РЭ четко определена и заранее задана, и *недетерминированными*, в которых направление движения РЭ автоматически устанавливается в зависимости от содержания изображения [2]. Недетерминированные развертки возникли в связи с потребностью в оптимизации передачи и обработки визуальной информации.

2. *Детерминированная развертка.* Можно сформировать много траекторий движения развертывающего элемента при анализе изображения. Лучшей следует считать такую, которая позволяет удовлетворять следующим условиям [2]: 1) за полный цикл развертки передаются все элементы разложения, причем каждый однократно и за одно и то же время; 2) частота кадров наименьшая; 3) непроизводительные потери времени на обратный ход развертки минимальны; 4) проста в реализации.

Условие 1 удовлетворяют все линейные развертки (рис. 1.6.7): *построчная* (рис. 1.6.7, а), образуемая



1.6.7. Траектории движения луча при различных развертках

перемещением РЭ вдоль параллельных линий (строк), смещающихся на шаг; *построчно-реверсивная*, у которой направление смещения строк по вертикали от кадра к кадру меняется на обратное; *чересстрочные*, при которых строки прочерчиваются не подряд, а через одну (рис. 1.6.7, б), две и более, разделяя кадр на два, три и более число полей. Этому условию удовлетворяет и *чересстрочная развертка*, в которой осуществляется чересстрочное разложение по вертикали и черезэлементное — вдоль строки. Здесь весь кадр передается за четыре поля. В электронных системах из-за того, что луч с конца предыдущей строки должен вернуться в начало следующей и с конца предыдущего кадра в начало следующего (кроме построчно-реверсивной), потери на обратный ход неизбежны, и, следовательно, условие 3 не выполняется. Условию 2 хуже всего удовлетворяет построчно-реверсивная развертка, так как она приводит к уменьшению числа повторений крайних строк (нижних и верхних) по сравнению с построчной разверткой и в результате к необходимости повышения частоты кадров  $n_k$ . Лучшее всего этому условию удовлетворяет чересстрочная развертка, но она не удовлетворяет условию 4. Компромиссным вариантом, удовлетворяющим условиям 2 и 4, является чересстрочная развертка скратностью 2, позволяющая снижать частоту кадров в 2 раза по сравнению с построчной. Дальнейшее уменьшение частоты кадров за счет повышения коэффициента чересстрочности не удается, так как возникают межстрочные мерцания.

Синусоидальная развертка (рис. 1.6.7, в) удовлетворяют условиям 3 и 4, но не удовлетворяют 1 и 2: при конечных размерах развертываемого пятна на краях раstra наблюдается слипание строк и перекрытие их друг другом, а наличие сдвига по фазе между развертками датчика и приемника приводит к раздвоению изображения [6]. Зигзагообразные развертки (треугольные) удовлетворяют условию 3, но не удовлетворяют остальным: неизбежны пропуски и повторения элементов на краях раstra (слипание и перекрытие строк), что противоречит условию 1, сложно обеспечить идентичность прямых и обратных ходов (это противоречит условию 4) они также очень чув-

ствительны к сдвигу по фазе между развертками датчика и приемника.

*Спиральная развертка* (рис. 1.6.7, д), имеющая постоянную угловую скорость, достаточно хорошо удовлетворяет всем условиям, кроме 1. При переменной частоте она может удовлетворить условию 1, но тогда не будет удовлетворять условию 4. Спиральную развертку, несмотря на ее недостатки, можно применять в устройствах, где другие виды разверток неприемлемы. Особенно благоприятна она при передаче изображений круглых (при просмотре труб, скважин и т. д.) и вращающихся объектов (например, лопастей турбины). В приемном устройстве, изменяя фазу развертки с той же частотой, что и у объекта, можно остановить изображение на экране и рассмотреть его. С помощью спиральной развертки можно измерять частоту вращения объекта. Основное преимущество спиральной развертки перед линейной заключается в том, что время обратного хода луча от периферии к центру составляет около 2% времени развертки, в то время как при линейной — около 22% [6]. Наиболее целесообразна для ТВС чересстрочная развертка. Недостатки чересстрочной развертки проявляются при передаче движущихся объектов, контуры которых воспроизводятся размытыми [2].

*Недетерминированные развертки* применяют главным образом в ТВ автоматике, в режимах поиска и слежения РЭ. В режиме поиска РЭ движется по заданной траектории, при попадании на изображение объекта он переходит в режим слежения, во время которого считывается информация и обрабатывается.

*Пример:* рассмотрим развертку со случайным выбором фрагмента изображения, предназначенную для передачи графической информации (рис. 1.6.7, е). В режиме поиска РЭ блуждает в поле изображения по прямым, отражаясь от границ кадра как шар от борта бильярдного стола. После нескольких отражений РЭ успевает побывать в разных частях кадра, т. е. «бегло осматреть» все изображение. При встрече с линией рисунка система переходит в режим слежения по его контуру, но свобода прослеживания предоставляется на сравнительно малый промежуток времени, после чего направление прослеживания меняется на обратное до возвращения РЭ к месту первоначальной встречи с линией. На этом зарисовка фрагмента рисунка заканчивается, и РЭ возобновляет поиск до очередной встречи с контуром изображения.

Другие виды недетерминированных разверток подробно рассмотрены в [2, 6]. Способ развертки (анализа) ТВ изображений зависит от назначения ТВС, требований к качеству выходного изображения и условий использования аппаратуры.

**1.6.3. Описание полного телевизионного сигнала**  
На выходе анализирующего устройства получен видеосигнал (см. рис. 1.6.4, е), несущий информацию о яркости передаваемой сцены. Информация передается только во время прямого хода  $T_{с1}$ , во время обратных ходов  $t_{0.х}$  на выходе преобразователя свет-сигнал потенциал неопределен и зависит от типа передающих трубок. Во время обратных ходов строчной и кадровой разверток в видеосигнал замешиваются гасящие импульсы, необходимые для записывания электронного луча кинескопа. Исходный сигнал с введенными в него гасящими импульсами называют *сигналом яркости* [3]. Для обеспечения синфазной работы развертывающих устройств на передаче и приеме используют принудительную синхронизацию (по одному разу в течение длительностей строки и кадра) специальными импульсами называемыми *сигналами синхронизации*, вырабатываемыми синхрогенератором и передаваемыми во время передачи гасящих импульсов. Сигналы синхронизации разверток располагаются на площадке гасящих импульсов в области чернее черного (рис. 1.6.8). Сигнал, состоящий из сигналов яркости и синхронизации, называют *полным ТВ сигналом* (ПТВС). На ри-

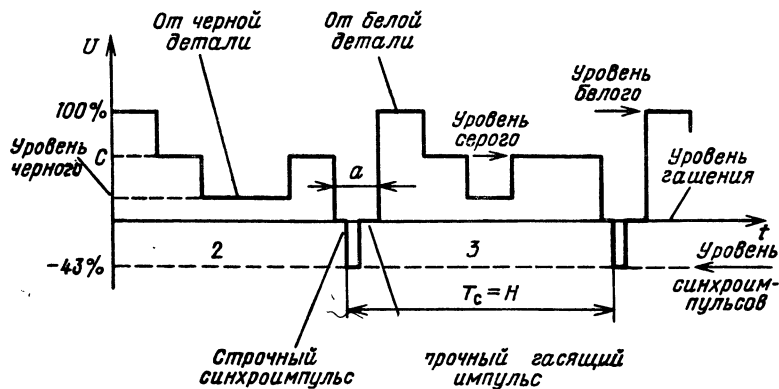


Рис. 1.6.8. Диаграмма полного ТВ сигнала второй и третьей строк

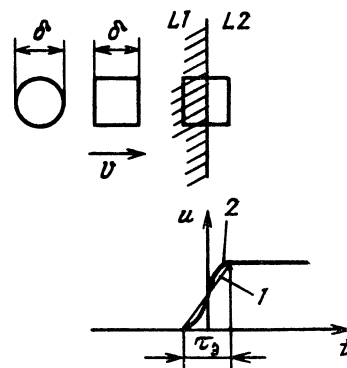


Рис. 1.6.9. К вопросу о формировании сигнала с линейным нарастанием фронта и круглой апертурой

сунке отмечены характерные уровни сигнала (белого, черного, гашения и серого). Размах сигнала яркости отсчитывают между уровнями белого и черного. Между уровнями черного и гасящих импульсов образуется защитный интервал. Длительность гасящего импульса соответствует длительности обратного хода по строкам. Относительные потери времени на обратный ход  $a/H$  ( $a = t_{o. x}$  — длительность обратного хода,  $H = T_c$  — длительность строки) нормируют. При  $H = 64$  мкс и  $a = 12$  мкс они не должны превышать 18,7%. Рассмотренный ТВ сигнал имеет положительную полярность: потенциал уровня белого выше потенциала уровня черного, т. е. напряжение сигнала  $u(t)$  зависит от яркости передаваемой сцены.

Сигнал изображения униполярен. Он имеет постоянную составляющую, пропорциональную средней яркости (освещенности). Это объясняется тем, что яркость, коэффициент отражения не могут быть отрицательными. Форма сигнала изображения, показанного на рис. 1.6.4, б, получена в предположении, что РЭ обладает бесконечно малой апертурой. Однако апертура РЭ не может быть точечной, поскольку уровень сигнала пропорционален площадке РЭ. Квадратная апертура со стороной  $\delta$  и равномерной прозрачностью (например, отверстие в диске Нипкова) при передаче черно-белой границы формирует видеосигнал 1 с линейным нарастанием фронта на интервале  $\tau_a$ , равном времени развертки одного элемента (рис. 1.6.9, 1). При круглой апертуре и равномерной прозрачности (как в диссекторе) форма фронта будет иной (кривая 2).

Как видно из рис. 1.6.9 и 1.6.10 конечные размеры апертуры РЭ приводят к размытию резких границ (контуров) на изображении и к уменьшению размаха сигнала от мелких деталей. При образовании сигнала изображения от деталей, имеющих размеры диаметра сечения РЭ, его форма становится близкой к синусоидальной. При дальнейшем уменьшении размеров деталей размах сигнала уменьшается и передаваемые де-

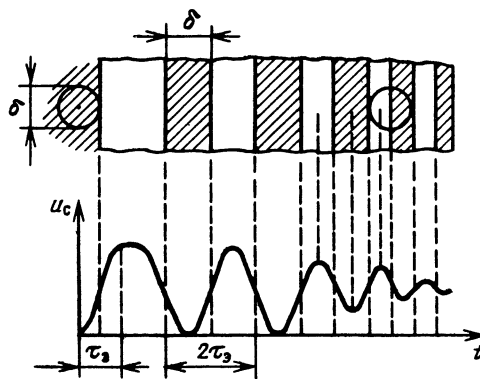


Рис. 1.6.10. Диаграмма сигнала от чередующихся черно-белых полос при круглой апертуре РЭ с диаметром  $\delta$

тали не воспроизводятся на изображении. Иными словами, конечные размеры апертуры ограничивают разрешающую способность ТВС. При развертывании изображения электронным лучом с круглой апертурой (см. рис. 1.6.5, в) и нормальным законом распределения электронов в сечении луча (рис. 1.6.6, а) зоны размытости фронтов сигналов увеличатся и их размахи от мелких деталей дополнительно уменьшатся.

**1.6.4. Синтез телевизионного изображения.** Полный ТВ сигнал поступает на модулятор передатчика и далее в канал связи (рис. 1.6.11). В телевизоре исходный ПТВС восстанавливается и усиливается до уровня, необходимого для управления преобразователем сигнал-свет. В амплитудном селекторе АС из ПТВС выделяются импульсы синхронизации и подаются на развертывающие устройства (РУ) преобразователя сигнал-свет для синхронизации его разверток. В пре-

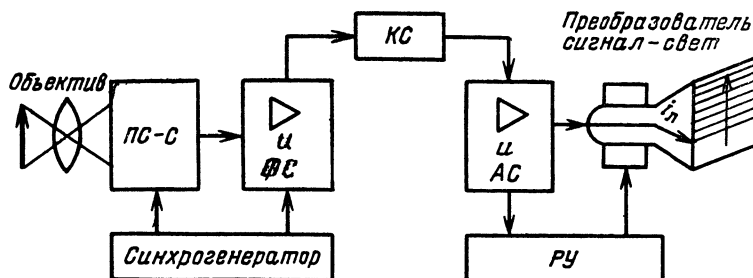


Рис. 1.6.11. Структурная схема канала связи



образователе сигнал-свет (ПС—С) поэлементно синтезируется передаваемое изображение  $u(t) \rightarrow L(x, y)$ , т. е. одномерная функция времени преобразуется в двумерную функцию распределения яркости в плоскости экрана  $L(x, y)$ , однозначно соответствующую передаваемому изображению. Синхронная развертка обеспечивает геометрическое подобие синтезируемого изображения передаваемому, а соответствие яркостей каждого элемента изображения на экране кинескопа яркости передаваемой сцены обеспечивается мгновенными значениями сигнала изображения  $u(t)$ .

В качестве преобразователей сигнал-свет используют кинескопы. Принцип электрооптического синтеза изображения на экране кинескопа заключается в следующем. На ограниченной по размерам плоскости экрана в соответствии с заданным законом развертки перемещается световое пятно. Яркость экрана определяется мгновенным значением сигнала изображения. Размер пятна мал и соответствует пределу разрешающей способности глаза (одному элементу разложения). Если световое пятно совершает цикл развертки в пределах плоскости экрана за время, соизмеримое с инерционностью зрительного ощущения, то в сознании человека создается впечатление одновременного свечения всей плоскости, в которой перемещается световое пятно, хотя в любой момент это пятно занимает вполне определенное положение. На экране кинескопа световое пятно образуется благодаря взаимодействию сфокусированного электронного пучка с люминофором, нанесенным на внутреннюю поверхность передней стенки колбы, т. е. используется явление *катодолюминесценции*. Ток электронного пучка изменяется в соответствии с размахом сигнала  $U_c$ , поступающего в цепь управляющего электрода кинескопа:  $i_n = kU_c \gamma$ , где  $\gamma$  — коэффициент нелинейности ( $\gamma = 1.5 \dots 2.5$ ),  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Яркость свечения экрана кинескопа однозначно связана с током электронного пучка [1]  $L = ki_n U_a n / S_{\text{экp}}$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности, определяющий светотдачу люминесцентного экрана;  $U_a$  — высоковольтное напряжение на главном аноде;  $n$  — показатель степени, определяемый физическими параметрами люминофора (на практике  $n = 1 \dots 2$ );  $S_{\text{экp}}$  — площадь экрана, м<sup>2</sup>. При  $U_a > 4$  кВ  $n \approx 1$  [1].

### Список литературы

1. Самойлов В. Ф., Хромой Б. П. Телевидение. — М.: Связь, 1975. — 400 с.
2. Домбругов Р. М. Телевидение. — Киев: Вища школа, 1979. — 176 с.
3. Телевидение / Под ред. В. Е. Джакония. — М.: Радио и связь, 1986. — 456 с.

4. Лебедев Д. С., Цуккерман И. И. Телевидение и теория информации. — М.— Л.: Энергия, 1965. — 219 с.
5. Зубарев Ю. Б., Глоризов Г. Л. Передача изображений. — М.: Радио и связь, 1982. — 224 с.
6. Кондратьев А. Г., Лукин М. И. Техника промышленного телевидения. — Лениздат, 1970. — 504 с.

**1.6.5. Синхронизация и фазирование.** Однократная последовательная передача элементов изображения (рис. 1.6.12) за один полный цикл развертки может быть различной. В вещательных ТВС повсеместно принят последовательный закон передачи элементов изображения по горизонтали без пропусков и повторений в пределах одной строки развертки. Время развертки по строке  $T_c$  — самый короткий цикл передачи. Передача элементов изображения по вертикали происходит с пропуском каждого второго элемента за однократное время развертки, т. е. за время развертки полукадра. Длительность полукадра  $T_{\text{пк}}$  определяет время второго, более крупного цикла передачи. Из-за нечетного числа строк в растре во втором полукадровом цикле при том же законе пропуска каждого второго элемента по вертикали происходит выборка элементов, пропущенных в первом цикле. Таким образом длительность кадра  $T_k$  определяет время цикла передачи всех элементов изображения без пропусков и повторений.

Итак, в принципе развертки заложена последовательная во времени передача информации. Требование, обеспечивающее правильную (в смысле верной адресации раздробленной информации) передачи, состоит в точном соответствии в каждый момент номеров корреспондента (элемент передающей стороны) и абонента (элемент приемной стороны), т. е. полная согласованность работы коммутаторов  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  на передающей и приемной сторонах (см. рис. 1.6.12). Например, если на передающей стороне коммутатор  $\Pi_1$  соединен с элементом, имеющим координаты  $x_1, y_3$  (номер корреспондента), то коммутатор  $\Pi_2$  приемной стороны должен быть установлен на элементе с теми же координатами (номер абонента).

**Синхронизация** — поддержание одного действия в согласованности с другим. Например, два процесса  $F_1 = \sin(\omega_0 t + \varphi_1)$  и  $F_2 = \sin(\omega_0 t + \varphi_2)$  являются синхронными, так как длительности их циклов  $T_1 = T_2 = 2\pi/\omega_0$  и согласованность наблюдается в каждом цикле. Однако они не совпадают по фазе, так как  $\varphi_1 - \varphi_2 \neq 0$ , что и определяет время рассогласования процессов  $\Delta t = |\varphi_1 - \varphi_2|/2\pi$ .

**Фазирование** — приведение действий или процессов к начальному моменту. Например, те же два процесса будут сфазирурованными, если  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ . Процессы синхронные и имеющие совпадающие моменты на-

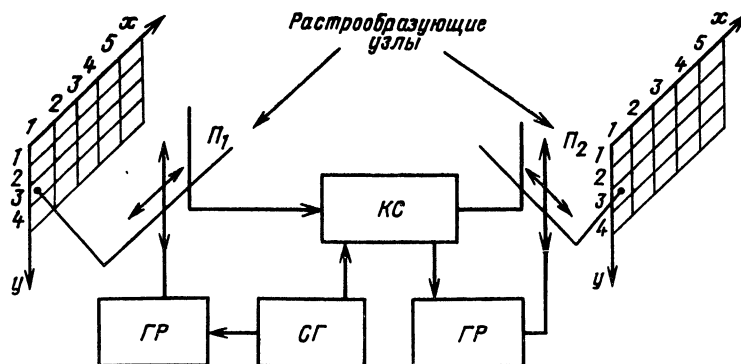


Рис. 1.6.12. Структурная схема устройства последовательной передачи элементов изображения (КС — канал связи, ГР и СГ — генераторы разверток и синхронизации)

чал для всех циклов называют *синхронно сфазированными* или *синфазными*. Могут быть процессы сфазированные в начале действия и нефазированные в дальнейшем. Например,  $F_1 = \sin(\omega_0 t + \varphi_1)$  и  $F_3 = \sin(\omega_0 t + \frac{2\pi}{T} t)$  сфазированы в момент  $t_0 = \varphi_1 T / 2\pi$ , но в дальнейшем их фазы не совпадают. Если процессы в развертках не согласованы между собой, то они несинхронны и несинфазны. Например, процессы  $F_1 = \sin(\omega_0 t + \varphi_1)$  и  $F_4 = \sin(\omega_1 t + \varphi_2)$  несинхронны вследствие  $\omega_0 \neq \omega_1$ . Даже при  $\varphi_1 = \varphi_2$  сфазированные в момент  $t = 0$  процессы в дальнейшем станут расфазированными вследствие нарастания расхождения фаз  $\Delta\varphi = |\omega_0 - \omega_1| t$ .

Применительно к ТВ развертке  $F_1$  и  $F_2$  отображают частоты сигналов задающих генераторов разверток на передающей и приемной сторонах ТВ системы. Например, при  $\omega_0 = 2\pi/T_c$  и  $\omega_0 = 2\pi/T_{пк}$  это будут соответственно сигналы частоты строчной и полукадровой разверток. Поскольку законы разверток всегда предполагаются одинаковыми, то процессы разверток ТВ системы синхронны при равенстве длительностей их циклов. Процессы в развертках становятся синфазными, когда помимо синхронности у них совпадают начала всех циклов.

Таким образом, для нормальной работы ТВС, построенных по принципу развертки, процессы должны быть синфазными. Отсюда вытекают требования к генераторам ТВ разверток: постоянство закона развертки в каждом из циклов, равная длительность одноименных циклов, совпадение начал каждого из циклов развертки на передающей и приемной сторонах.

Местоположение движущегося элемента развертки на растре определяется уравнениями  $x = v_{гор} t$  и  $y = v_{вер} t$ , где  $v_{гор}$  и  $v_{вер}$  — горизонтальная и вертикальная скорости развертки. На графиках разверток, идентичных для  $x$  и  $y$  (рис. 1.6.13), показаны синфазные процессы разверток на обеих сторонах ТВС, применимые как для строчных, так и для полукадровых периодов. Расхождение в максимумах по ординате говорит лишь о разных масштабах растров на передающей и приемной сторонах. Однако периоды равны и начала всех циклов совпадают.

Предположим, что по ТВС передается информация об объекте, показанном на рис. 1.6.14, а. Тогда при синфазных развертках (см. рис. 1.6.13, а) воспроизведенное изображение по форме будет полностью совпадать.

На рис. 1.6.13, б показаны диаграммы процессов

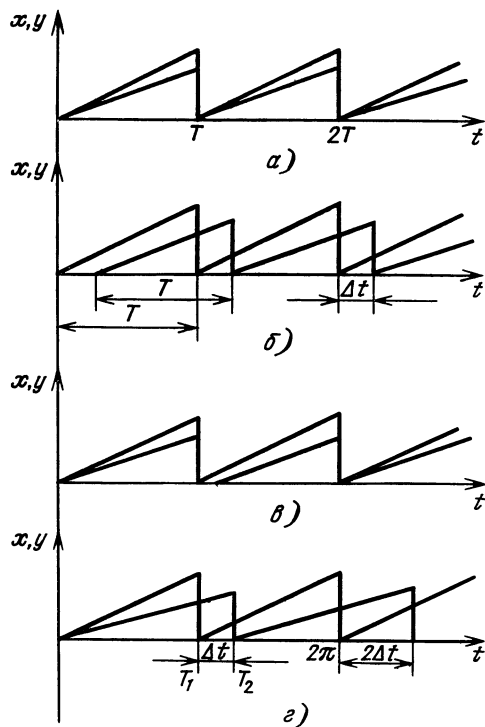


Рис. 1.6.13. Графики разверток  $x$  и  $y$

синхронных, но несфазированных разверток, имеющих при равных периодах сдвиг начал всех циклов на  $\Delta t$ . В результате воспроизведенное изображение оказывается сдвинутым по горизонтали на величины  $\Delta b = v_{гор} \Delta t$  и  $\Delta h = v_{вер} \Delta t$  для строчной и кадровой разверток соответственно (рис. 1.6.14, б, в). При одновременной расфазировке генераторов строчной и кадровой разверток воспроизводимое изображение смещается по обеим координатам в направлениях и на значения, соответствующие степени расфазирования. Подобные искажения изображения встречаются в ТВС, где развертка синхронизируется с точностью до частоты.

Если значение несфазированности строчной развертки непостоянно во времени (см. рис. 1.6.13, в), то

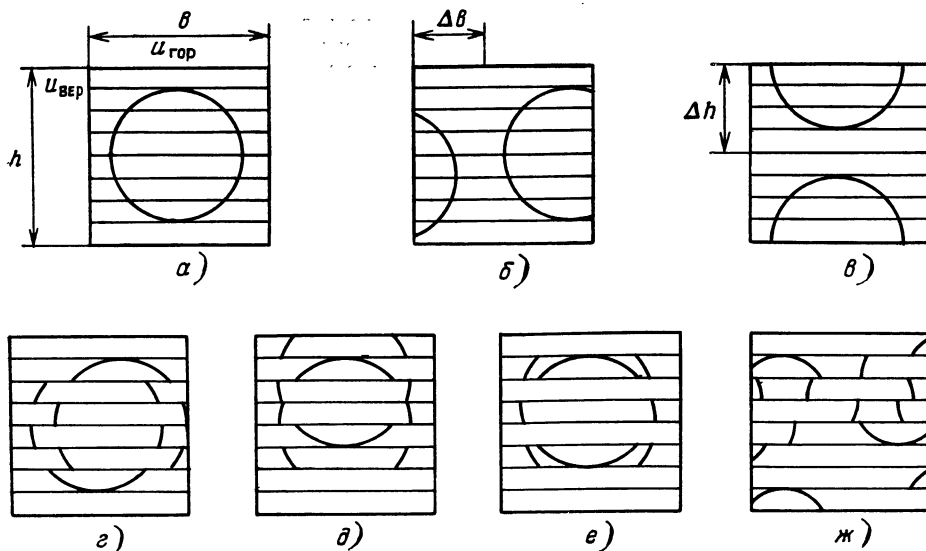


Рис. 1.6.14. К объяснению информации об объектах при нарушении синфазности разверток

в изображении наблюдается сдвиг по горизонтали отдельных строк или их групп, как это показано на рис. 1.6.14, г. Если значения несфазированности кадровой развертки (полей) непостоянно во времени (см. рис. 1.6.13, в), то степень искажения изображения зависит от времени рассогласования  $\Delta t$ . При  $\Delta t = T_c$  оба полурастра меняются местами, что приводит к смещению по вертикали построчных участков изображения на длительность двух элементов, как это показано на рис. 1.6.14, д. При  $\Delta t = 0,5T_c$  оба полурастра совпадают, резко увеличивается заметность строчной структуры изображения, вдвое падает его четкость (рис. 1.6.14, е). Подобное синхронное, но несинфазное воспроизведение изображения встречается довольно часто в телевизорах при неточном выделении кадрового синхронизирующего сигнала.

Если генераторы разверток работают несинхронно, то периоды разверток  $T_1 \neq T_2$  (см. рис. 1.6.13, з) и неизбежен, даже у начально сфазированных разверток набег во времени рассогласования  $\Delta t$ . В этом случае даже приблизительно нельзя восстановить изображение (рис. 1.6.14, ж), поскольку раздробленные до частей строки участки непрерывно перемещаются по обеим координатам раstra. Подобное наблюдается на ТВ экранах при срыве синхронизации любой из разверток.

Можно выделить четыре варианта совместной работы генераторов разверток передающей и приемной сторон ТВС (см. рис. 1.6.12), т. е. методов синхронизации и фазирования разверток.

**1. Автономная работа.** Оба генератора обладают высокой стабильностью частоты и принудительно подстраиваются по изображению на начальную фазу один раз за сеанс передачи (такой операцией занимается телезритель при очень медленных уходах, частот генераторов разверток из-за теплового прогрева). Если допустить рассовмещение изображения относительно нормального раstra на 2% его высоты за 1 ч автономной работы генератора строчной развертки, то относительная нестабильность частоты генератора развертки должна быть  $\Delta f_c/f_c = 3 \times 10^{-10}$ . Это нереально. В прикладных ТВС подобные методы синхронизации и фазирования генераторов разверток вполне допустимы.

**2. Автономно-принудительная работа.** На передающей стороне развертка осуществляется от высокостабильного генератора, например, с относительной нестабильностью в  $10^{-9}$ . На приемной стороне применяют также высокостабильный генератор, но с меньшей относительной нестабильностью, например  $10^{-7}$ . При такой стабильности необходима подстройка фазы (устранение временного рассогласования начал разверток 1 раз за 1—2 с). Если по сигналу, посылаемому от передающей стороны к приемной 1 раз за 1—2 с, систематически устранять возникающий набег  $\Delta t$  по рассогласованию начал разверток, то нормальное воспроизведение изображения на приемной стороне вполне возможно. Метод используют в прикладных ТВС.

**3. Принудительная синхронизация одной развертки.** На одной из сторон ТВС имеется один высокостабильный генератор, от сигналов которого методом деления получают высокостабильные взаимосвязанные сигналы

частоты строк и кадров. На другой стороне системы также имеется один генератор, например частоты строк, и делитель частоты для получения  $f_k$ . Данный генератор может иметь невысокую стабильность, например  $10^{-4}$ , достигаемую без особых материальных затрат. Периодически от первой стороны посылается высокостабильный сигнал строчной частоты  $f_c$ , систематически синхронизирующий сигнал строчного генератора второй стороны с точностью до  $\Delta t = 0$ . Одновременно с этим получается необходимая синфазность и у генераторов кадровых разверток. Метод используют в прикладных ТВС.

**4. Принудительная синхронизация двух разверток.** Метод отличается от предыдущего тем, что в приемнике оба генератора разверток имеют низкую стабильность ( $10^{-3} \dots 10^{-4}$ ) и не связаны между собой. От передающей стороны один раз за каждый период соответствующей развертки приходит синхросигнал, несущий информацию о моментах начала соответствующих разверток. Эти сигналы принуждают работать генератор развертки приемника с точностью до  $\Delta t = 0$  по отношению к генераторам разверток передатчика, т. е. синфазно с ними. Этот метод синхронизации и фазирования применяют в ТВ вещании для управления генераторами разверток телевизоров, а также в прикладных ТВ. В интервалах времени между синхроимпульсами генераторы разверток приемника работают в автономном режиме по отношению к частотам элементов изображения или частоте строк. Точность воспроизведения изображения за периоды строки или полукадра зависит от точности воспроизведения соответствующим генератором развертки закона прямолинейного движения  $S = vt$ .

Принудительно можно синхронизировать посылки синхроимпульсов в разных направлениях: от датчиков видеосигналов к приемникам (в ТВ вещании); от приемников к датчику (в прикладных ТВС, в студийных источниках ТВ вещания); от источника синхросигналов в направлениях датчиков и приемников (централизованная синхронизация в сложных многоуровневых ТВС).

В ТВС цветного изображения помимо синхронизации разверток необходимо осуществлять и цветовую синхронизацию с точностью до фазы для синфазной работы кодирующего устройства передающей стороны и декодирующего приемной. Несинфазность работы этих устройств приводит к искажениям цветовых параметров воспроизводимого изображения.

#### 1.6.6. Параметры телевизионного изображения

**1. Телевизионная репродукция объекта наблюдения.** Рассмотрим процесс ТВ наблюдения по рис. 1.6.15. Объект наблюдения либо является трехмерным, либо находится в трехмерном пространстве, которое назовем *пространством наблюдения*. От него отражается поток света  $\Phi_{п.н}$ , который зависит от пяти переменных: длины волны светового излучения  $\lambda$ , времени  $t$ , а также места излучения в пространстве наблюдения, т. е. от координат  $x, y, z$  этого пространства. Изменения потока света  $\Phi_{п.н}(\lambda, t, x, y, z)$  от любой из переменных имеют информационный смысл и создают компоненты видеoinформации. Таким образом, излучаемый из пространства наблюдения поток света  $\Phi_{п.н}$  со-

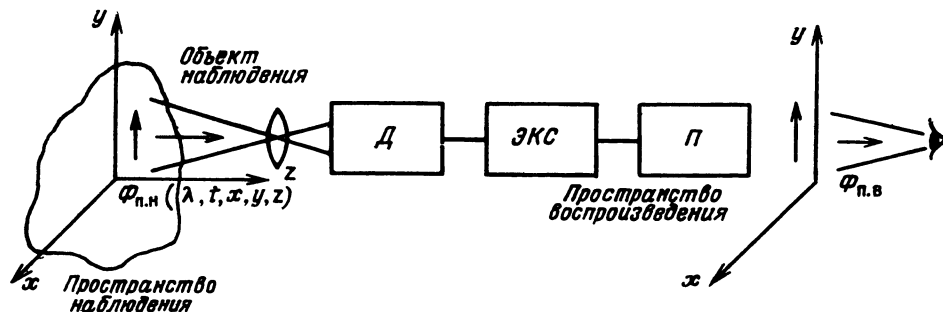


Рис. 1.6.15. Схема процесса ТВ наблюдения (Д — датчик, П — приемник)

держит многомерную видеoinформацию. Между пространством наблюдения и телезрителем находится система, суть работы которой должна состоять в процессе передачи по каналу связи многомерной видеoinформации из пространства наблюдения в пространство воспроизведения. Для этого в системе имеется датчик, переносящий видеoinформацию из потока света в электрический сигнал, и приемник, преобразующий видеoinформацию из электрического сигнала в поток света.

Поскольку ТВС передает не объект наблюдения, а информацию о нем, вместо объекта будет предъявлена его репродукция (изображение), которая содержит основные информационные признаки этого объекта. Следовательно, ТВС на приемной стороне должны иметь пространство воспроизведения, в котором создается световая репродукция объекта наблюдения. Из пространства воспроизведения в сторону телезрителя должен излучаться репродуцированный поток света  $\Phi_{п.в.}$ , содержащий основные информационные признаки потока  $\Phi_{п.н}$  и создающий у телезрителя ощущения наблюдения первоначального объекта. Качество работы ТВС можно сравнить либо по степени информационного подобия световых потоков  $\Phi_{п.н}$  и  $\Phi_{п.в.}$ , либо по степени подобия телезрительских ощущений наблюдения непосредственно объекта и его изображения.

В 1947 г. Н. Д. Ньюбергом введены для техники репродуцирования понятия физически, физиологически и психологически точного воспроизведения. При физически точном репродуцировании параметры потока света в пространстве воспроизведения  $\Phi_{п.в.}(\lambda, t, x, y, z)$  должны точно соответствовать параметрам потока света в пространстве наблюдения  $\Phi_{п.н.}(\lambda, t, x, y, z)$ . Ясно, что это возможно либо при транспортировании объекта наблюдения в пространство воспроизведения, либо косвенно путем передачи столь детальной информации о нем. На практике нет систем с физически точным воспроизведением параметров потока света.

При физиологически точном репродуцировании параметры потока света в пространстве воспроизведения  $\Phi_{п.в.}$  могут не совпадать (особенно по переменным  $z$  и  $\lambda$ ) с параметрами потока в пространстве наблюдения  $\Phi_{п.н.}$ . Однако зрительские ощущения от наблюдения ТВ репродукции, например белых облаков на фоне синего неба, почти совпадают (в пределах накопленных у телезрителя собственных представлений) с ощущениями от наблюдения объекта передачи. При психологически точном воспроизведении поток света  $\Phi_{п.в.}(t, x, y)$  в пространстве воспроизведения может не содержать некоторых переменных, например  $z$  и  $\lambda$ , и тем самым не совпадать даже приблизительно с потоком света в пространстве наблюдения  $\Phi_{п.н.}(\lambda, t, x, y, z)$ . Однако психологически созданный на основе потока  $\Phi_{п.в.}(t, x, y)$  образ позволяет телезрителю достаточно верно судить о содержании объекта наблюдения и таких его признаках, как контуры, форма, соотношение яркостей, направления, скорость движения и т. п. Таким образом, на уровне психологически точного воспроизведения ТВ репродукции с помощью двумерного ахроматического потока света  $\Phi_{п.в.}(t, x, y)$  можно передать основное (для психологического восприятия) содержание видеoinформации, заключенной в пятимерном потоке света  $\Phi_{п.н.}(\lambda, t, x, y, z)$  пространства наблюдения.

Телевизионная репродукция (в дальнейшем изображение) характеризуется следующими параметрами: форматом, абсолютными размерами и геометрическим подобием; четкостью по обеим координатам, предельным числом элементов изображения, резкостью; яркостью, контрастом и числом воспроизводимых градаций; числом цветовых тонов и их насыщенностью; интенсивностью и видами внесенных помех. Поскольку приемником служит зрительная система человека, то все параметры ТВ изображения должны согласовываться с основными данными и свойствами этой системы.

2. Геометрические параметры. Для комфортного восприятия площадь двумерного ТВ изобра-

жения должна соответствовать зоне ясного видения при любом расстоянии наблюдения, причем геометрические размеры изображения ограничиваются основанием пирамиды, имеющей между противоположными гранями углы ясного зрения  $\beta = 12^\circ$  и  $\alpha = 16^\circ$ .

Форматом ТВ изображения называют отношение размеров горизонтального к вертикальному  $k = b/h$ . Формат кадра изображения  $k = \alpha/\beta = 4/3$  (в телевизорах последних моделей это отношение для экранов широкоугольных кинескопов уменьшено, а в перспективных ТВС высокой четкости увеличен до  $5/3$ ).

Абсолютные геометрические размеры изображения определяются оптимальным расстоянием его рассматривания, при котором изображение занимает все поле ясного видения. Из геометрических построений следует, что  $l_{опт} \approx h \operatorname{ctg} \beta$ ,  $b \approx K l_{опт} \operatorname{tg} \beta$ ,  $h \approx l_{опт} \operatorname{tg} \beta$ , или  $b = 0,28 l_{опт}$ ,  $h = 0,21 l_{опт}$ ,  $l_{опт} = 4,7 h$ . При расстоянии в 2,5 м размеры изображения должны быть  $h = 0,57$  м и  $b = 0,7$  м, что приблизительно соответствует размерам экранов кинескопов с размерами 61 и 67 см по диагонали. Рассмотренные соотношения применяются в системах ТВ вещания. В прикладных ТВС формат и размеры изображения определяются назначением системы.

Для передачи видеoinформации по ТВС необходимо сохранить законы пространственного распределения потоков света при наблюдении и воспроизведении, т. е. соответствие координат  $x_i, y_i$  потока воспроизведения  $\Phi_{п.в.i}(x, y)$  координатам  $x_i, y_i$  потока  $\Phi_{п.н.i}(x, y)$  пространства наблюдения. Под геометрическим подобием ТВ изображения оригиналу (объекту наблюдения) понимают его способность сохранить постоянство масштабов точек на изображении по отношению к единичным точкам на объекте. Нарушение геометрического подобия называют геометрическими искажениями изображения. Некоторые виды часто встречающихся геометрических искажений ТВ изображения показаны на рис. 1.6.16. В ТВС есть ряд участков, вносящих геометрические искажения в формируемое изображение, например, это растрообразующие узлы (генераторы строчной и кадровой разверток, отклоняющей системы и электроннолучевого преобразователя). Вследствие несовершенства генерации магнитного отклоняющего поля и недостаточной кривизны экрана кинескопа возникают нарушения геометрического подобия. В вещательных ТВС допустимые геометрические искажения определяются их заметностью для зрителей. Геометрические искажения количественно оценивают коэффициентом, равным отношению разности длин наиболее искаженных элементов изображения к средней длине элементов:  $K_r = (d_{\max} - d_{\min}) / 0,5(d_{\max} + d_{\min}) = 2(d_{\max} - d_{\min}) / (d_{\max} + d_{\min})$ .

При  $K_r = 0,05$  искажения практически незаметны для большинства зрителей. В прикладных ТВС, например научных, допустимые геометрические искажения могут быть резко уменьшены.

3. Четкость и резкость. Психологическое понятие «четкость изображения» относится к характеристике воспринимаемого изображения, связывающей его качество с числом мелких деталей в нем. До известного предела качество воспринимаемого изображения растет с увеличением числа мелких деталей. Однако есть предел, после которого дальнейшее дробление деталей не влияет на качество. Четкость объективно связана с разрешающей способностью ТВ изображения или ТВС, которая оценивается числом (в пределах площади изображения) элементов минимальных размеров, способных иметь только постоянную яркость. Их называют элементами изображения. Разрешающую способность ТВ изображения в данном направлении определяют числом минимальных по размеру элементов, приходящихся на единицу длины. Применительно к рис. 1.6.16, а разрешающая способность изображения по горизонтали  $n_r = b/d$  и по вертикали  $n_v = h/d$ .

Разрешающая способность — количественная мера, определяющая технические параметры репродукционной

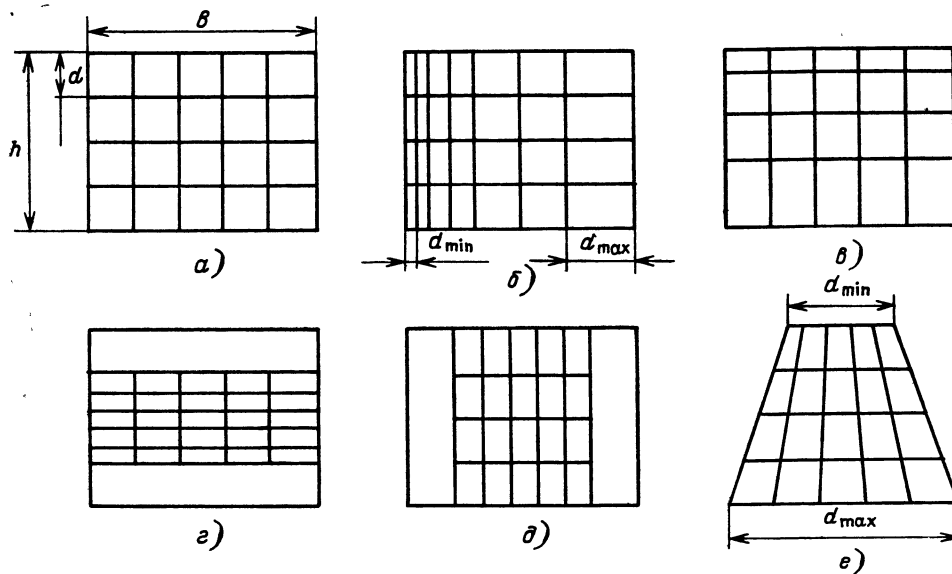


Рис. 1.6.16. Виды геометрических искажений раstra

системы (например, ТВС) и неизменна для нее. Четкость изображения есть субъективная характеристика, которая существенно меняется от содержания изображения, условий его наблюдения и контраста между деталями. Например, изображение с максимальным числом элементов, но с малым контрастом, снижающим их заметность, может получить оценку «недостаточно четкое», хотя на самом деле оно четкое, но недостаточно контрастное. И наоборот, изображение с меньшим числом элементов, но с большим контрастом между ними может получить характеристику четкого изображения. Однако оно может и не иметь ни одного минимального по размеру элемента изображения, т. е. не имеет четкости. Для исключения этого субъективизма из понятия «четкость изображения» ее оценивают либо по номинальному числу элементов на единице его длины, т. е. по разрешающей способности ТВС, либо по реальному числу различимых зрителем элементов изображения, определяемому по тестовым изображениям. В первом случае говорят о *номинальной четкости* изображения, во втором — о *реальной*.

Близко к понятию четкость стоит такая характеристика, как *резкость изображения*, которая определяется пространственными размерами зоны перехода от одного уровня яркости детали изображения к другому. Если эта зона сравнима с размером элемента, то изображение кажется резким, если занимает несколько элементов, то нерезким. Резкость изображения — информационная характеристика скорости изменения яркости на плоскости объекта наблюдения. Поэтому естественны изображения четкие, но не резкие и наоборот. Высшую оценку качества зритель обычно дает четкому и резкому изображению. В репродукционных системах, использующих растровый принцип передачи видеoinформации, например в ТВС, четкость изображения и его разрешающая способность связаны с номинальным числом строк в растре. Предельным числом строк в растре будет, когда вся плоскость раstra расположена в поле ясного зрения при оптимальном расстоянии наблюдения, а высота строки соответствует угловому пределу разрешения глаза  $\varphi_{\min}$ . Принимая  $\beta = 12^\circ$ ,  $\varphi_{\min} = 1$ , получаем минимально необходимое число строк в растре (находится на грани различения)  $z = \beta / \varphi_{\min} = 720$ . Если принять, что зрительная система сканирует информационно важные участки объекта наблюдения, например его контуры, проецируя их на плоскость центральной ямки сетчатки глаза, где  $\varphi_{\min} = 0,4 \dots 0,6'$ , то предельное число строк

в растре для получения четкого изображения увеличивается до  $z = 1200 \dots 1800$ . При разработке в 40-е годы текущего столетия систем ТВ вещания из экономических и технических предпосылок было взято число строк  $z = 625$ , что соответствует немешающему восприятию строчной структуры ТВ изображения для 90% экспертов (рис. 1.6.17).

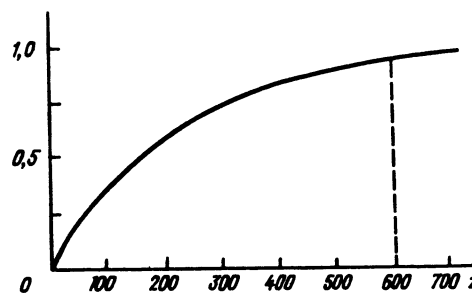


Рис. 1.6.17. Зависимость относительной оценки четкости от числа строк

Дискретизация изображения по вертикали приводит к снижению разрешающей способности раstra (вертикальной реальной четкости) на 20% по сравнению с номинальным числом строк в растре 575. Разрешающая способность (четкость по горизонтали изображения) может достигать значений  $n_r = kz$ , где  $k$  — формат кадра изображения, а  $z$  — номинальное число строк.

4. Яркость, контрастность, число градаций. Эти яркостные характеристики изображения связаны со способностью оценивать действующий на зрительную систему поток света по мощности. Поскольку зрительная система адаптируется к средней яркости в пространстве наблюдения, например к яркостям фона, внешнего освещения и т. п., то определение количественных величин по названным характеристикам изображения требует введения конкретных ограничений на условия наблюдения.

Максимальная яркость изображения  $L_{\max}$  ограничивается значением критической частоты мерцаний.

При  $f_{кр}=50$  Гц, т. е. частоте смены полукадров в системе,  $L_{max доп}=100$  кд/м<sup>2</sup> без риска заметности мерцания экрана кинескопа. Следовательно, значения окружающей яркости изображения, в том числе и яркости фона для комфортабельных условий наблюдения, должны быть  $L \gg 100$  кд/м<sup>2</sup>. При погашенном луче минимальная яркость  $L_{min} \neq 0$  и определяется уровнями внутренних и внешних засветок кинескопа. Если  $L_{min}=1$  кд/м<sup>2</sup>, то контраст изображения на ТВ экране будет  $k=L_{max}/L_{min}=100$ . По МККР для европейских систем ТВ вещания  $L_{max}=70+10$  кд/м<sup>2</sup> и  $L_{min}=0,7$  кд/м<sup>2</sup>, т. е.  $k=100$ .

*Градиациями яркости* называют разности яркостей деталей изображения, уверенно замечаемые зрительной системой. Очевидно, самая малая градиация яркости связана с пороговой разностью яркостей  $\Delta L_{пор}$ . Число различных градиаций яркости определяют числом  $\Delta L_{пор}$ , размещаемым в пределах заданного контраста изображения. Для диапазона яркостей экрана кинескопа справедлив закон Вебера—Фехнера с пороговой контрастностью в худшем случае наблюдения  $\epsilon_{гд}=0,05$ . Первым различным значением яркости ТВ изображения является  $L_{min}$ , последним  $L_{max}=(1+\epsilon_{гд})^m L_{min}$ . Тогда число различных градиаций яркостей  $m=(lg K)/lg(1+\epsilon_{гд})=(2,3lg k)/\epsilon_{гд}=94$  при  $\epsilon_{гд}=0,05$  и 117 при  $\epsilon_{гд}=0,04$ . Следовательно, при оптимальных условиях наблюдения по МККР на ТВ изображении можно рассмотреть до 100 полутоновых градиаций яркости (для сравнения на фотографическом снимке 30—40 полутоновых градиаций).

5. Скорость смены кадров. В ТВС в качестве формирователя оптического изображения на приемной стороне используют кинескоп. Его свечение под действием движущегося луча периодическое импульсное. Поэтому для устранения мерцаний частота возбуждения области экрана должна быть не ниже 50 Гц. В ТВ вещании принято возбуждение двух рядом стоящих по вертикали строк (элементов изображения) с частотой 25 Гц, но со смещением по времени на половину периода. Это достигается применением чересстрочной развертки изображения с частотой полукадров, равной частоте энергетической электросети (50 Гц в России и Европе, 60 Гц в Западном полушарии). Инерционность зрительной системы при сканировании изображения, а также после снятия светового возбуждения предопределяет частоту стробоскопирования или частоту кадров, позволяющую передавать эффект движения объектов наблюдения. В вещательной ТВС эта частота равна половине частоты полукадров, т. е. 25 герцам. *Время информационного осмысливания* зрительной системой передаваемого изображения лежит в пределах от единиц секунд для простых и до десятка секунд для сложных изображений. Поэтому скорость движения объекта наблюдения в кадре должна быть такова, чтобы он пересекал поле изображения в течение не менее нескольких секунд.

6. Цветовые параметры. К ним относятся цветовой тон, насыщенность и светлота. В связи с построением цветных систем ТВ вещания по принципу смешения трех хроматических потоков света все цветовые параметры изображения определяются длинами волн (координаты цвета) и интенсивностью излучения источников красного R, зеленого G и синего В потоков света. Например, в системе определения цвета МКО основные цвета R, G, B выбраны с длинами волн 700; 546,1; 435,8 нм соответственно. В цветных телевизорах люминофор кинескопа имеет максимумы излучения потока света для красного, зеленого и синего цветов в областях следующих длин волн: 640, 525, 440 нм соответственно. На цветовые характеристики изображения существенно влияют условия его наблюдения.

*Цветовой тон и насыщенность* цветного изображения определяются распределением по длине волны энергии излучения смешанного потока света, даваемо-

го люминофорами. Цветовой тон может меняться от значений цветовых тонов свечения каждого из люминофоров в отдельности до значений, даваемых комбинациями их смешений. В цветной системе ТВ вещания диапазон цветовых тонов охватывает практически все наиболее часто встречающиеся тона и несколько превышает диапазон цветовых тонов кинематографа. Насыщенность цветового тона в изображении может меняться от значений для насыщенности цветового тона светового излучения каждого из люминофоров в отдельности (близкий к 80% насыщенности спектрально чистых цветов) до нулевых значений для насыщенностей ахроматических участков изображения, например, при передаче белого цвета.

7. Отношение сигнал/помеха (ОСП). Оценка качества ТВ изображения многогранна и зависит не только от расчетных (конструктивных) параметров системы или изображения, условий наблюдения, но и от факторов, разрушающих изображение или вносящих в него искажения. Одним из основных среди них являются помехи. Помехи проникают в изображение либо в виде электрических сигналов в различных точках электрического тракта ТВС, либо в виде оптических сигналов засветок экрана кинескопа, бликов и зеркальных отражений от внешних предметов. Помехи, принесенные электрическим сигналом, создают при развертке ложные изображения (структурные или беспорядочные), которые, маскируя основное, могут резко снизить его качество по сравнению с расчетным. Электрические помехи делят на аналоговые и импульсные, регулярные и нерегулярные, а также на шумовые или «гладкие». Качество ТВ изображения может ухудшиться из-за нарушения режима передающих трубок (световые таянущиеся продолжения от ярких мест объекта передачи при большой инерционности трубок), нелинейных и частотных искажений видеосигнала в тракте ТВС. Аналоговые помехи создают ложные изображения с плавными переходами яркости, импульсные формируют резкие, контрастные переходы яркостей и значительно сильнее снижают качество изображения по сравнению с аналоговыми помехами равной амплитуды. Периодические помехи проявляются на изображении в виде сетчатых полей или других регулярных рисунков с плавными изменениями яркостей от аналоговых сигналов и резкими — от импульсных. Если частоты помех синхронны с частотами развертки, то сетки и муары неподвижны на основном изображении. В противном случае рисунки от помех меняются по содержанию и получают движение относительно основного изображения. И то и другое увеличивает видность помех и в большей степени снижает его качество. В связи с застройкой зданиями повышенной этажности весьма существенным фактором, снижающим качество ТВ изображения, особенно цветного, стали эхосигналы.

Это те же ТВ сигналы, что и основной, но воспроизведенные на экране с разными интервалами задержки относительно основного и разной интенсивностью. В результате изображение на экране приобретает многоконтурность, расслаивается. Эффективным методом борьбы с эхосигналами является организация замкнутых локальных кабельных распределительных сетей.

*Шумовая, или «гладкая», помеха* вызвана тепловыми движениями электронов в различных частях ТВС (передающих трубки, предварительные усилители, блоки радиоканала телевизора и т. п.). Такая помеха имеет непрерывный, но ограниченный частотный спектр. Поэтому она создает ложное изображение, состоящее из хаотически перемещающихся светлых и темных элементов различной конфигурации и яркости.

Для получения ТВ изображения высокого качества, в котором полностью используются заложенные в ТВС технические возможности, необходимо иметь высокое ОСП, дБ, для оценок качества:

отличного . . . . .	40
хорошего . . . . .	35...40
удовлетворительного . . . . .	25

### 1.6.7. Восприятие телевизионных изображений:

1. Восприятие деталей. Дискретное строение сетчатки глаза предопределяет пороговое значение разрешающей способности мелких деталей ТВ изобра-

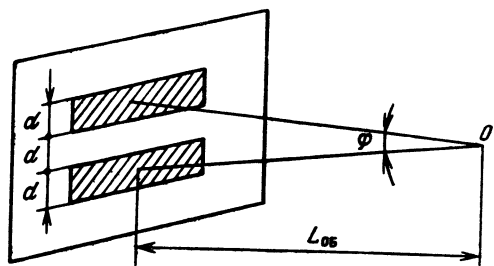


Рис. 1.6.18. К определению разрешающей способности зрения

ражения. Разрешающую способность глаза оценивают либо минимальным углом зрения  $\varphi_{\min}$  (угловой предел разрешения глаза), либо разрешающей силой зрения  $S_{\text{ар}}$ . Разрешающая сила зрения (острота) определяется подобно силе оптических объективов как величина, обратная минимальному углу зрения  $\varphi_{\min}$ , при котором два штриха видны еще раздельно, т. е.  $S_{\text{ар}} = 1/\varphi_{\min}$ . При определении разрешающей способности зрительной системы толщина штрихов равна промежутку между ними (рис. 1.6.18). Штрихи и промежуток будут достаточно уверенно различаться наблюдателем, если их проекции на ямке сетчатки глаза займут три рядом расположенные колбочки. При этом на белый промежуток придется один светочувствительный рецептор. Знание геометрических размеров различных частей глаза и оптических свойств его светопропускающих сред позволило высчитать минимальный угол зрения  $\varphi_{\min}$  при наиболее благоприятных условиях наблюдения. По расчетным и экспериментальным данным  $\varphi_{\min} = 0,4 \dots 0,6$ . Острым называют зрение, когда зрительная система способна наблюдать предельно малые детали объекта. Угловые размеры поля острого зрения определяются размерами ямки сетчатки и равны примерно телесному углу  $1^\circ$ . Поэтому в пределах поля острого зрения человек может различать более 100 штрихов в каждом направлении. Полем ясного зрения называют площадку, на которой человек видит ясно (четко) детали предметов без поворота глаз или головы. Размер этой площадки определяется проекцией на нее поверхности желтого пятна сетчатки глаза (рис. 1.6.19), установлено, что полем ясного зрения является основание пирамиды с угловыми размерами между противоположными гранями  $\beta = 12^\circ$  в вертикальном и  $\alpha = 16^\circ$  в горизонтальном направлениях. В рамках поля ясного зрения предельные значения разрешающей способности глаза приняты равными  $1'$ . Экспериментально установлено, что острота зрения глаза существенно зависит от условий наблюдения (рис. 1.6.20, а) яркости и контраста деталей объекта (рис. 1.6.20, б). Острота зрения в монохроматических потоках света выше по сравнению с таковой при наблюдении объекта в широкоспектральных потоках. Это объясняется отчасти снижением влияния хроматических aberrаций глаза. При наблюдении цветных изображений, воспроизводимых при излучении красного, зеленого и синего цветов, наивысшая острота зрения для зеленого и значительно более низкая для красного и синего цветов.

2. Восприятие яркостей. Яркость — одна из главных световых характеристик объекта наблюде-

ния, излучающего в сторону зрительной системы собственный поток света. Освещенность сетчатки пропорциональна приходящему к глазу потоку и, следовательно, адекватна представлениям яркостной характеристики объекта наблюдения. В табл. 1 приведены значения яркостей некоторых природных и технических объектов. Источники света с  $L = 10^5$  кд/м<sup>2</sup> вызывают болезненные ощущения в глазу. Различимая глазом предельная

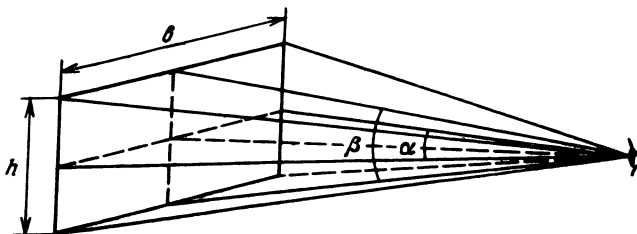


Рис. 1.6.19. К определению поля ясного зрения

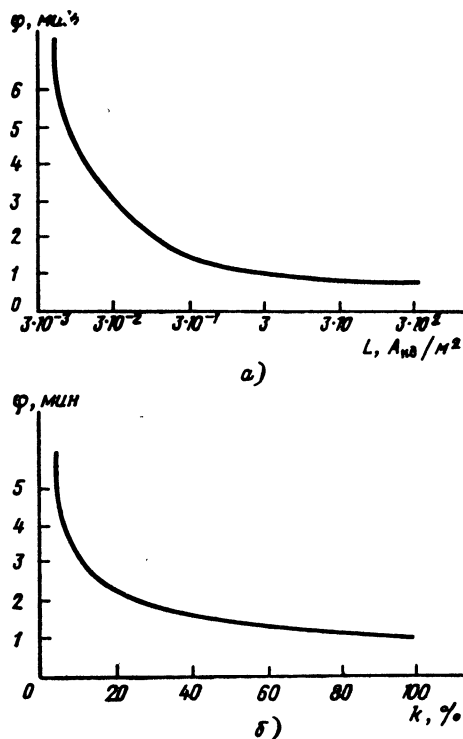


Рис. 1.6.20. Зависимости углового разрешения глаза: а — яркости; б — контраста

пороговая яркость  $L_{\text{пор}} = 10^{-6}$  кд/м<sup>2</sup>. В наиболее часто встречающихся условиях  $L_{\text{пор}} = 10^{-4} \dots 10^5$  кд/м<sup>2</sup> — яркость отраженного от снега или от белой бумаги солнечного потока (девять порядков).

Яркость, кд/м<sup>2</sup>, для различных объектов.

Солнце . . . . .	$1,5 \cdot 10^9$
Импульсные лампы в импульсе, не более . . . . .	$10^{11}$
Капильяр ртутной дуги . . . . .	$1,2 \cdot 10^9$
Нить лампы накаливания . . . . .	$2 \cdot 10^6$
Пламя свечи . . . . .	$0,5 \cdot 10^4$
Экран кинескопа . . . . .	80...100
Ночное безлунное небо . . . . .	$10^{-4}$



Зрительная система воспринимает яркости этого диапазона только в пределах ограниченных участков, соответствующих ночи, сумеркам, утру и т. п. (всего около 8), адаптируясь к средней яркости участка, которую называют *яркостью адаптации*. Время адаптации зрения при переходе к возрастающим значениям может составлять единицы и десятки секунд, а время процесса адаптации при уменьшении яркостей — от единиц до десятков минут. Зрительная система при наблюдении в пределах средней яркости участка — яркости адаптации — оперативно перестраивается работой радужной оболочки глаза, меняющей диаметр зрачка в 4 раза и уровень пропускаемого светового потока в 16 раз.

**Контрастом яркостей объекта или изображения** (рис. 1.6.21) называют отношение яркостей самого свет-

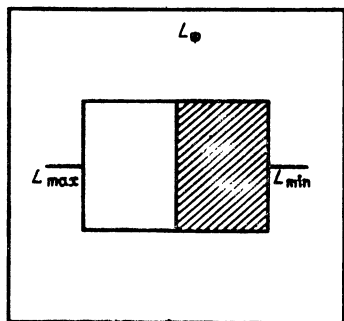


Рис. 1.6.21. К определению контраста объекта

лого и самого темного мест:  $k = L_{\max}/L_{\min}$ . Таким образом, контраст определяется динамическим диапазоном яркостей объекта наблюдения. Объекты, содержащие источники света, могут иметь большой контраст (десятки тысяч единиц). Объекты наблюдения, не содержащие источников света, а только отражающие падающий на них свет, например гипсовая скульптура на фоне черного бархата, имеют значения контрастов в сотни и десятки единиц. Направленное освещение создает на объекте наблюдения зоны теней, которые увеличивают контраст малоконтрастных деталей. Например, детали гипсовой скульптуры, находящейся на фоне штукатурки с равным по поверхности коэффициентом отражения, становятся заметными благодаря контрасту, вызванному тенями. Объекты наблюдения распознаются благодаря способности зрительной системы различать перепады в яркостях точек объекта, т. е. благодаря восприятию контраста. Система реагирует не только на абсолютную яркость объекта наблюдения, но и на перепад яркостей. Отмечены такие особенности зрительной системы, как существование минимального перепада яркостей, который еще воспринимается ею, а также равной силы реакции системы на равную относительную разность яркостей.

Если в поле наблюдения с яркостью фона  $L_\phi$  находятся две площадки с яркостями  $L_1$  и  $L_2$ , то площадки видны отдельно, когда  $\Delta L = |L_1 - L_2| > \Delta L_{\text{пор}}$ , т. е. при условии  $\Delta L \geq \Delta L_{\text{пор}}$ , где  $L_{\text{пор}}$  — пороговое значение яркости.

**Пороговой разностью яркостей** называют минимальное значение  $\Delta L_{\text{пор}}$ , при котором яркости двух площадок еще различимы. При невыполнении этого условия обе площадки разной яркости воспринимаются зрительной системой как единая равнояркая поверхность без контрастного перехода на границе площадок. Закон зрительного восприятия яркости был установлен Вебером и Фехнером; при росте яркостей  $L_1$  и  $L_2$  будет пропорционально расти и их пороговая разность,  $\Delta L_{\text{пор}}/L = \text{const}$  (под  $L$  может подразумеваться  $L_1$  или  $L_2$ ). Отношение  $\Delta L_{\text{пор}}/L = \epsilon_{\text{гл}}$  называют **пороговой контрастностью**. Она связывает пороговую раз-

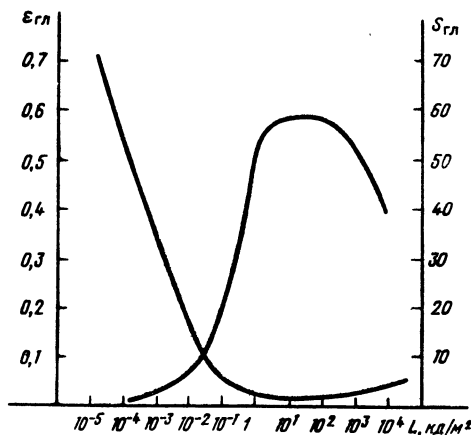


Рис. 1.6.22. Зависимости пороговой контрастности и контрастной чувствительности  $S_{\text{гл}}$  от яркости при значении яркости фона  $L_\phi = 0,01$  кд/м<sup>2</sup>

ность яркостей с яркостью объекта наблюдения. Способность зрительной системы обнаруживать разницу между яркостями смежных площадей (деталей) называют **контрастной чувствительностью**:  $\epsilon_{\text{гл}} = 1/\epsilon_{\text{гл}} = L/\Delta L_{\text{пор}}$ . Как видно из графиков рис. 1.6.22, пороговая контрастность приблизительно постоянна при изменении яркостей наблюдаемых площадок в диапазоне 0,1...300 кд/м<sup>2</sup>, т. е. при умеренной яркости. При увеличении или уменьшении яркостей объектов контрастная чувствительность зрительной системы резко падает, а пороговая контрастность возрастает. Так, при  $L < 0,035$  кд/м<sup>2</sup>, когда в работе зрительной системы участвует только палочковый аппарат, контрастная чувствительность снижается до 2—5 единиц. Отмечено, что контрастная чувствительность уменьшается с уменьшением углового размера наблюдаемой светящейся поверхности, т. е. геометрического размера объекта (см. рис. 1.6.22). Существенно влияет на контрастную чувствительность зрительной системы яркость фона, на которую глаз адаптируется как на среднюю яркость всего пространства наблюдения. При увеличении яркости фона  $L_\phi$  наибольшие изменения графиков на рис. 1.6.23 произойдут на участках, где  $L_1 \approx L_2 < L_\phi$ . На участках, где  $L_1 > L_\phi$ , графики меняются мало, так как на адаптацию влияет доля яркости от сравниваемых площадок.

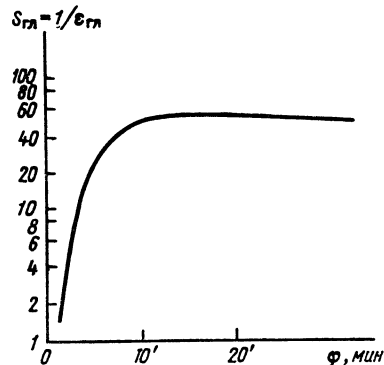


Рис. 1.6.23. Зависимость контрастной чувствительности от углового размера объекта

Восприятие зрительной системой импульса света инерционно во времени в моменты появления и окончания импульса. При поступлении в глаз потока света от ТВ экрана с яркостью  $L_0$  в момент  $t_1$  (рис. 1.6.24) ощущение наблюдения яркости объекта, т. е. восприя-



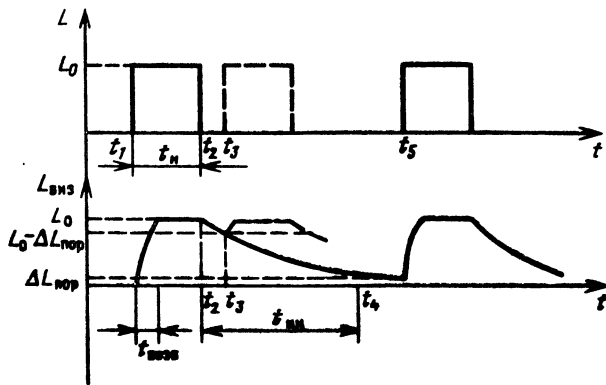


Рис. 1.6.24. К определению времени зрительной инерции

тие, наступает в течение) времени возбуждения  $t_{\text{возб}} = 0,05 \dots 0,25$  с., ощущение нарастает по экспоненциальному закону и является функцией длительности светового импульса, а также его интенсивности (энергии). Например, вблизи пороговой чувствительности зрения кажущаяся или визуальная яркость объекта наблюдения  $L_{\text{виз}}$  почти пропорциональна времени наблюдения в пределах длительности импульса, т. е.  $L_{\text{виз}} = aL_0 t$ , где  $a$  — коэффициент пропорциональности,  $L_0$  — яркость. С увеличением яркости объекта, от которого посылается импульс света, время, необходимое для получения зрительной системой максимального ощущения яркости, уменьшается. При значениях яркости в пределах  $L = 1,5 \dots 3 \cdot 10^3$  кд/м<sup>2</sup> время, необходимое для установления в зрительной системе такого же ощущения яркости, уменьшается до  $0,1 \dots 0,95$  с. Таким образом, в диапазоне яркостей инерция зрительного восприятия уменьшается при увеличении яркости объекта. После прекращения в момент  $t_2$  импульса света (см. рис. 1.6.24) в зрительной системе на время  $t_{\text{ин}} = t_4 - t_2$  сохраняется ощущение воспринимаемого света, т. е. продолжается как бы наблюдение некоторого источника с уменьшающейся по времени яркостью. Длительность такого последствия или инерционности колеблется от десятых долей секунды до нескольких минут в зависимости от яркости и длительности импульса света, а также яркости фона участка адаптации. Инерция светового восприятия связана с темновой адаптацией зрительной системы, которая может длиться десятками минут. Инерционность импульса света можно отобразить при умеренных уровнях яркости экспоненциальным законом  $L_{\text{виз}}(t) = L \exp(-t/\tau_{\text{ар}})$ , где  $L$  — яркость в конце возбуждения зрительной системы;  $\tau_{\text{ар}} = 0,05 \dots 0,15$  с — постоянная времени зрительной системы, характеризующая время инерционности системы. Постоянная  $\tau_{\text{ар}}$  существенно зависит от яркости объекта и условий наблюдения. Она уменьшается при увеличении яркости. Снижение в зрительной системе ощущения яркости при  $L = 30$  кд/м<sup>2</sup> до уровня пороговой разности яркостей  $\Delta L_{\text{пор}}$  произойдет за время  $t_4 - t_2 \approx 0,15$  с. Для той же яркости время, за которое зрительное ощущение снизится до уровня  $L_0 - \Delta L_{\text{пор}}$ , т. е. на значение одной пороговой разности яркостей, будет  $t_3 - t_2 = 0,0025$  с. Если интервал между импульсами света  $(t_5 - t_2) > (t_4 - t_2)$  (рис. 1.6.24), то к моменту прихода очередного импульса зрительная система полностью потеряет ощущение от восприятия яркости предыдущего импульса. В этом случае объект наблюдения воспринимается с пульсирующей яркостью (мерцание) с амплитудой  $L_0$ . Если интервалы между импульсами  $(t_5 - t_2) < (t_4 - t_2)$ , то кажущаяся амплитуда перепада яркостей световых импульсов будет уменьшаться. Когда интервал между импульсами света станет равным  $t_3 - t_2$  (рис. 1.6.24, а, штриховая линия), ощущения пульсации света пропадают. Это важное свойство зритель-

ной системы объясняется тем, что уровень снижения воспринимаемой системой яркости в интервалах между импульсами света не превышает пороговой разности яркостей  $\Delta L_{\text{пор}}$  (рис. 1.6.25, б), а в момент  $t_3$  начинается новое нарастание уровня воспринимаемой яркости под действием очередного импульса света (рис. 1.6.25, б, штриховая линия). В результате изменения в уровнях воспринимаемой зрительной системой яркости становятся меньше  $L_{\text{пор}}$ , и яркость источника пульсирующего света зрителем воспринимается неизменной. Низшую частоту следования импульсов света, при которой в зрительной системе исчезает восприятие их пульсаций, называют *критической частотой мерцаний* (мельканий, пульсаций). В широком диапазоне яркостей критическая частота мерцаний связана с яркостью *законом Ферри—Портера*:  $f_{\text{кр}} = a_0 \lg L + b_0$ . При  $a_0 = 10$ ;  $L = 100$  кд/м<sup>2</sup>;  $b_0 = 30$   $f_{\text{кр}} = 50$  Гц. На значение критической частоты мерцаний влияют яркость пульсирующего источника света, его размеры, яркость окружающего фона, степень адаптации наблюдателя, изменение яркости по времени и положению в пределах площади источника света. Последнее имеет отношение к экранам телевизоров. При частотах следования импульсов света  $f > f_{\text{кр}}$  в зрительной системе создается ощущение визуальной воспринимаемой яркости  $L_{\text{виз}}$ , значение которой соответствует усредненному значению яркости источника пульсирующего света. В этом случае воспринимаемая яркость оценивается *по закону Тальбота*:

$L_{\text{виз}} = \frac{1}{T_0} \int L(t) dt$ , где  $L(t)$  — функция изменения яркости в пределах периода  $T$ .

3. Восприятие спектральной неоднородности светового потока. Объекты наблюдения могут иметь различную зависимость энергии светового излучения  $W$  от длины волны  $\lambda$ . Это приводит к однозначной зависимости потока излучения  $\Phi(\lambda)$  от длины волны. Зрительная система человека чувствительна к такой неравномерности потока светового излучения, что проявляется в виде формирований ощущения цветового тона объекта, его насыщенности и светлоты (*яркость*). Равномерный по спектру поток излучения  $\Phi(\lambda) = \text{const}$  зрительная система воспринимает как белый, не окрашенный с разными уровнями яркости в зависимости от значений потока вплоть до черного, когда  $\Phi < \Phi_{\text{пор}}$ , соответствующего пороговому значению яркости для данных условий наблюдения. Такие излучения стали характеризовать как неокрашенные, нейтральные или ахроматические. Все остальные световые излучения, потоки которых зависят от длины волны, отнесены к хроматическим или окрашенным.

*Чувствительность зрения* (зрительной системы) к потоку светового излучения зависит от длины волны. В частности, она максимальна в небольшой области вокруг значения  $\lambda = 555$  нм и уменьшается в несколько раз по отношению к потокам с длинами волн, приходящимся на края спектра. *Спектральная чувствительность* зрения характеризует интенсивность зрительного ощущения от потоков разных длин волн при равной их мощности. Графически ее представляют кривой относительной спектральной чувствительности, часто называемой *кривой видности* (рис. 1.6.25). Спектральная чувствительность лежит в основе определения всех световых величин. Например, *световым потоком* называют поток излучения (поток света), оцениваемый по зрительному ощущению с учетом относительной спектральной чувствительности зрения. Таким образом,

$\Phi_{\text{св}} = A \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) v(\lambda) d\lambda$ , где  $\Phi(\lambda)$  — поток света от объекта;  $A = 683$  лм/Вт — коэффициент пропорциональности,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — граничные длины волн светового диапазона. Если поток излучения  $\Phi(\lambda)$  разбить на несколько потоков  $\Phi_i(\lambda)$ , относящихся к  $i$ -м участкам светового спектра путем деления его на равные полосы, например, ши-

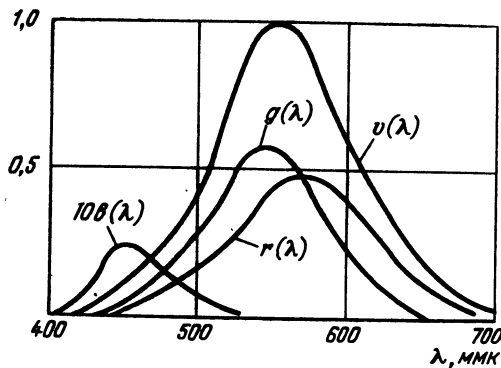


Рис. 1.6.25. Графики относительной чувствительности зрения при яркости объекта наблюдения  $L > 10$  кд/м<sup>2</sup> в красной  $r$ , зеленой  $g$  и синей  $b$  областях

риною по  $(\lambda_2 - \lambda_1)/10$  нм, то  $\Phi(\lambda) = \sum_{i=1}^{10} \Phi_i(\lambda)$ . Тогда световой поток

$$\Phi_{\text{св}} = A \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left( \vartheta(\lambda) \sum_{i=1}^{10} \Phi_i(\lambda) \right) d\lambda = A \sum_{i=1}^{10} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_i(\lambda) \vartheta(\lambda) d\lambda.$$

Следовательно, результат воздействия на зрительную систему неравномерного по спектру потока излучения (т. е. восприятие светового потока) можно представить как сумму воздействия отдельных частей этого потока, взятых с учетом относительного значения спектральной чувствительности глаза. Это хорошо согласуется с установленными опытным путем свойствами спектральной аддитивности зрительной системы. Экспериментально обнаружено, что график относительной спектральной чувствительности зрения можно представить суммой трех ее графиков в трех областях светового спектра красной  $r$ , зеленой  $g$ , синей  $b$  соответственно:  $v(\lambda) = r(\lambda) + g(\lambda) + b(\lambda)$ . Графики рис. 1.6.25 подтверждают способность зрительной системы к аддитивности в спектральном восприятии светового потока. По ним можно предположить способность зрительной системы к избирательному восприятию потока светового излучения в трех частично перекрывающихся областях спектра, т. е. гипотетически предположить наличие в зрительной системе человека трех «цветовых» приемников с относительными спектральными чувствительностями  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$ . Согласно этому воспринимаемый зрительной системой световой поток

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{св}} &= A \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \vartheta(\lambda) d\lambda = \\ &= A \left( \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) r(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) g(\lambda) d\lambda + \right. \\ &\quad \left. + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) b(\lambda) d\lambda \right), \end{aligned}$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — длины волн на концах светового спектра, равен сумме световых потоков трех компонентов в красной, зеленой и синей областях спектра света. Относительные спектральные чувствительности  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$  зрительной системы как бы «взвешивают» принимаемый поток излучения  $\Phi(\lambda)$ , образуя в нем информацию о трех компонентах цвета. Поэтому ощущения зрительной системы в отношении цветовых параметров потока излучения  $\Phi(\lambda)$  объекта наблюдения могут быть равноценно (в смысле восприятия) вызваны направлением в зрительную систему нескольких монохромных потоков, например трех выбранных, смешанных в определенных пропорциях и не связанных

с потоком излучения  $\Phi(\lambda)$ . Следовательно, зрительная система не обладает свойствами объективного анализатора спектра потока светового излучения. Опыт хорошо подтверждает сказанное, поскольку в колориметрах ощущение одного цвета светового потока можно получить при довольно разнообразных спектральных составах потока.

Обнаружено, что зрительная система имеет заметные ограничения в способности определения цветового тона светового потока, т. е. обладает *порогом цветоразличения*, под которым понимают максимальную разность длин волн двух монохромных световых излучений  $\Delta\lambda_{\text{max}} = |\lambda_2 - \lambda_1|$ , при которой в зрительной системе еще сохраняются ощущения одного и того же цветового тона. Из зависимости рис. 1.6.26 видно, что

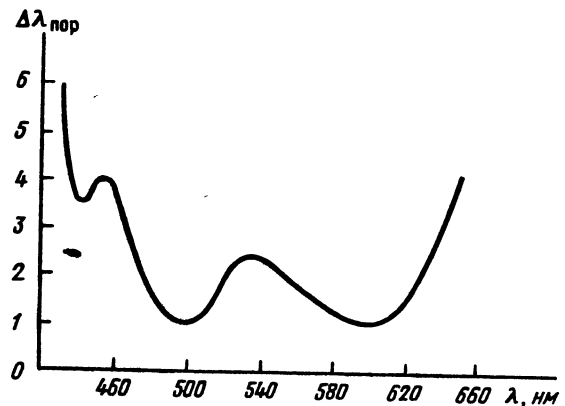


Рис. 1.6.26. Зависимость порога цветоразличения от длины волны

наименьший порог цветоразличения, т. е. максимум цветовой чувствительности, находится в областях длин волн 500 и 600 нм в зеленовато-голубом и оранжево-желтом участках спектра. Общее число различаемых зрительной системой спектрально чистых цветов примерно равно 150, а пурпурных 50. Число различаемых цветовых оттенков достигает двух тысяч. Цветовое различение существенно зависит от угла наблюдения цветного объекта или от его размеров. Опытами установлено, что воспринимаемый цвет мелких цветных деталей объекта меняется по тону и уменьшается по насыщенности при уменьшении угловых размеров этих деталей. Тенденции в смещении цветового восприятия мелких деталей видны на рис. 1.6.27. При углах зрения на цветные детали менее 10...6' зрительная система перестает воспринимать их цвет, т. е. они кажутся ахроматическими. Однако при значительном увеличении

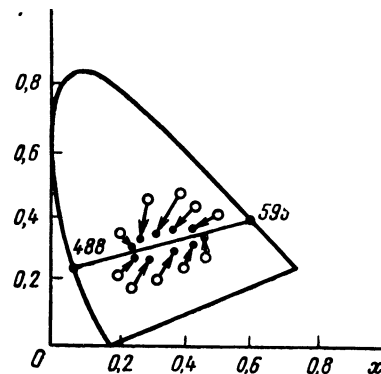


Рис. 1.6.27. К вопросу об изменении цветовосприятия мелких деталей

их яркости ощущение их цвета может быть восстановлено.

Зрительная система имеет пороги различения и в насыщенности цветового тона. Поскольку данная характеристика связана с оценкой амплитудных параметров светового потока в целом на доминирующей длине волны, то пороговые значения насыщенности цветового тона в некоторой степени подчиняются закону Вебера—Фехнера. Установлено, что пороговое разрешение по насыщенности цветового тона существенно зависит от длины волны и имеет выраженный максимум для зеленого цвета с  $\lambda=570$  нм. Максимальное число различных градаций насыщенности цветового тона около 25. Опыты показывают, что при разложении (цветоделении) светового потока от обычных объектов наблюдения (исключая самосветящиеся) в трех спектральных областях—красной, зеленой и синей (близких к таковым для цветных телевизоров)—на три потока, разрешающая сила глаза, или острота зрения, будет неодинакова. Максимальная острота зрения, близкая к таковой в белом свете, оказывается в зеленом потоке. В красном и синем потоках разрешающая сила зрения снижается соответственно в 4 и 5 раз. Одно из объяснений этому может состоять в том, что острота зрения зависит от яркости и падает с ее уменьшением. В цветоделенных же потоках интенсивность красного и особенно синего потоков с учетом относительной спектральной чувствительности глаза значительно меньше, чем интенсивность зеленого потока.

**1.6.8. Обобщенная схема ТВС. Требования к основным элементам.** Для создания ТВС от простейшего телевизора до весьма внушительных по объему комплексов ТВ вещания необходимы три устройства: датчик, электрический канал связи и приемник.

Тенденции их построения позволяют выделять небольшое число функционально самостоятельных звеньев, каждое из которых может заключать в себе один или несколько видов специализированной ТВ аппаратуры. К таким звеньям относятся датчик исходного сигнала яркости (видеосигнала), устройства обработки сигналов, долговременного хранения и воспроизведения полного ТВ сигнала, ведущий и ведомый синхронизаторы, электрический канал связи, приемное устройство обработки и селекции сигналов, репродукционное устройство (рис. 1.6.28). Основным элементом является датчик—передающая ТВ камера с фотоэлектрическим преобразователем (ТВ трубкой), системой разверток, усилителем. С помощью этих элементов преобразуется многомерная информация светового потока от объекта наблюдения в одномерное представление, переносимое электрическим видеосигналом (в цветном ТВ—исходными сигналами основных цветов). Устройства обработки сигналов в ТВС можно представить как сравнительно простыми блоками  $\gamma$ - и апертурной коррек-

ций видеосигнала, так и обширным набором аппаратуры студийных ТВ комплексов. Основным назначением этих устройств является достижение нормированных технических параметров полного ТВ сигнала (ПТВС) и повышение художественно-информационного качества передачи. Первая задача решается с помощью линейной, нелинейной и цифровой обработок сигналов в таких устройствах, как  $\gamma$ - и апертурные корректоры, шумоподавители, сепараторы сигналов яркости и цветности, корректоры временных искажений сигналов и т. п. Они повышают ОСШ, число различимых градаций яркости и цветности, а также четкость ТВ изображения, которое очищается от помех, шумов, повторных изображений, восстанавливают правильное положение элементов, разделяют сигналы яркости и цветности. Работой этих устройств управляет инженерно-технический персонал телецентров. Вторая задача решается аппаратурой, занимающей заметное место в составе оборудования ТВ студийного комплекса, которая управляется видеорежиссером в процессе художественного создания ТВ передачи. Классические представители такой аппаратуры—микшеры (смесители) ПТВС, устройства электронной рир-проекции (врезание одного изображения на фоне другого), коммутаторы ПТВС, идущих от разных источников. К ним можно отнести генераторы видеосигналов текстовых и графических изображений, а также преобразователи ПТВС для трансформации изображений в пределах плоскости кадра, генераторы трюковых эффектов. Видеорежиссер с помощью этих устройств создает комбинированные и трюковые изображения, повышая информационные и художественное качество ТВ передач. Устройства долговременного хранения и воспроизведения ПТВС являются обязательным элементом вещательной ТВС, т. е. входят в состав оборудования любого телецентра. Однако с конца 70-х годов они заметно проникают в прикладные и промышленные ТВС. Эти устройства предназначены для записи сигналов ТВ передачи на носитель информации, хранения ее от нескольких минут до многих лет и последующего многократного воспроизведения записанного ПТВС. Основным представителем устройств долговременного хранения и воспроизведения ПТВС на телецентрах являются различные видеомagneтофоны. Близко к ним по технологическому использованию в процессе создания ТВ передач стоит обширный класс аппаратуры теле- и диапроекции. К этим устройствам можно отнести лазерные системы записи и воспроизведения видеосигналов. Электрический канал связи—транспортная система для ТВ сигналов—может иметь протяженность от нескольких метров до десятков тысяч километров. Его назначение—передать сигнал без ухудшения технических параметров от входа до выхода при любой длине канала связи. Приемное устройство обработки и селекции сигналов в вещательной ТВС относится уже

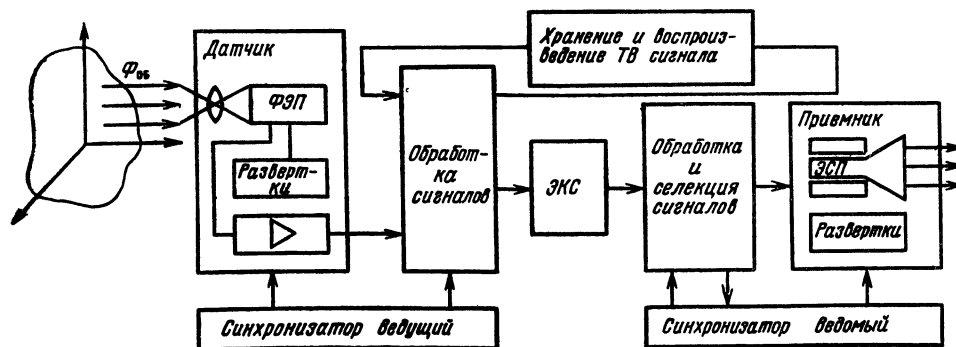


Рис. 1.6.28. Обобщенная структурная схема ТВС

к телевизору. Например, в цветных телевизорах модели 3 УСЦТ 67-9 это устройство представлено модулями радиоканала МРК-2 и цветности МЦ-2. Его назначение — принять радиосигналы, усилить их, осуществить амплитудное и частотное детектирование, разделить сигналы яркости и цветности, получить из них путем линейного смещения сигналов основных цветов. В перспективных моделях телевизоров введены цифровые блоки обработки сигналов, в частности, для разделения сигналов яркости и цветности, шумоподавления, частотной и временной коррекций.

Собственно приемником ПТВС в смысле создания ТВ изображения является *репродукционное устройство*, состоящее из электросветового преобразователя и его разверток. Обычно это кинескоп с отклоняющей системой, например А67-270Х и 26ДУН02, и модули строчной (МС-2) и кадровой (МК-1) разверток. Основным назначением этой системы является преобразование одномерной информации электрического видеосигнала в многомерную информацию светового потока на экране кинескопа, т. е. в репродуцированное ТВ изображение, которое наблюдает зритель. Синхронизатор ведомый, например submodule синхронизации УСР телевизора модели 3 УСЦТ, предназначен для выделения из ПТВС синхросигналов частоты строк и кадров и управления с их помощью другими блоками телевизора. В перспективных моделях, имеющих блоки цифровой обработки сигналов и выделения сигналов телетекст, ведомый синхронизатор создает все необходимые сигналы для управления работой этих блоков. В студийной аппаратуре ведущий синхронизатор может объединять в себе многие синхрокомплекты, размещенные в различных аппаратно студийных блоках, включать в себя сложные системы синхронизации разнесенных источников ПТВС. Для многих ТВС характерно использование метода посылки синхросигналов в электрическом канале связи попутно с яркостным сигналом в приемное устройство для управления ведомым синхронизатором. При работе ТВС световой поток от объекта наблюдения преобразуется в датчике в электрический сигнал яркости, который направляется в устройство обработки сигналов. После добавления к нему гасящих и синхронизирующих импульсов формируется и обрабатывается ПТВС, который направляется в электрический канал связи, а также при необходимости в устройство его хранения и воспроизведения. Воспроизводимый ПТВС может поступить в канал связи только через устройство обработки сигналов. С выхода канала связи он поступает в приемное устройство обработки и селекции сигналов, где разделяется на компоненты сигналов яркости, цветности, синхронизации. Синхросигналы управляют ведомым синхронизатором, который обеспечивает синхронную и синфазную работу разверток приемника с развертками датчика, а также нормальное функционирование блока телетекста.

Требования, предъявляемые к основным звеньям обобщенной схемы ТВС, могут относиться к электрическим, световым, частотным, конструктивным, стоимостным и другим ее параметрам. Они весьма разнообразны и определяются назначением и спецификой работы звеньев. Однако все они подчинены общей задаче, возложенной на ТВС. Если она портативная, то резко сокращается число функциональных звеньев, оставшиеся упрощаются до разумного предела, на первый план выходят конструкционные параметры. В студийной аппаратуре наблюдаются противоположные тенденции. Однако в обоих примерах сохраняются основополагающие требования к вещательной цветной ТВС: правильная цветопередача в пределах основных цветов, передача градаций яркости, достижение заданных на всю систему значений ОСШ, четкости изображения в центре и на краях и т. п. Выполнение этих требований распределяется между функциональными

звеньями ТВС в соответствии с их особенностями и назначением.

**1.6.9. Передача стереоскопических изображений.** Человек воспринимает окружающий мир трехмерным. Объемное или стереоскопическое зрение определяется способностью зрительной системы к восприятию перспективы или расположения предметов по глубине пространства наблюдения. Создание пространственного представления об объекте обусловлено рядом психофизиологических процессов. Наиболее достоверно объемность предметов и их пространственное расположение воспринимается при наблюдении объекта двумя глазами, т. е. при *бинокулярном зрении*. Основную роль в бинокулярном зрении играет *глазной базис*, или расстояние между зрительными осями глаз при рассматривании удаленных предметов. Среднее значение глазного базиса принято равным 65 мм. При наблюдении предметов двумя глазами зрительные оси сходятся под *углом конвергенции*. Из рис. 1.6.29 видно, что для раз-

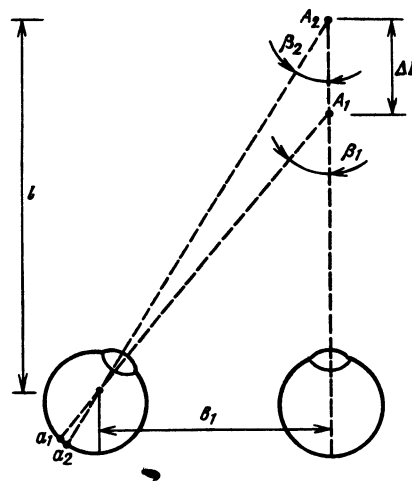
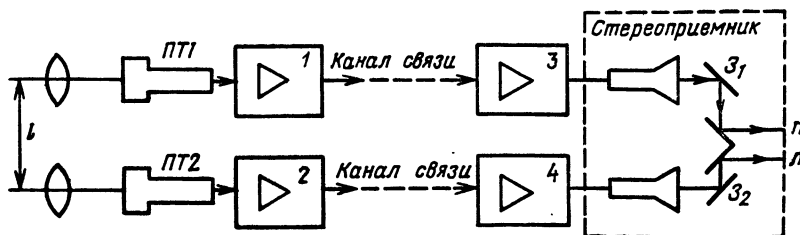


Рис. 1.6.29. К определению параметров стереоскопического зрения

ноудаленных точек  $A_1$  и  $A_2$  углы конвергенции  $\beta_1$  и  $\beta_2$  разные. Разность углов конвергенции  $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$  свидетельствует о том, что проекции точек  $A_1$  и  $A_2$  на плоскостях сетчатки обоих глаз будут также разные. В зрительной системе информация о рассовмещении проекций объекта наблюдения на сетчатках глаз, силе сокращения мышц, осуществляющих конвергенцию глаз, силе сокращения мышц хрусталика преобразуется в такие характеристики зрительного образа, как объемность и перспектива объекта наблюдения. Поскольку сетчатки глаз дискретны, то сравнить проекции объекта наблюдения можно с точностью до одного светочувствительного элемента (палочки или колбочки). Поэтому зрительная система должна обладать дискретностью в отношении восприятия перспективы наблюдаемых объектов. *Порогом глубинного зрения* называют минимальную разность углов конвергенции  $\Delta\beta_{\text{пор}}$ , при которой возникает ощущение разного положения двух точек объекта по глубине. Из геометрических построений ясно, что с этой величиной однозначно связаны пороговая глубина смещения точек объекта наблюдения  $\Delta l_{\text{пор}}$ , замечаемого зрительной системой, а также радиус или предельное расстояние стереоскопического зрения  $R$ . Принято считать, что пороговая глубина стереоскопического зрения  $\Delta\beta_{\text{пор}} = 10''..20''$ .

Расстояние стереоскопического зрения  $R = kb/\Delta\beta_{\text{пор}}$ , где  $k = 20\,600$ ,  $b$  — базис наблюдения. При  $b = 65$  мм и  $\Delta\beta_{\text{пор}} = 10''$   $R = 1350$  м. Порог стереоскопического зрения, а следовательно, и его радиус существенно ме-

Рис. 1.6.30. Структурная схема установки, иллюстрирующая принцип передачи объемных изображений



няются в зависимости от условий наблюдения: яркости, цветности объектов, фона адаптации и т. п. Для передачи объемных изображений необходимо выполнить следующие условия: 1) передавать два изображения с разных позиций, т. е. при передаче иметь некоторый базис; 2) воспроизвести переданные изображения так, чтобы можно было отдельно наблюдать их правым и левым глазами.

Проиллюстрируем принцип передачи объемных изображений (рис. 1.6.30). Передающие трубки, на которые проецируются изображения с помощью двух объективов, разнесены на расстояние  $l$ , определяющее базис. Полученные сигналы поступают в каналы связи. На приемном конце после усиления сигналы воспроизводятся на экране стереовидеоконтрольного устройства. В простейшем случае это устройство содержит два кинескопа, на которых воспроизводятся правое и левое изображения стереопары. Разделение изображений, при котором одно из них наблюдается только левым, а второе правым глазом, может быть выполнено с помощью зеркального стереоскопа. Как видно из рис. 1.6.30, для передачи стереоизображения в черно-белом виде необходимо удвоить состав аппаратуры, который можно сформировать из обычных узлов и блоков. Воспроизводящее устройство, выполненное в виде зеркального стереоскопа, обладает недостатком — невозможностью группового наблюдения стереоизображений. Поэтому данный метод разделения стереопары целесообразно применять в прикладных ТВС, где можно ограничиться одним наблюдателем. К числу таких применений относится стереотелевизионный контроль за работой различных манипуляторов.

Когда наблюдение объемного изображения должно быть коллективным, целесообразно применять другое воспроизводящее устройство, в частности поляроидный, а также цветные методы разделения стереопары. Чтобы передать сигналы стереотелевидения, необходимо, как это следует из рис. 1.6.30, иметь два канала связи. Это может оказаться оправданным только тогда, когда сигналы передаются на небольшие расстояния (приемлемая длина кабелей). Для больших расстояний целесообразно разделить спектры. Возможность его разделения в системе стереотелевидения вытекает из примерной идентичности сигналов левого и правого изображений, отличающихся лишь параллаксом. Экспериментально доказано, что без заметного ущерба качеству изображения, допустимо сократить полосу частот спектра сигнала одной из составляющих стереопары до 1 МГц при условии, что вторая будет передана в полной полосе 6,5 МГц. При этом качество визуально воспринимаемого изображения соответствует лучшему из изображений стереопары. Если передавать одно из изображений стереопары в сокращенной полосе, можно применить частотный метод разделения, принятый в цветном телевидении. Отметим, что в этом случае можно передать только черно-белое объемное изображение. Значительно сложнее воспроизвести стереоцветные изображения. Если исходить из требований обеспечения его стандартных параметров, принятых в современном цветном ТВ, и каждый элемент передавать тремя сигналами, то придется шестикратно увеличивать полосу частот по сравнению с системой черно-белого ТВ. Для этого надо передавать три цветных сигнала для левой

стереопары и три для правой, т. е. шесть сигналов. Если взять за основу любую совместимую цветную ТВС, то полоса частот канала передачи сигналов стереоцветного изображения должна быть вдвое шире стандартного цветного вещательного канала. Имеются различные варианты построения стереоцветных систем как для промышленных целей, так и для ТВ вещания, но все они находятся в стадии экспериментальных исследований.

### Список литературы

1. Яворский В. М., Детлаф А. А. Справочник по физике: 2-е изд., — М.: Наука, 1985. — 512 с.
2. Элементарный учебник по физике: /Под ред. акад. Г. С. Ландсберга, Т. III. — 10-е изд. — М.: Наука, 1986. — 656 с.
3. Демидов В. Е. Как мы видим то, что видим. — М.: Знание, 1979. — 208 с.
4. Вавилов С. И. Глаз и солнце. — М.: Наука, 1981. — 128 с.
5. Зубарев Ю. Б., Глориозов Г. Л. Передача изображений. — М.: Радио и связь, 1982. — 224 с.
6. Копин К. Т., Аксентов Ю. В., Колпенская Е. Ю. Телевидение. — М.: Связь, 1987. — 247 с.
7. Шмаков П. В., Колин К. Т., Джакония В. Е. Стереотелевидение. — М.: Связь, 1968. — 207 с.
8. Основы электронного телевидения. /Под ред. Ф. Шретера. — М.—Л.: Энергия, 1965. — 536 с.
9. Певзнер Б. М. Системы цветного телевидения. — Л.: Энергия, 1968. — 230 с.
10. Новаковский С. В. Цвет в цветном телевидении воспроизведения. — М.: Связь, 1989. — 376 с.
11. Халфин А. М. Телевизионная техника. Основы и применение. — Л.: Энергия, 1971. — 231 с.
12. Орловский Е. Л., Халфин А. М. и др. Теоретические основы электрической передачи изображений / Под ред. А. В. Таранцова. Т. 1. — М.: Сов. радио, 1962. — 720 с.
13. Справочник по телевизионной технике / Перевод с английского под ред. С. И. Катаева. Т. 1. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1962. — 615 с.
14. Телевидение. / Под ред. В. Е. Джакония. 3-е изд. — М.: Связь, 1987. — 460 с.
15. Гарб М. Г. Синхронизация в телевидении. — М.: Радио и связь, 1982. — 193 с.
16. Баскир И. Н., Людмирский И. Л. Синхронизация в телевизорах. — М.: Связь. — 1974. — 158 с.

## 1.7. Стандарты и системы вещательного телевидения

1.7.1. Основные телевизионные стандарты и системы. Телевизионная система (ТВС) характеризуется совокупностью характеристик и параметров, определяющих способы формирования, передачи и приема информации об изображении и звуке ТВ программ. Она реализуется соответствующими комплексами ТВ аппаратуры. Часто ТВС характеризуют одним определяющим признаком — черно-белая (ЧБ), цветная, стереоскопическая, малокадровая — либо областью применения — вещательная, прикладная и т. п. Совокупность нормиро-

ванных параметров, определяющих данную вещательную ТВС, а также нормативно-технический документ, их устанавливающий, составляет *ТВ стандарт*. Понятие ТВ стандарта сложилось до появления цветного ТВ, поэтому в документах МККР стандарты определяют параметры развертки, синхронизации, радиоканала, общие для ЧБ и цветного ТВ. К настоящему времени в мире действуют 10 стандартов (их обозначают В, D, G, H, I, K, K1, L, M, N) и три системы цветного ТВ — НТСЦ, СЕКАМ и ПАЛ<sup>1</sup>.

В МККР. Отч. 624 ТВ вещание было зафиксировано в 126 странах мира; в этих странах проживало 96% населения Земли. Как видно из табл. 1.7.1, ЧБ телевидение было принято в 24 странах (население 218,6 млн. человек, или 4,7% общего числа населения 126 стран<sup>2</sup>),

Таблица 1.7.1. Телевизионные системы, принятые в странах мира (МККР, Отч. 624, 1986—1987 гг.)

Страна	ТВ стандарт в диапазонах		Страна	ТВ стандарт в диапазонах	
	I и III	IV и V		I и III	IV и V
Черно-белое ТВ					
Антильские острова	M	—	Монтсеррат		—
Бенин	K1	K1	Панама	M	
Бурунди	K1	K1	Перу	M	M
Венесуэла	M	—	Сент-Кристофер	M	—
Габон	K1	K1	Сальвадор	M	—
Гвинея	K1	K1	Суринам	M	—
Заир	K1	K1	США	M	M
Иордания	B	G	Чили	M	M
Колумбия	M	M	Южная Корея	M	M
Конго	K1	K1	Япония	M	M
Кот-д'Ивуар	K1	K1			
Мадагаскар	K1	K1	Система СЕКАМ		
Нигер	K1	K1	Афганистан	D	—
Руанда	K1	K1	Болгария	D	K
Сенегал	K1	K1	Буркина	K1	K1
Сомали	B	G	Фасо		
Сьерра-Леоне	B	G	Венгрия	D	K
Танзания	I	I	Вьетнам	D	K
Того	K1	K1	ГДР	B	G
Уганда	B	G	Греция	B	G
Центрально-африканская республика	K1	K1	Джибути	B	—
Чад	K1	K7	Египет	B	G
Шри-Ланка	B	—	Иран	B	G
Ямайка	N	—	Кипр	B	G
			Ливия	B	G 4B
			Люксембург*	—	L
			Маврикий	B	—
			Мавритания	B	—
			Мали	B	—
			Марокко	B	G
			Монако*	L	G
			Монголия	D	—
			Польша	D	K
			Саудовская Аравия	B	G
			СССР	D	K
			Тунис*	B	G
			Франция	L	L
			Чехословакия	D	K

Страна <sup>1</sup>	ТВ стандарт в диапазонах		Страна	ТВ стандарт в диапазонах	
	I и III	IV и V		I и III	IV и V
Система ПАЛ					
Австралия	B	B	Мальта	B	—
Австрия	B	G	Монако*	—	G
Алжир	B	G	Нигерия	B	I
Ангола	I	—	Нидерланды	B	G
Аргентина	N	N	Новая Зеландия	B	G
Бангладеш	B	—	Норвегия	B	G
Бахрейн	B	G	Объединенные Арабские эмираты	B	G
Бельгия	B	H	Оман	B	G
Бразилия	M	M	Пакистан	B	G
Бруней	B	—	Папуа-Новая Гвинея	B	G
Великобритания	—	I	Португалия	B	G
Гана	B	G	Румыния	D	K
Гибралтар	B	G	Сингапур	B	G
Гонконг	—	I	Сирия	B	G
Дания	B	G	Таиланд	B	G
Замбия	B	G	Тунис*	B	G
Зимбабве	B	G	Турция	B	G
Израиль	B	G	Уругвай	N	—
Индия	B	—	Финляндия	B	G
Индонезия	B	—	ФРГ	B	G
Ирландия	I	I	Швейцария	B	G
Исландия	B	G 4B	Швеция	B	G
Испания	B	G	Экваториальная Гвинея	B	—
Италия	B	G	Эфиопия	B	G
Камерун	B	G	ЮАР	I	I
Катар	B	G	Югославия	B	G
Кения	B	G			
КНДР	D	K			
Китай	D	D			
Кувейт	B	G			
Лесото	I	I			
Либерия	B	—			
Люксембург*	B	G			
Малави	B	G			
Малайзия	B	G			
Мальдивская республика	B	—			

\* Эти страны приняли системы СЕКАМ и ПАЛ.

\* Эти страны приняли системы СЕКАМ и ПАЛ.

НТСЦ в 18 странах (598,1 млн. чел., или 12,9%), СЕКАМ в 25 странах (678,8 млн. чел., или 14,6%), ПАЛ в 62 странах (3154,5 млн. чел., или 67,8%). Стандарт М, который предусматривает развертку на 525 строк, 60 полей, принят в 20 странах (630,7 млн. чел., или 13,6%), все остальные страны используют развертку на 625 строк, 50 полей. Сочетание ТВС и стандартов поясняется табл. 1.7.2, где примечаниями отмечены варианты, используемые лишь в одной—двух странах.

Основные параметры стандартов (кроме N и H) приведены в табл. 1.7.3—1.7.5. Стандарт N появился в результате принятия системы ПАЛ в Аргентине и поэтому сочетает параметры развертки европейского стандарта и радиоканалов американского стандарта, он близок к В, G, но отличается полосой видеочастот (4,2 МГц) и параметрами радиосигнала, которые совпадают с параметрами стандарта М. Стандарт H близок к G, но отличается шириной частично подавленной боковой полосы (1,25 МГц), уровнем пьедестала в излученном сигнале (0...7%) и отношением мощностей

<sup>1</sup> Ранее действовали также стандарты А (405 строк, Англия) и Е (819 строк, Франция).

<sup>2</sup> Страны мира. Краткий политико-экономический справочник. — М.: Политиздат. — 1987.

Таблица 1.7.2. Сочетание ТВС и стандартов

Стандарт	ТВ система			
	ЧБ	НТСЦ	СЕКАМ	ПАЛ
B	+		+	+
D			+	+
G	+		+	+
H				+ <sup>1</sup>
I	+ <sup>2</sup>			+
K			+	+ <sup>3</sup>
K1	+		+ <sup>4</sup>	
L			+	
M	+ <sup>5</sup>	+		+ <sup>5</sup>
N	+ <sup>6</sup>			+ <sup>7</sup>

Примечания: <sup>1</sup>Бельгия; <sup>2</sup>Танзания; <sup>3</sup>КНДР и Монголия; <sup>4</sup>Буркина Фасо; <sup>5</sup>Бразилия; <sup>6</sup>Ямайка; <sup>7</sup>Аргентина и Уругвай.

радиосигналов изображения и звука (5/1...10/1). Стандарты В и G различаются лишь шириной полосы частот радиоканала; стандарт В применяется в I и III диапазонах, а G — в IV и V. Стандарты Д и К полностью одинаковы, но Д применяется в I и III диапазонах (за исключением КНР, где используется также в IV и V диапазонах), а К — только в IV и V (рассматривает-

ся вопрос об их объединении). Стандарт К1, используемый в странах Африки, отличается от К лишь некоторыми значениями параметров радиоканала.

Общими для всех ТВ стандартов являются параметры: чересстрочное разложение, кратность 2:1, формат кадра 4:3, направление развертки изображения (со стороны зрителя) слева направо и сверху вниз.

Помимо шкалы уровней (см. табл. 1.7.3) применяют, кроме стандарта М, также шкалу с уровнями, %

синхроимпульсов	0
гашения	30
номинального белого	100
пиковый (с учетом сигнала цветности для системы СЕКАМ)	110,7

В дополнение к описанным обозначениям стандартов ТВ вещания имеются варианты обозначений для видеозаписи: индекс (SP Standart Play, например PAL-SP) означает стандартное воспроизведение, а индекс LP (Long Play) — длительное воспроизведение; кассета SP обеспечивает число часов просмотра до двух, а LP — до восьми. В некоторых странах используют ТВ вещание со стереозвуковым или двухканальным звуковым сопровождением: в ФРГ, Италии и Нидерландах — система с дополнительной звуковой ЧМ несущей, в Великобритании, Швеции, Норвегии, Финляндии, Дании и Исландии — система с дополнительной несущей, модулированной цифровыми сигналами (путем фазовой манипуляции).

Таблица 1.7.3. Основные параметры развертки и видеосигналов (значения в скобках относятся к цветному ТВ)

Параметр	Стандарт				
	М	В, G	I	Д, К, K1, L	Рек. 472 МККР
Число строк в кадре	525	625	625	625	625
Частота полей, Гц	60 (59,94)	50	50	50	50
Частота строк $f_{стр}$ , Гц	15750 (15734,264) ( $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ )	15625	15625	15625	15625
Допуск на значение $f_{стр}$ при автономной синхронизации		$\pm 2 \cdot 10^{-4}$ ( $\pm 10^{-6}$ )	$\pm 2 \cdot 10^{-7}$	$\pm 2 \cdot 10^{-4}$ ( $\pm 10^{-6}$ )	$\pm 2 \cdot 10^{-4}$ ( $\pm 10^{-6}$ )
Максимальная скорость изменения $f_{стр}$ в ЧБ ТВ <sup>1</sup> , %/с	0,15 (Япония: $\pm 0,1$ )	0,05	0,05	0,05 (Россия: 8 Гц/с)	
Уровни композитного видеосигнала, %:					
гашения (опорный)	0	0	0	0	0
белого номинальный	100	100	100	100	100
синхроимпульсов	—40	—43	—43	—43	
разница уровней черного и гашения (пьедестал)	7,5 $\pm$ 2,5 (Япония: 0 $\pm$ 10)		0	Д, К: 0...7 K1, L: ЦТВ 0 ЧБ ТВ 0...7	0 $\pm$ 5 —0
пиковый с учетом сигнала цветности	120	ПАЛ: 133	133	СЕКАМ: Д, К, K1 115 L 124* <sup>2</sup> 2,8* <sup>3</sup>	
Гамма воспроизводящего устройства $\gamma$ , в расчете на значение которой предкорректируется ЧБ ТВ сигнал	2,2	2,8* <sup>3</sup>	2,8* <sup>3</sup>		0,4* <sup>4</sup>
Номинальное значение полосы частот видеосигнала, МГц	4,2	5	5,5	6	5, или 5,5, или 6

<sup>1</sup> Значения не относятся к периоду входа в синхронизм. Значения для ЦТВ подлежат уточнению.

<sup>2</sup> В международном обмене программами применяют значение 115.

<sup>3</sup> В предположении, что для сквозного тракта  $\gamma_{общ} \approx 1,2$ , т. е.  $\gamma_{кор} = \gamma_{общ} / \gamma_{кор} = 0,43$ . В России для предкоррекции принято  $\gamma_{кор} = 0,45$ . (Гамму кинескопа определяют как наклон кривой, представляющей зависимость логарифма воспроизводимой яркости от логарифма напряжения видеосигнала, когда регулировку яркости устанавливают так, чтобы насколько возможно выпрямить эту кривую в диапазоне яркостей, соответствующем контрасту не менее чем 1:40).

<sup>4</sup> Значение дано для предкоррекции.

Таблица 1.7.4. Основные параметры радиосигналов

Параметр	Стандарт				
	М	В, G	I	Д, К, К1	L
Номинальное значение полосы частот радиоканала, МГц	6	В: 7 G: 8	8	8	8
Разнос несущих частот изображения и звука, МГц	4,5 (Япония: $\pm 0,001$ )	5,5 $\pm 0,001$	5,9996 $\pm 0,0005$	6,5 (Д, К: $\pm 0,001$ )	6,5
Положение ближнего края радиоканала относительно несущей изображения, МГц	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25
Номинальное значение ширины основной боковой полосы, МГц	4,2	5	5,5	6	6
Номинальное значение ширины частично подавленной боковой полосы, МГц	0,75	0,75	1,25	Д, К: 0,75 К1: 1,25	1,25
Тип и полярность модуляции несущей изображения <sup>1</sup>	C3F(-)	C3F(-)	C3F(-)	C3F(-)	C3F(+)
Уровни параметров в излученном радиосигнале (в процентах пика несущей):					
синхроимпульсов	100	100	100	100	6
гашения	72,5...77,5	75 $\pm$ 2,5	76 $\pm$ 2	75 $\pm$ 2,5	30 $\pm$ 2
разница уровней черного и гашения (пьедестал)	2,88...6,75 (Япония: 0...6,75)	0...2	0	0...4,5	0...4,5
пиковый белого	10...15	10...12,5	20 $\pm$ 2	10...12,5 (Россия: 15 $\pm$ 2) Россия: 7 $\pm$ 2	100 110
пиковый с учетом сигнала цветности					
Тип модуляции несущей звука* <sup>1</sup>	F3E	F3E	F3E	F3E	A3E
Девияция частоты, кГц	$\pm 25$	$\pm 50$	$\pm 50$	$\pm 50$	—
Постоянная времени предсказания, мкс	75	50	50	50	—
Отношение излученных мощностей несущих изображения и звука* <sup>2</sup>	10/1...5/1 (Япония: 1/0,15...1/0,35)	20/1...10/1	5/1 (ЮАР: 10/1)	10/1...5/1 (К1: 10/1, Россия и КНР: 10/1)	10/1

<sup>1</sup> Обозначения типов модуляции — см. часть 4.

<sup>2</sup> Для изображения — эффективное значение несущей в пике модуляции (для стандарта I учитывается только сигнал яркости); для звука — эффективное значение немодулированной несущей, как для АМ, так и для ЧМ.

Таблица 1.7.5. Параметры гасящих и синхронизирующих импульсов (Значения в круглых скобках для стандарта М относятся к цветному ТВ)

Параметр* <sup>1</sup> (в скобках даны обозначения на рис. 1.7.1—1.7.3)	Стандарт	
	В, Д, G, H, I, K, K1, L	М
1	2	3
Номинальная длительность строки (H), мкс	64	63,492 (63,5555)
Допуск на длительность строки* <sup>2</sup> , мкс	$\pm 0,032$	
Длительность гасящего импульса строк (a), мкс	12 $\pm$ 0,3	10,2...11,4 (10,9 $\pm$ 0,2)
Интервал между началом строки 0 <sub>H</sub> и срезом гасящего импульса строк (b), мкс	10,5* <sup>3</sup> (1:10,4)	8,9...10,3 (9,2...10,3)
Интервал между фронтами гасящего и синхронизирующего импульсов строк («передний уступ» (c), мкс	1,5 $\pm$ 0,3 (I: 1,65 $\pm$ 0,1)	1,27...2,54 (1,27...2,22)
Длительность синхроимпульса строк (d), мкс	4,7 $\pm$ 0,2	4,19...5,71 (4,7 $\pm$ 0,1)
Длительность фронта (среза) гасящего импульса строк (e), мкс, не менее	0,3 $\pm$ 0,1	0,64(0,48)
Длительность фронта (среза) синхроимпульса строк (f), мкс	0,2 $\pm$ 0,1 (I: 0,25 $\pm$ 0,05)	0,25



Параметр* <sup>1</sup> (в скобках даны обозначения на рис. 1.7.1—1.7.3)	Стандарт	
	B, D, G, H, I, K, K1, L	M
1	2	3
Интервал между началами строки $O_n$ и вспышки ( $g$ ), мкс	$5,6 \pm 0,1^{*4}$	НТСЦ: $4,71 \dots 5,71$ (5,3 номин.)
Длительность вспышки ( $h$ ), мкс	$2,25 \pm 0,23^{*4}$ ( $10 \pm 1$ периодов)	ПАЛ: $5,8 \pm 0,1$ НТСЦ: $2,23 \dots 3,11$ [ $9 \pm 1$ периодов] ПАЛ: $2,52 \pm 0,28$ [ $9 \pm 1$ периодов]
Интервал между началом строки $O_n$ и концом гашения сигнала цветности ( $i$ ), мс	$5,6 \pm 0,2^{*5}$	
Номинальная длительность поля ( $v$ ), мкс	20	16,667 (16,6833)
Длительность гасящего импульса полей ( $j$ )	$25 H + a$	[ $19 \dots 21$ ] $H + a^{*6}$
Длительность фронта (среза) гасящего импульса полей ( $j$ ), мкс, не менее	$0,3 \pm 0,1$	$\leq 6,35$
Интервал между фронтами гасящего импульса полей и первого уравнивающего импульса ( $k$ ), мкс	$3 \pm 2^{*7}$	$1,5 \pm 0,1$
Длительность первой последовательности уравнивающих импульсов ( $l$ )	2,5 H	3 H
Длительность последовательности синхроимпульсов полей ( $m$ )	2,5 H	3 H
Длительность второй последовательности уравнивающих импульсов ( $n$ )	2,5 H	3 H
Длительность уравнивающего импульса ( $p$ ), мкс	$2,35 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,1$
Длительность синхроимпульса полей (расчетное номинальное значение) ( $q$ ), мкс	27,3 (I: $27,3 \pm 0,1$ )	27,1i
Интервал между соседними синхроимпульсами полей («врезка») ( $r$ ), мкс	$4,7 \pm 0,2$ (I: $4,7 \pm 0,1$ )	$4,7 \pm 0,1$
Длительность фронта (среза) синхроимпульса полей и уравнивающего импульса ( $s$ ), мкс	$0,2 \pm 0,1$ (I: $0,25 \pm 0,05$ )	0,25

\*<sup>1</sup> Значения длительности импульсов даны на уровне 0,5 их размаха, длительности их фронта и среза — между уровнями 0,1 и 0,9.

\*<sup>2</sup> Принят в странах — членах ОИРТ и во Франции. В России этот допуск относится к разности длительностей двух соседних строк.

\*<sup>3</sup> Расчетное номинальное значение ( $b = a - c$ ).

\*<sup>4</sup> Относится только к системе ПАЛ.

\*<sup>5</sup> Относится только к системе СЕКАМ.

\*<sup>6</sup> В Японии принято: для ЦТВ  $0,07U_{-0}^{0,01U}$  (или примерно  $18 \dots 21$  Н), для ЧБ ТВ  $0,05U_{-0}^{+0,03U}$  (или примерно  $13 \dots 21$  Н).

\*<sup>7</sup> Подлежит уточнению. Не относится к стандартам Н, I.

Значения временных интервалов, обозначенных на рис. 1.7.1. и 1.7.2, приведены в табл. 1.7.5, Стандарт М отличается от остальных стандартов, помимо данных табл. 1.7.5, также следующим:

моментом  $O_v$  (началом поля) считается начало первого строчного синхроимпульса в интервале гашения полей; с середины строки начинается интервал гашения в начале второго поля, а не первого.

Выбор основных параметров ТВ стандарта обоснован в п. 1.6.

Параметры были установлены в 40-х годах. В их значениях обеспечен компромисс в четкости изображения между требованиями зрительного восприятия и техническими возможностями. В частности, полоса частот видеотракта была ограничена значением  $4 \dots 6$  МГц; частота полей для устранения сетевой помехи была выбрана равной частоте питающей сети, что привело к разделению мира на два ТВ региона со стандартами 525/60 и 625/50; число строк, ориентировочно определенное из условия незаметности строчной структуры с расстояния 5—6 высот экрана, было уточнено для получения удобного соотношения частот строк и кадров:  $f_c = 625 f_k$  или  $f_c = 525 f_k$  — выбранные коэффициенты, разлагаются на простые множители ( $625 = 5^4$ ,  $525 = 3 \cdot 5^2 \cdot 7$ ), что позволило легко реализовать в синхро-

генераторе жесткую связь между значениями частот  $f_c$  и  $f_k$ . Значения вертикальной и временной разрешающих способностей в ЧБ ТВ однозначно определяются числом активных строк и частотой полей, горизонтальная разрешающая способность зависит еще от полосы видеочастот  $F_v = 0,5 K k f_k z^2 \cdot (1 - \theta) / (1 - \alpha)$ . Здесь  $k$  — формат кадра;  $z$  — число строк;  $\alpha$  — относительное значение пассивной части строки;  $\theta$  — то же для поля; коэффициент  $K = \delta_{\text{верт}} / \Delta_{\text{гор}}$ , где  $\delta_{\text{верт}}$  — шаг развертки по вертикали (в кадре);  $\Delta_{\text{гор}}$  размер горизонтального элемента, равный полупериоду частоты  $F_v$ . Оптимальным считается выбор такой  $F_v$ , при котором значения решающих способностей по вертикали  $\Delta_{\text{верт}}$  и горизонтали  $\Delta_{\text{гор}}$  примерно одинаковы. В силу дискретности строчной развертки размер вертикального элемента  $\Delta_{\text{верт}}$  лежит в пределах от  $\delta_{\text{верт}}$  до  $2\delta_{\text{верт}}$  в зависимости от его положения относительно строк раstra, а из-за чересстрочности дополнительно увеличивается. Отношение шага строчной развертки к оптимальному размеру горизонтального элемента, при котором достигается визуальное равенство значений четкости по вертикали и горизонтали, называют коэффициентом Келла:  $K_{\text{кел}} = \delta_{\text{верт}} / \Delta_{\text{гор.опт}}$ . По данным субъективных экспериментов  $K_{\text{кел}} = 0,42 \dots 0,65$ .

За исключением стандарта N все принятые значе-

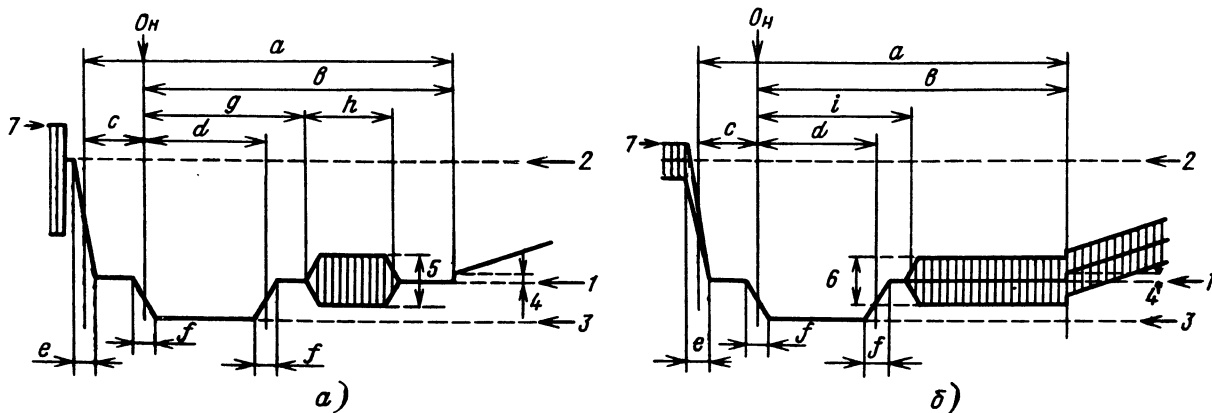


Рис. 1.7.1. Форма полного цветового ТВ сигнала в строчном интервале гашения:  
 а — в системах НТСЦ и ПАЛ; б — в системе СЕКАМ; уровни: 1 — гашения, 2 — белого, 3 — синхронимпульса, 7 — пиковый; раз-  
 махи: 4 — пьедестала, 5 — всплески, 6 — немодулированной поднесущей,  $O_H$  — момент начала строки, остальные обозначения  
 в табл. 1.7.5

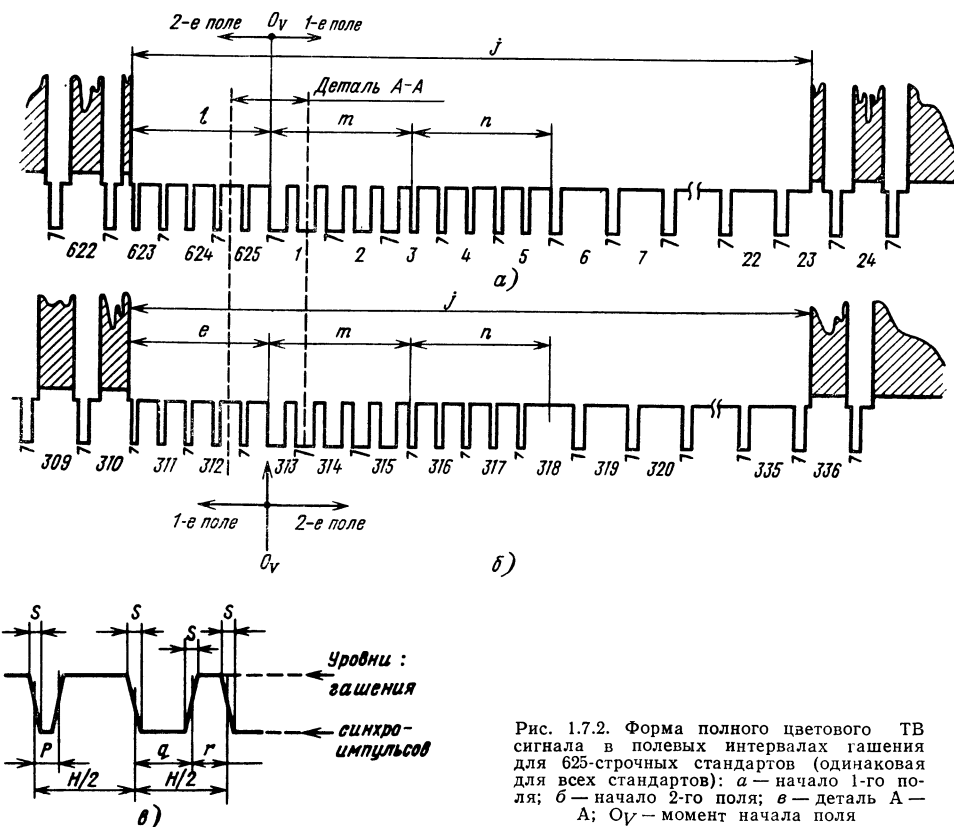


Рис. 1.7.2. Форма полного цветового ТВ сигнала в полевых интервалах гашения для 625-строчных стандартов (одинаковая для всех стандартов): а — начало 1-го поля; б — начало 2-го поля; в — деталь А — А;  $O_H$  — момент начала поля

ния  $K$  (табл. 1.7.6) обеспечивают запас четкости по горизонтали по сравнению с той, которая требуется в соответствии с коэффициентом Келла. Величину  $1/K$  можно рассматривать как формат элемента разложения. Принятие Рек. 601, установившей единую для всех стандартов частоту дискретизации (13,5 МГц для яркостного сигнала), однозначно определило формат элемента разложения при формировании и обработке ТВ сигналов цифровыми методами. В активной части строки стандарта М укладывается 710, а остальных стандартов — 702 яркостных цифровых элемента (соответствующие значения  $K$  — см. табл. 1.7.6). Следует ожидать, что в связи с развитием плоских матричных воспроизводящих экранов, а также твердотельных преобразователей «свет-сигнал» в перспективных ТВС будет стандартизован формат элемента разложения.

**1.7.2. Построение цветных ТВС.** Система цветного ТВ или цветной СТВ характеризуется совокупностью параметров, определяющих способ кодирования цветовой информации при формировании ТВ сигнала. Существующие стандартные вещательные цветные ТВС совместимы с ЧБ системами: обеспечивают прием цветных передач на ЧБ телевизоры и ЧБ передач — на цветные, а также передачу ЧБ и цветных сигналов по одним и тем же каналам связи; совместимость упрощает ввод в действие цветного ТВ в стране, где уже существует ТВ вещание. Во всех этих системах применяются тот же стандарт развертки, что и в ЧБ ТВ, и используют одновременное воспроизведение цветоделенных изображений трех основных цветов и аддитивное сложение цветов. Три изображения совмещают в одно либо растровым путем на трехцветных кинескопах

Таблица 1.7.6. Принятые в разных ТВ стандартах значения  $K$  (рассчитаны по данным табл. 1.7.3 и 1.7.5)

Параметр	Стандарт					Рек. 60 МККР	
	N	B, G, H	M	I	D, K, K1, L	625 строк	525 строк
$K$	0,570	0,678	0,683	0,746	0,814	0,910	1,10
$1/K$	1,76	1,49	1,46	1,34	1,23	1,09	0,914

прямого видения, либо с помощью оптической системы в проекционных устройствах (несовместимую последовательную ТВС, в которой основные цвета R, G, B аддитивно складываются путем их быстрого чередования во времени, используют лишь в отдельных прикладных устройствах; здесь ее не рассматриваем).

Уменьшение значений  $p$  (табл. 1.7.7) в европейских стандартах позволило повысить яркость люминофоров.

Таблица 1.7.7. Координаты цветности в системе МКО 1931 и значения чистоты цвета  $p$  основных цветов

Цвет	Система НТСЦ			Системы СЕКАМ и ПАЛ		
	$x$	$y$	$p$	$x$	$y$	$p$
Красный	0,67	0,33	1,0	0,64	0,33	0,93
Зеленый	0,21	0,71	0,93	0,29	0,60	0,86
Синий	0,14	0,08	0,65	0,15	0,06	0,60

По законам сложения цветов кинескоп способен воспроизвести все цветности, заключенные внутри треугольника основных цветов (рис. 1.7.3). Однако трехцветная ТВС передает информацию о любом цвете

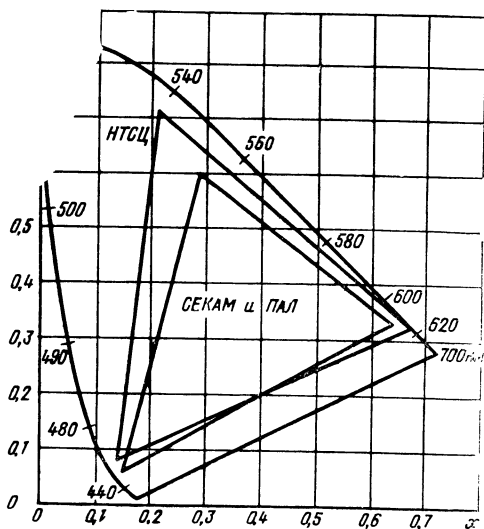


Рис. 1.7.3. Цветовые треугольники приемника на диаграмме цветности МКО 1931

объекта, так что при увеличении числа основных цветов приемника в нем формируются сигналы новых основных цветов путем линейного пересчета трех принятых, и можно охватить всю площадь диаграммы цветности. Сигналы основных цветов приемника  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  должны совпадать по времени, иметь одинаковые полосы видеочастот и одинаковую градационную коррекцию. При  $U_R = U_G = U_B$  кинескоп должен воспроизводить

диффузный белый цвет с координатами цветности:

	$x$	$y$
Система НТСЦ	0,310	0,316 (Белый С)
Системы СЕКАМ и ПАЛ	0,313	0,329 (Белый $D_{65}$ )

Для передачи по каналу связи используют другую триаду сигналов, получаемую из исходной путем линейного пересчета: точка *сигналы основных цветов передачи* — яркостный и два цветоразностных. Яркостный сигнал для всех ТВ стандартов

$$U_Y' = 0,299 U_R' + 0,587 U_G' + 0,114 U_B', \quad (1.7.1),$$

где штрих обозначает, что сигналы подвергнуты  $\gamma$ -коррекции  $U'_{R(G,B)} = U_{R(G,B)}^{\gamma_{\text{кор}}}$  (табл. 1.7.3, см. прим. 3). Весовые коэффициенты в (1.7.1) соответствуют относительному вкладу основных цветов системы НТСЦ в яркость белого цвета С. Использование их в других системах не вызывает каких-либо искажений цветного и ЧБ ТВ изображений. Яркостный сигнал отвечает требованиям совместимости, имеет полную полосу видеочастот, определяемую стандартом, и обеспечивает заданную четкость изображения. Он может быть сформирован не только по (1.7.1), но и отдельной передающей трубкой со спектральной характеристикой, соответствующей кривой видности глаза.

Цветоразностные сигналы

$$U_{R-Y} = U'_R - U'_Y, \quad U_{B-Y} = U'_B - U'_Y \quad (1.7.2)$$

(в приемнике используют также цветоразностный сигнал  $U_{G-Y} = U'_G - U'_Y$ ). В системе НТСЦ используют линейные производные от (1.7.2) цветоразностные сигналы

$$U_1 = 0,27 U_{B-Y} + 0,74 U_{R-Y}; \quad U_Q = 0,41 U_{B-Y} + 0,48 U_{R-Y}. \quad (1.7.3)$$

Оси цветоразностных сигналов на треугольниках основных цветов показаны на рис. 1.7.4. Цветоразностные сигналы могут иметь в 3—4 раза более узкую полосу частот, чем яркостный (это возможно благодаря понижению разрешающей способности зрения в насыщенных цветах), так что суммарная полоса частот сигналов передачи получается в 1,8—2 раза уже, чем сигналов основных цветов. Помехи и искажения, возникающие при передаче и приеме цветоразностных сигналов, слабо влияют на яркость изображения, сказываясь в основном лишь на цветности, что менее заметно (*принцип постоянной яркости*): компенсация помех обеспечивается тем, что третий цветоразностный сигнал формируют из двух принятых, взятых в обратной полярности

$$U_{G-Y} = -0,509 U_{R-Y} - 0,194 U_{B-Y}. \quad (1.7.4)$$

Этот принцип и сокращение полосы частот цветоразностных сигналов позволяют повысить помехоустойчивость цветной ТВС. Цветоразностные сигналы образуются в нуль на белом и сером и малы на слабонасыщенных цветах, что улучшает совместимость системы. Они биполярны, причем для каждой пары цветов, дающих в сумме белый, они равны и обратны по зна-

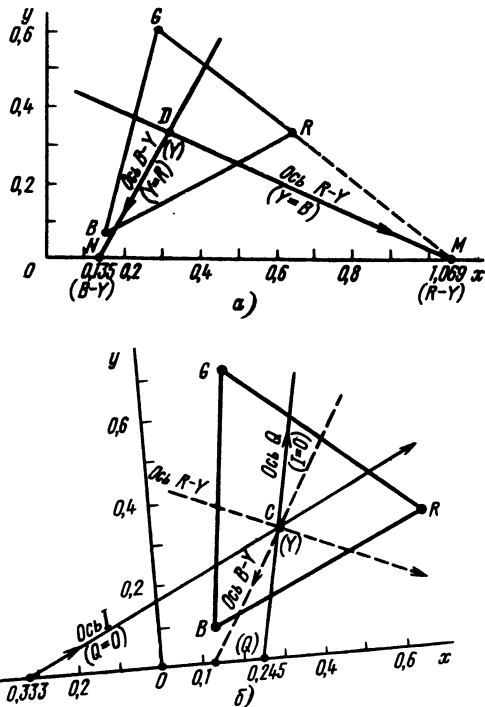


Рис. 1.7.4. Цветовые треугольники основных цветов передачи и оси цветоразностных сигналов в системах: а — СЕКАМ и ПАЛ; б — НТСЦ

ку. Из них не полностью исключена информация о яркости — при неизменной цветности они меняются пропорционально изменению яркости, так что два цветоразностных сигнала определяют не колориметрическую цветность цвета, а его окраску или «хроматичность» — колориметрическую разность между данным цветом и белым той же яркости. Поэтому часть яркости изображения передается цветоразностными сигналами (неполное выполнение принципа постоянной яркости в ТВС с  $\gamma$ -коррекцией). Сигнал  $U_{Y'}$  (1.7.1) передает всю яркость лишь на равносигнальном цвете; по мере роста насыщенности доля полной яркости, передаваемая им, уменьшается в соответствии с коэффициентом постоянной яркости  $K_Y = (U_{Y'})/U_Y$ , где  $U_Y$  — «линейный» яркостный сигнал:  $U_Y = 0,299 U_R + 0,587 U_G + 0,114 U_B$ . На белом (сером)  $K_Y = 1$ ; его значение снижается до 0,383 на зеленом, до 0,114 на красном и до 0,020 на синем основных цветах (при  $\gamma = 2,8$ ). Триада сигналов соответствует трем основным цветам (Y), (R-Y) и (B-Y), треугольник которых DMN показан на рис. 1.7.4, а. Вершина (Y) находится в точке белого D, где два других сигнала равны нулю, вершины (R-Y) и (B-Y) лежат на оси  $x$ , где  $U_{Y'} = 0$ , т. е. эти два основных цвета имеют нулевую яркость; их координаты  $x_{(R-Y)} = 1,069$ ,  $x_{(B-Y)} = 0,135$ . Оси R-Y и B-Y образуют систему координат хроматичности; треугольник DMN лежит в первом квадранте, так что цветности внутри него передаются положительными значениями  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ . На рис. 1.7.4, б показаны оси основных цветов (I) и (Q); координаты этих цветов  $x_{(I)} = 0,333$ ,  $x_{(Q)} = 0,245$ .

В последние годы для повышения качества ТВ изображения стали применять аппаратуру и целые ТВ комплексы, в которых сигналы  $U_{Y'}$ ,  $U_{R-Y}$ ,  $U_{B-Y}$  используются непосредственно, без дальнейшего кодирования. Такие устройства и сигналы называют *компонентными*. Стандарт на компонентные сигналы еще не выработан. На практике обычно используют следующие параметры сигналов:

Размахи  $U_{Y'}$ ,  $U_{R-Y}$ ,  $U_{B-Y}$ , В на нагрузке 75 Ом при передаче испытательных цветных полос типа 100/0/100/0 (см. 1.7.3) . . . . . 0,7  
Полярность . . . . . положительная  
Расхождение по времени, нс, не более . . . . . 50  
Размах сигнала, содержащего ССП, В . . . . . 1

В системах НТСЦ, ПАЛ и СЕКАМ компонентные сигналы объединяют путем кодирования с совмещением спектров в единый композитный ТВ сигнал, а системы эти называют *композитными*. Кодирование (рис. 1.7.5)

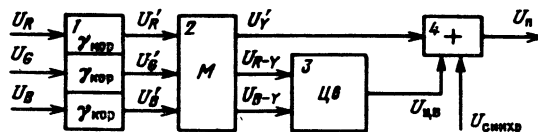


Рис. 1.7.5. Общая структурная схема формирователя композитного сигнала из сигналов основных цветов (1 — гамма-корректор, 2 — матрица (пересчетная схема), 3 — блок цветности, 4 — сумматор)

состоит в модуляции одной или двух цветowych поднесущих цветоразностными сигналами, в результате чего образуется сигнал цветности, и в сложении сигналов яркости и цветности. Три системы отличаются только способом формирования сигнала цветности. Спектр сигнала цветности размещается в верхней половине спектра сигнала яркости, т. е. информация цветности передается без расширения полосы частот ТВ канала. Совмещение спектров основано на их перемещении — частоту цветовой поднесущей выбирают так, что она и составляющие ее спектра располагаются в зазорах спектра сигнала яркости. Есть три метода получения такой поднесущей:

*Метод частотной синхронизации* — введение жесткой связи между частотами поднесущей  $f_0$  и строк  $f_0$  путем установления между ними требуемой кратности. В системе НТСЦ принят *полустрочный сдвиг* (офсет), когда (рис. 1.7.6)

$$f_0 = (n + 1/2) f_c, \quad (1.7.5)$$

где  $n$  — целое. При этом в строке укладывается нечетное число полупериодов, что приводит к изменению полярности поднесущей от строки к строке и от кадра к кадру. Такая поднесущая создает на ТВ изображении шахматную структуру из светлых и темных точек, которые от кадра к кадру меняются местами, благодаря чему структура мало заметна (как структура поднесущей, кратной частоте строк, но имеющей на порядок

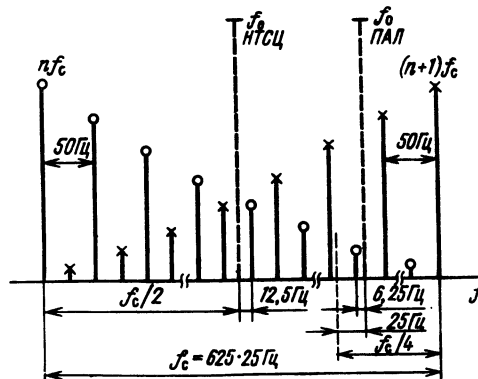


Рис. 1.7.6. Поднесущие в спектре яркостного сигнала при частотной синхронизации (j — строчная гармоника спектра яркостного сигнала и ее боковые частоты модуляции частотой полей; i — то же для следующей строчной гармоника, штриховые линии — поднесущие частоты  $f_0$ )

меньшую амплитуду). Полный цикл чередования фаз поднесущей — цикл повторения той же фазы на том же элементе раstra — составляет два кадра.

В системе ПАЛ принят *четвертьстрочный сдвиг* с дополнительным смещением на частоту кадров, когда  $f_0 = (n \pm 0,25)f_c + f_k$ . Структура такой поднесущей сдвигается от строки к строке на  $1/4$  периода. Поскольку число строк в кадре нечетное, кадры сдвинуты во времени на  $1/4$  периода и полный цикл чередования фаз поднесущей и компенсации заметности составляет четыре кадра. Сдвиг по частоте на  $f_k$  приводит к перемене полярности структуры от кадра к кадру (для лучшей компенсации заметности) и не изменяет цикла чередования фаз. Частота, соответствующая этому циклу, равна разности частот двух ближайших гармоник спектра (см. рис. 1.7.6).

**Метод коммутации фазы** — использование поднесущей частоты, кратной частоте строк  $f_0 = nf_c$ , и коммутация ее на  $180^\circ$  от строки к строке. Структура раstra поднесущей, механизм компенсации ее заметности и цикл чередования фаз в этом случае такие же, как при полустрочном офсетe. Однако вместо спектральной линии возникает спектр

$$S \approx \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2}{\pi(k-\beta)} \cos k \frac{\omega_c}{2} t, \quad (1.7.6)$$

где  $k$  — нечетное,  $\omega_c = 2\pi f_c$ ,  $\beta = 2f_0/f_c$  — число периодов поднесущей в двух строках. Спектр состоит из нечетных гармоник частоты  $f_c/2$ , амплитуды которых убывают в обе стороны от  $f_0$  (рис. 1.7.7). Поднесущую в этом случае можно представить как синусоиду частоты  $f_0$ , балансно модулированную симметричными П-импульсами частоты  $f_c/2$ , а ее спектр — как боковые полосы модуляции при подавленной поднесущей. Ширина спектра (до гармоник, амплитуда которых равна 5% основной) составляет  $\pm 20f_c$ .

**Метод фазовой синхронизации** — установка фазы колебаний генератора поднесущей в начале каждой строки, равной 0 или  $180^\circ$  попеременно, например путем ударного запуска генератора импульсами. Частота генератора может быть произвольной, поэтому этот метод используют, когда нужно применить автономный генератор поднесущей без кварца или важно обеспечить малоинерционность генератора. Так как исходная частота

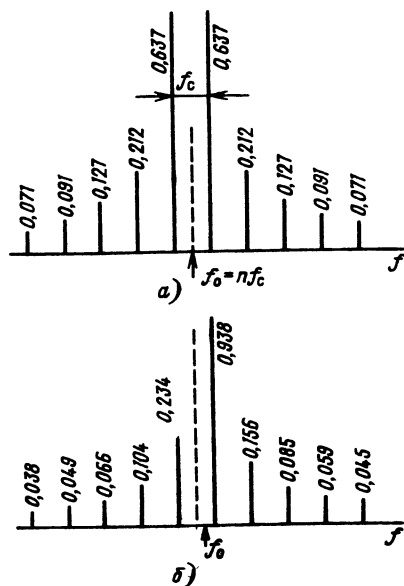


Рис. 1.7.7. Спектры цветных поднесущих (для  $\beta=500$ ): а — при коммутации фазы; б — при фазовой синхронизации для  $\xi=0,6$

та  $f_0$  плавно изменяется в пределах от  $(n+0,5)f_c$  до  $nf_c$ , то метод фазовой синхронизации включает в себя два предыдущих метода в качестве крайних случаев. Обозначим  $\beta = 2b + \xi$ , где  $b$  — целое число периодов поднесущей в одной строке,  $\xi$  — дробный остаток числа полупериодов поднесущей в строке. При частотной синхронизации  $\xi=1$ , а при коммутации фазы  $\xi=0$ . В общем случае спектр поднесущей

$$S = \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \frac{2}{\pi} (1 + \cos \xi \pi) \frac{\beta}{k^2 - \beta^2} \cos k \frac{\omega_c}{2} t + \frac{2}{\pi} \sin \xi \pi \frac{k}{k^2 - \beta^2} \sin k \frac{\omega_c}{2} t \right],$$

где  $k$  — нечетное; этот спектр не содержит  $f_0$  и состоит только из нечетных гармоник половины частоты строк.

При  $\xi=1$  это выражение переходит в (1.7.5), а при  $\xi=0$  — в (1.7.6). Форма спектра для  $\xi=0,6$  показана на рис. 1.7.7, б; по мере роста  $\xi$  основная гармоника растет, а остальные убывают, не изменяя своего положения в спектре.

В системе СЕКАМ использован метод коммутации фазы в видоизмененном виде: коммутация ведется либо в начале и конце каждой третьей строки, образуя последовательность начальных фаз  $0; 0; 180; 0; 0; 180^\circ$  и т. д., либо через каждые три строки:  $0; 0; 180; 180; 180^\circ$  и т. д. Применяются две поднесущие частоты  $f_{0\text{н}}$  и  $f_{0\text{в}}$ , чередуемые через строку, так что при любом из двух методов коммутации в каждой из поднесущих начальные фазы чередуются по закону  $0; 0; 180; 0; 0; 180^\circ$  и т. д. Кроме того, фаза коммутируется от поля к полю. В итоге спектр поднесущей с исходной частотой  $f_0$  (без учета интервалов гашения)

$$S = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{m\pi} \sin m\omega_k t \left[ a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left( a_k \cos k \frac{\omega_c}{6} t + b_k \sin k \frac{\omega_c}{6} t \right) \right] \sin \omega_0 t,$$

где  $m$  — нечетное,  $\omega_k = 2\pi f_k$ ;  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ;  $a_0 = 1/6$ ,

$$a_k = \frac{2}{k\pi} \sin \frac{k\pi}{3}; \quad b_k = \frac{1}{k\pi} \left( 2 \cos k \frac{2\pi}{3} - \cos k\pi - 1 \right).$$

Он представляет результат модуляции колебания частоты  $f_0$  сигналами коммутации по строкам (ряд  $k$ -х гармоник) и по полям (ряд  $m$ -х гармоник). Благодаря наличию нулевого члена ряда  $a_0$  модуляция по строкам не является балансной, т. е. частота  $f_0$  в спектре сохраняется (следствие разного числа строк с фазами 0 и  $180^\circ$ ); все остальные гармоники частоты строк подавлены, так как при  $k$ , кратных шести,  $a_k = b_k = 0$ . Ширина спектра гармоник строк (рис. 1.7.8, а) составляет примерно  $4f_c$ . В результате коммутации по полям каждая из его гармоник приобретает спектр, показанный на рис. 1.7.8, б, где амплитуды относятся к единичной амплитуде гармоник строк. Минимальное расстояние между линиями спектра равно  $f_k/6$ , что соответствует шестикадровому циклу чередования фаз сигнала цветности СЕКАМ.

**1.7.3. Система СЕКАМ<sup>1</sup>.** Сигнал цветности образуется путем частотной модуляции двух близких поднесущих сигналами  $U_R$  —  $Y$  и  $U_B$  —  $Y$  и передачи их поочередно через строку. В приемнике пропущенные сигналы заменяются сигналами предыдущих строк с помощью линии задержки на одну строку и коммутатора (рис.

<sup>1</sup> SECAM — Séquena de Couleurs Avec Mémoire (франц.) — поочередность цветов и память. Система разработана в 1956—1964 гг. во Франции (Фирмы TDF—CSF) по исходному патенту Анри де Франса.

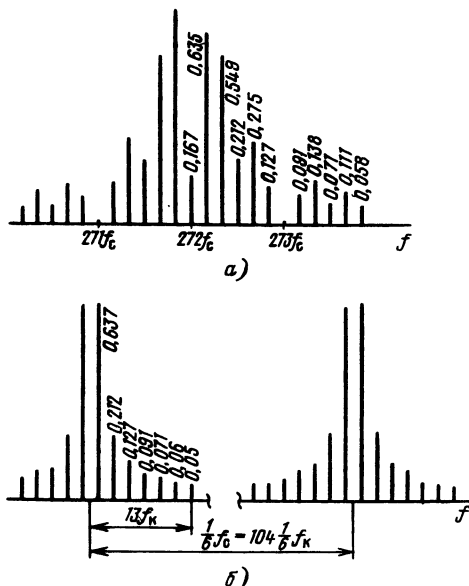


Рис. 1.7.8. Спектры немодулированной поднесущей СЕКАМ: а — общий вид; б — деталь между двумя гармониками  $f_c/6$

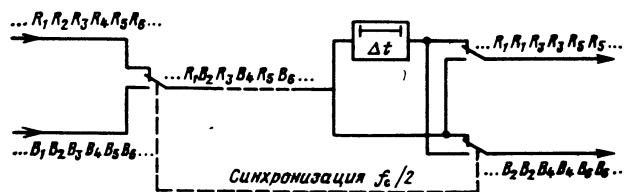


Рис. 1.7.9. Схема чередования и восстановления цветоразностных сигналов  $\Delta t$  — линия задержки на строку (64 мкс); R и B — сигналы  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$

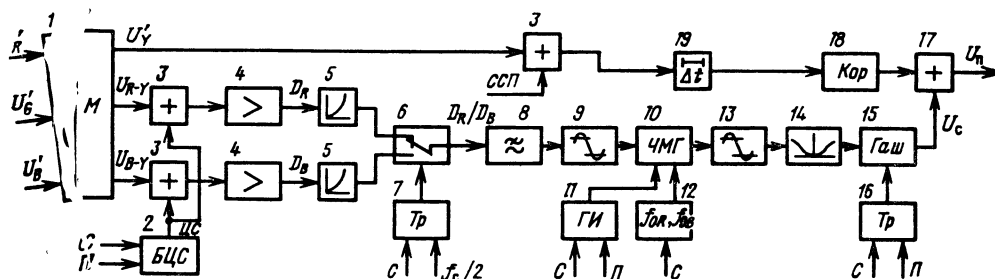


Рис. 1.7.10. Структурная схема кодирующего устройства СЕКАМ (С — строки, П — поля, ССП — сигнал синхронизации приемников. Обозначения узлов в тексте)

1.7.9) — сигнал каждой переданной по каналу связи строки повторяется дважды (второй раз — после линии задержки). Поочередная передача по сравнению с одновременной позволяет уменьшать искажения, вносимые ТВ трактом; применение ЧМ обеспечивает совместимость системы, что уменьшает разнояркость соседних строк ЧБ изображения из-за разницы амплитуд  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ , а также снижает чувствительность к неравномерностям АЧХ ТВ тракта. В кодере СЕКАМ (рис. 1.7.10) матрица пересчетная 1 формирует триаду сигналов передачи. В сумматорах 3 к сигналам  $U_{R-Y}$ ,  $U_{B-Y}$  добавляется видеосигнал цветовой синхронизации (ЦС), формируемый блоком 2; усилители 4 формируют модулирующие сигналы

$$D_R = -1,9U_{R-Y}, D_B = 1,5U_{B-Y}. \quad (1.7.7)$$

Коэффициенты при этих сигналах (их точные значения 1,902 и 1,505) определены из условия достижения равенств  $D_R=1$ ,  $D_B=1$  при передаче испытательных сигналов генератора цветных полос 75%-ной яркости<sup>1</sup>.

Поворот полярности сигнала  $D_R$  повышает устойчивость сигнала цветности к ограничению верхних частот, поскольку для большинства реальных сюжетов преобладают положительные значения  $U_{R-Y}$ . Искажители 5 с коэффициентами передачи  $A_1(f)$  вводят НЧ предискажения (подъем на высоких частотах), необходимые в канале с ЧМ для повышения помехоустойчивости. Коммутатор 6, управляемый симметричным триггером 7, переключает сигналы  $D_R$ ,  $D_B$  от строки к строке. Фильтр нижних частот 8 подавляет спектр сигналов свыше 1,5 МГц, а ограничитель 9 срезает вершины выбросов, возникающих на резких цветовых переходах в результате предискажений, что ограничивает предельные значения девиации частоты. Генератор 10 формирует и модулирует поднесущие, блок 11 подает на него импульсы срыва и запуска, обеспечивающие фазирование поднесущих в начале каждой строки по заданному закону (см. п. 1.7.2). Кварцевый генератор 12, возбуждаемый импульсами строк, формирует опорные поднесущие  $f_{0R}$  и  $f_{0B}$ , необходимые для подстройки частот покоя ЧМ генератора 10. Ограничитель 13 устраняет паразитную АМ, возникающую в ЧМГ. Искажитель 14 с коэффициентом передачи  $A_2(f)$  вводит ВЧ предискажения — увеличение амплитуды по мере роста девиации, требуемые для повышения помехоустойчивости канала с ЧМ. В блоке 15, управляемом триггером 16, гасится сигнал цветности в интервалах обратного хода по строкам (см. рис. 1.7.1, а) и по полям (в пределах длительности гасящего импульса полей, исключая время передачи сигналов ЦС). В сумматоре 17 сигнал цветности (chrominance)  $U_C$  добавляется к сигналу яркости  $U_Y$ ; последний предварительно корректируется в блоке 18 для уменьшения перекрестных искажений «яркость — цветность» — составляющие спектра  $U_Y$  с частотами 3...5 МГц ограничиваются до уровня минус 20 дБ, если они превосходят этот уровень. Линия задержки 19 выравнивает сигналы яркости и цветности во времени. Использование общего ограничителя и ЧМГ для сигналов  $D_R$  и  $D_B$  требует заведения в сигнал  $D_R$  «пьеде-

стала» размахом 0,559 (или в сигнал  $D_B$  размахом 0,680), который в ходе ЧМ раздвигает нулевые уровни этих сигналов по шкале частот на  $10f_c=156,25$  кГц. Это может выполняться в узлах 3 или 4. Используют также кодеры с отдельными ЧМ генераторами и ограничителями в каждом канале.

Характеристика НЧ предискажений  $A_1(f) = \frac{1}{1 + jf/f_1} \cdot \frac{1}{1 + jf/3f_1}$ , где  $f_1=85$  кГц; она реализуется цепью (рис. 1.7.11, а), в которой  $(R+R_1)/R=3$ ,  $RC=1/2\pi f_1 \tau = \tau = 1,88$  мкс. Переходная характеристика этой цепи  $h(t) = 1 + 2\exp(-3t/\tau)$  создает 200%-ный выброс, спадающий с постоянной времени  $\tau/3=0,63$  мкс. С учетом сглаживающего действия ФНЧ выброс от предкоррекции составляет 160%. Допуск на суммарную

<sup>1</sup> Далее называются ГЦП типа 100/0/75/0.

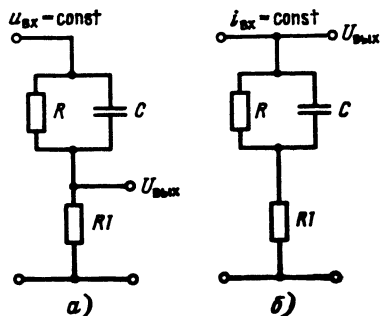


Рис. 1.7.11. Схемы цепей НЧ предуслаживаний (а) и коррекции (б) цветоразностных сигналов

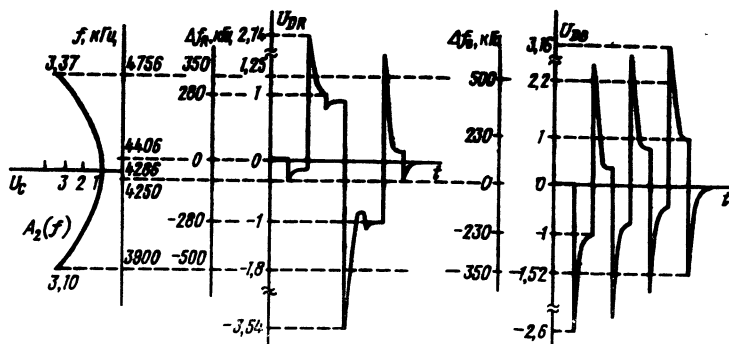


Рис. 1.7.12. Уровни модулирующих видеосигналов на шкале частот и характеристики ВЧ предуслаживаний

характеристику цепи предуслаживаний и ФНЧ составляет  $\pm 0,5$  дБ в полосе 0,1...0,5 МГц и  $\pm 1$  дБ в полосе 0,5...1,3 МГц; общее затухание на частоте 3,5 МГц не менее 30 дБ. Таблица ординат характеристики  $A_1(f)$  приведена в [1.7.2, с. 55]. Номинальные значения частот  $f_{0B}$  приняты равными  $f_{0B} = 272 f_c = 4,25$  МГц,  $f_{0R} = 282 f_c = 4,40625$  МГц с допуском  $\pm 2$  кГц. Разные значения частот выбраны для того, чтобы несколько улучшить помехоустойчивость системы — расположить частоты, которыми передается наиболее критичный к проявлению шумов красный цвет в сигнале, как  $D_R$ , так и  $D_B$ , в области минимума кривой ВЧ коррекции.

Номинальное значение девиации частоты, достигаемое при  $D_R = 1$ , принято равным 280 кГц, а при  $D_B = 1$  — равным 230 кГц с допусками  $\pm 9$  и  $\pm 7$  кГц соответственно. Максимальная девиация частоты установлена на уровнях  $-350$  и  $+506$  кГц для  $f_{0B}$  и  $-506$ ,  $+350$  кГц для  $f_{0R}$ , так что области девиации для обеих поднесущих совпадают. Расположение видеосигналов  $D_R$ ,  $D_B$  на шкале частот модуляции и вводное при этом ограничение выбросов показано на рис. 1.7.12 (для сигналов ГЦП 100/0/75/0). Характеристика ВЧ предуслаживания:  $A_2(f) = |(1 + j16F)/(1 + j1,26F)|$ , где  $F = (f/f_0) - (f_0/f)$ ,  $f_0 = 4286$  кГц (с допуском  $\pm 20$  кГц). Допуск на амплитуду  $A_2(f)$  составляет  $\pm 0,5$  дБ, кроме точки с частотой  $f_0$ . Эта характеристика реализуется цепью (рис. 1.7.13, а), которая имеет коэффициент передачи  $A(f) = \alpha(1 + jQF)/(1 + j\alpha QF)$ , где  $\alpha = R_1/(R + R_1)$ ,  $Q = 2\pi f_0 L/R_1 = 1/2\pi f_0 C R_1$ , при значениях  $Q = 16$ ,  $\alpha = 1,26/16 = 0,0787$ ,  $R/R_1 = 11,7$ . Благодаря ВЧ предуслаживанию сигнал цветности приобретает АМ: его размах на частоте  $f_0 = 4286$  кГц, т. е. в минимуме кривой  $A_2(f)$ , принят равным 0,23 (для  $U_Y' = 1$ ) и возрастает до 0,71 и 0,77 на максимальных частотах девиации; это видно из рис. 1.7.12, где слева показана кривая  $A_2(f)$ . Таблица ординат кривой  $A_2(f)$  приведена в [1.7.2]. Размах и частоты сигнала цветности при передаче сигналов ГЦП 100/0/75/0 даны в табл. 1.7.8. Красные и синие строки чередуются непрерывно от кадра к кадру, включая и пассивные строки полей. Поэтому полный

цветовой кадр состоит из двух кадров (четырех полей); первым считается тот, в котором нечетные строки красные; во втором нечетные строки синие. Этот цикл необходимо учитывать при видеомонтаже ТВ программ; информацию о нем передает сигнал полустроочной частоты (меандр, положительные импульсы которого совпадают с красными строками), подаваемый от общего источника на все кодеры студии. С учетом чередования начальных фаз поднесущей в строках и полях, которое завершается за шесть полей, полный цикл формирования цветного кадра СЕКАМ составляет 12 полей, как показано в табл. 1.7.9. Однако согласовывать фазы поднесущих при видеомонтаже, в отличие от систем НТСЦ и ПАЛ, здесь не требуется, так как единичный сбой в их последовательности практически никак не сказыв-

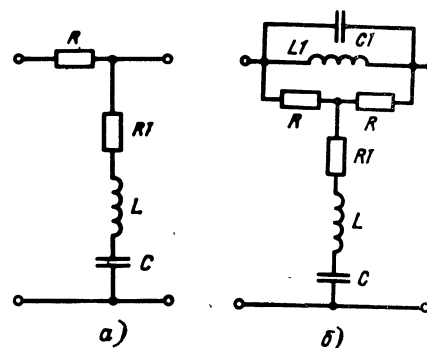


Рис. 1.7.13. Схемы цепей ВЧ предуслаживаний (а) и коррекции (б) сигнала цветности

вается; поэтому информация о начале 12-полевого цикла не передается.

Сигналы цветовой синхронизации (СЦС) передаются в интервалах полей гашения: в строках 7—15 и 320—328, т. е. группами по девять импульсов в поле. Исходные импульсы (рис. 1.7.14), введенные в сигналы  $D_R$  и  $D_B$ , коммутируются через строку, ограничиваются, как и выбросы, на уровнях максимальных девиаций и модулируют поднесущие, образуя СЦС. Из-за чередования красной и синей строк форма СЦС в первом и втором кадрах полного цветного кадра несколько различается. Режекторный фильтр 1 декодера СЕКАМ (рис. 1.7.15) выделяет сигнал яркости, подавляя основную часть спектра сигнала цветности (типичное значение глубины режекции составляет 20 дБ на частотах поднесущих); линия задержки 2 компенсирует разницу между задержками в сигналах яркости и цветности. Фильтр ВЧ коррекции 3 («колокольный») выделяет сигнал цветности, одновременно компенсируя внесенные в кодере ВЧ предуслаживания и тем самым существенно

Таблица 1.7.8. Параметры испытательных сигналов цветных полос в системе СЕКАМ

Параметр	Цвет						
	Белый (Черный)	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий
$U_R'$ , отн. ед.	1 (0)	0,75	0	0	0,75	0,75	0
$U_G'$ , отн. ед.	1 (0)	0,75	0,75	0,75	0	0	0
$U_B'$ , отн. ед.	1 (0)	0	0,75	0	0,75	0	0,75
$U_Y'$ , отн. ед.	1 (0)	0,6645	0,5258	0,4402	0,3098	0,2242	0,0855
$U_{R-Y}$ , отн. ед.	0	0,0855	-0,5258	-0,4402	0,4402	0,5258	-0,0855
$U_{B-Y}$ , отн. ед.	0	-0,6645	0,2242	-0,4402	0,4402	-0,2242	0,6645
$D_R$ , отн. ед.	0	-0,1626	1	0,8373	-0,8373	-1	0,1626
$D_B$ , отн. ед.	0	-1	0,3374	-0,6625	0,6625	-0,3374	1
$\Delta f_R$ , кГц	0	-46	280	234	-234	-280	46
$\Delta f_B$ , кГц	0	-230	78	-152	152	-78	230
$f_R$ , кГц	4406	4360	4686	4640	4172	4126	4452
$f_B$ , кГц	4230	4020	4328	4098	4402	4172	4480
$U_{cR}$ , мВ	214	183	476	431	212	253	252
$U_{cB}$ , мВ	167	363	169	280	211	212	278

Примечания: 1.  $\Delta f(RB)$  и  $f_R(B)$  — девиация и частота сигнала цветности в красной (синей) строке (установившееся значение после окончания выброса). 2.  $U_c$  — "В" — размахи сигнала цветности (установившиеся значения) для  $U_Y = 700$  мВ от уровня гашения до уровня белого. 3. Максимальный уровень композитного сигнала  $U_n = U_Y + U_c$  составляет 807 мВ (на белом в красной строке), или 1,15 для  $U_Y = 1$ .

Таблица 1.7.9. Чередование красных и синих строк и начальных фаз поднесущей

Номер поля	Номер строки в поле							
	1	2	3	4	5	...	312	313
1	0 R	0 B	$\pi$ R	0 B	0 R	...	$\pi$ B	0 R
2	$\pi$ B	0 R	$\pi$ B	$\pi$ R	0 B	...	$\pi$ R	—
3	0 B	$\pi$ R	0 B	0 R	$\pi$ B	...	0 R	0 B
4	0 R	$\pi$ B	$\pi$ R	0 B	$\pi$ R	...	$\pi$ B	—
5	$\pi$ R	0 B	0 R	$\pi$ B	0 R	...	0 B	$\pi$ R
6	$\pi$ B	$\pi$ R	0 B	$\pi$ R	$\pi$ B	...	0 R	—

Примечания: 1. В 7—12 полях фазы повторяются, а индексы R и B меняются местами, 2. В нечетных полях считается по 313 строк, в четных — по 312. 3. Скобкой выделен трехстрочный цикл чередования фазы.

повышая ОСШ (на 8 дБ для гладких шумов тракта). Ограничитель 4 устраняет остаточную АМ поднесущей и подает сигнал цветности в прямой и задержанный каналы. Канал задержки 5 включает в себя линию задержки на строку и согласующие усилители на ее входе и выходе, сквозное усиление канала равно единице (затухание в ЛЗ 10...20 дБ, а допуск на время задержки линии примерно 150 нс). С коммутатора 6 разделенные поднесущие красных и синих строк поступают на дискриминаторы 7 (можно располагать коммутатор и после дискриминаторов). Фильтры НЧ коррекции 8 компенсируют НЧ предискажения и дополнительно подавляют шум, так что треугольный спектр шумов, присущий каналу с ЧМ, превращается в почти гладкий (схемы цепей, точно реализующих характеристики НЧ и ВЧ коррекции, см. на рис. 1.7.11, б и 1.7.13, б). Матрица 9 формирует сигнал  $U_{G-Y}$ , и три цветоразностных сигнала подаются на модуляторы цветного кинескопа (яркостный сигнал подается на ка-

тод). Можно использовать дополнительную матрицу для получения сигналов  $U_R'$ ,  $U_G'$ ,  $U_B'$ . С выхода одного из дискриминаторов с помощью ключа 10, открываемого полевыми импульсами, снимается СЦС, подаваемый далее на блок цветовой синхронизации 11. Последний устанавливает правильную фазу симметричного триггера 12, управляющего коммутатором, а также (через узлы 12 и 6) запирает канал цветности при отсутствии сигналов ЦС (прием ЧБ сигнала или потеря сигнала цветности в тракте передачи).

Во всех вновь разрабатываемых телевизорах, мониторах и декодерах СЕКАМ цветовая синхронизация ведется не по сигналам СЦС, передаваемым на девяти строках каждого поля, а по начальным участкам сигнала цветности каждой строки, расположенным на заданном уступе строчного гасящего импульса. Это позволяет в дальнейшем отказаться от передачи СЦС и освободить строки 7—15 и 320—328 для передачи дополнительной информации, например сигналов телетекста.



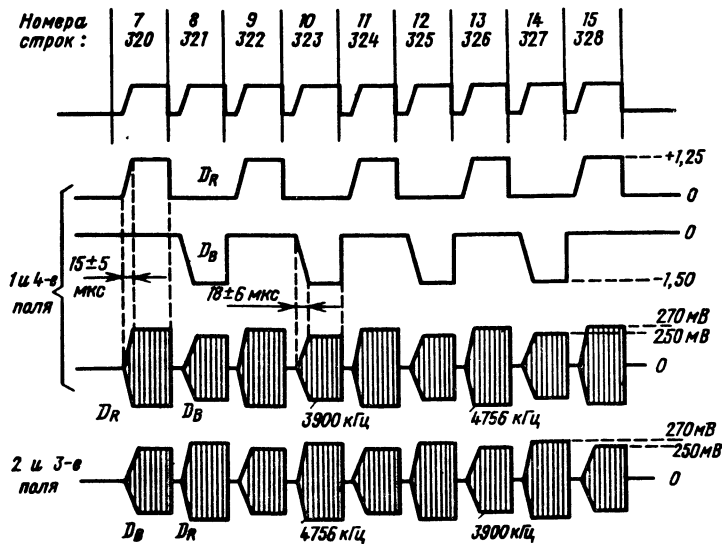


Рис. 1.7.14. Сигналы цветовой синхронизации (ЦС)

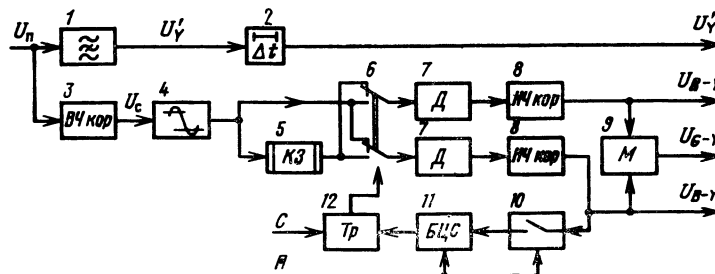


Рис. 1.7.15. Структурная схема декодера SECAM

**1.7.4. Система НТСЦ<sup>1</sup>.** В системе НТСЦ сигнал цветности образуется путем квадратурной модуляции цветовой поднесущей двумя цветоразностными сигналами. Квадратурная модуляция — это амплитудная балансная модуляция двух сдвинутых на 90° составляющих одной поднесущей (каждая своим сигналом) и сложение их в единый сигнал (рис. 1.7.16, а). Результирующий сигнал приобретает амплитудную и фазовую модуляции:

$$U_c = U_1 \cos \omega t + U_2 \sin \omega t = U_{cm} \sin(\omega t + \varphi_c),$$

где  $U_{cm} = (U_1^2 + U_2^2)^{1/2}$ ,  $\varphi_c = \arctg U_1/U_2$ .

Сигналы в приемнике разделяют путем *синхронного детектирования* — умножения принятого колебания  $U_c$  на синусоиду той же частоты, фаза которой совпадает с фазой полезной составляющей, и НЧ фильтрации продуктов умножения:  $U_c \cos \omega t = U_1 \cos^2 \omega t + U_2 \sin \omega t \cos \omega t \rightarrow U_1$ ,  $U_c \sin \omega t = U_1 \sin \omega t \cos \omega t + U_2 \sin^2 \omega t \rightarrow U_2$  (результаты справа от стрелки даны с учетом НЧ фильтрации). Синхронный детектор выполняет операцию проецирования вектора  $U_c$  на вектор опорной поднесущей, так что мешающий сигнал, ортогональный последнему, подавляется. Информацию об опорной фазе модуляции передают пакетом колебаний поднесущей частоты (вспышкой), расположенным в интервалах гашения по строкам (см. рис. 1.7.1, б). Фазовая ошибка опорной поднесущей  $\delta$  вызывает перекрестные искажения сигналов  $U_1$  и  $U_2$  со значением  $\text{tg} \delta$ . Для квадратурной модуляции требуется двухполосная передача поднесущей, так как только симметрия верхней и нижней боковых частот модуляции обеспечивает фиксированное фазовое положение составляющих поднесущей (рис. 1.7.16, а). При

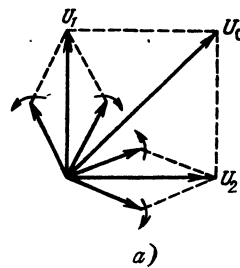
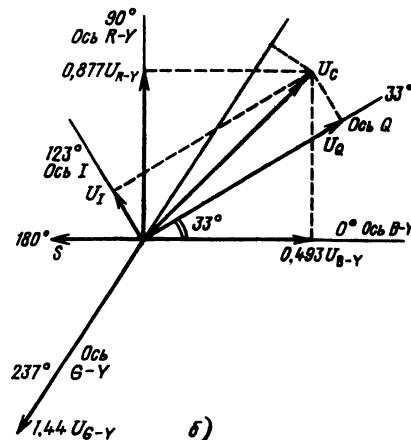
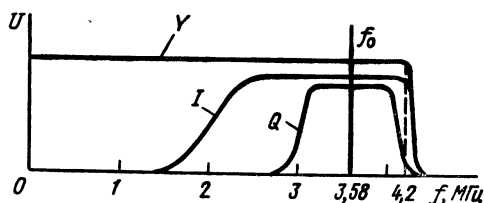


Рис. 1.7.16. Векторные диаграммы сигнала с квадратурной модуляцией



<sup>1</sup> NTSC — National Television System Committee (англ.) — Национальный комитет по ТВ системам США. Система разработана в США в 1950—1953 гг.

При разработке системы НТСЦ было экспериментально установлено, что разрешающая способность зрения максимальна в оранжево-голубых цветах, т. е. вдоль линии, соответствующей углу  $123^\circ$  на рис. 1.7.17. Поэтому было решено передавать один цветоразностный сигнал ( $U_I$ ) в более широкой полосе частот, расположив его ось под углом  $123^\circ$ , а второй ( $U_Q$ ) — в более узкой, расположив его ось ортогонально оси  $I$ . Система векторов  $I$ ,  $Q$  оказалась сдвинутой на  $33^\circ$  относительно систем  $R-Y$ ,  $B-Y$  (рис. 1.7.16, 6); следовательно,  $U_I = 0,877 U_{R-Y} \cos 33^\circ - 0,493 U_{B-Y} \sin 33^\circ$ ,  $U_Q = 0,877 \times U_{R-Y} \sin 33^\circ - 0,493 U_{B-Y} \cos 33^\circ$ , что и приводит к (1.7.3). Сигнал  $U_I$  имеет полосу частот 1,2 МГц, сигнал  $U_Q - 0,5$  МГц. Сигнал цветности передается с частично подавленной верхней боковой полосой (рис. 1.7.18), так



что квадратурная модуляция действует лишь до частот не выше 0,6 МГц, где сохраняется симметрия боковых полос. В этой полосе сигнал цветности  $U_c = U_{Q\sin(\omega_0 t + 33^\circ)} + U_{I\cos(\omega_0 t + 33^\circ)}$ , либо  $U_c = 0,493 U_{B-\gamma\sin\omega_0 t} + 0,877 U_{R-\gamma\cos\omega_0 t}$ . В полосе частот выше 0,6 МГц передается и принимается лишь сигнал  $U_I$ . Ключ 8 кодера и декодера НТСЦ (рис. 1.7.19), отпираемый им-

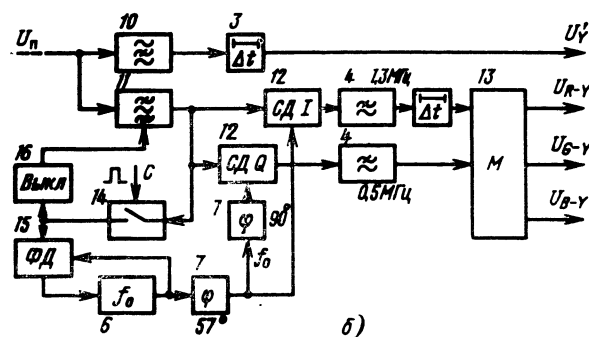
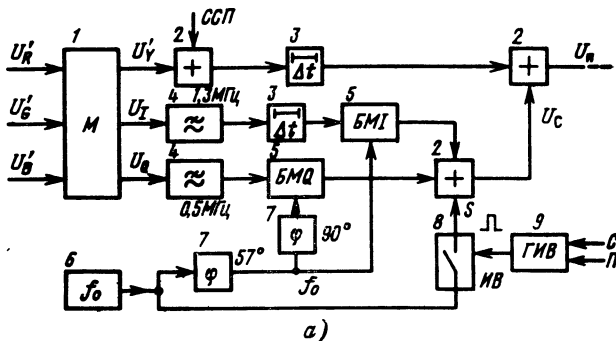


Рис. 1.7.19. Структурные схемы кодера *a* и декодера *б* системы НТСС: 1 — прямая матрица, 2 — суммирующая, 3 — задержки, 4 — фильтр нижних частот, 5 — балансный мультимплексор, 6 — генератор поднесущей, 7 — фазосдвигающая цепочка, 8 — ключевая схема, 9 — генератор импульсов вспыхива, 10 — режекторный фильтр, 11 — полосовой фильтр, 12 — синхронный детектор, 13 — обратная матрица, 14 — стробирующая схема, 15 — фазовый детектор, 16 — выключатель канала цветности

пульсом вспышки ИВ, формирует опорную вспышку; в полевых интервалах гашения этот импульс не передается — генератор ИВ 9 запирается импульсами полей. В декодере ключ 14, отпираемый импульсами из цепи строчной развертки, выделяет вспышку, а фазовый детектор 15 сравнивает ее с фазой местного кварцевого генератора и осуществляет ФАПЧ поднесущей. При отсутствии вспышки выключатель канала цветности 16 запирает усилитель в цепи полосового фильтра либо другим способом выключает канал во избежание помех приему ЧБ ТВ программ. Возможен вариант декодера с демодуляцией сигналов  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ ; в нем исключены цепь сдвига фазы на  $57^\circ$  и ЛЗ в канале I, а фильтры 4 в обоих каналах имеют полосу до 0,6 МГц. Возможен также вариант, где сигнал  $U_{G-Y}$  получается не с матрицы, а с отдельного синхронного детектора, опорная фаза которого равна  $237^\circ$  — ось демодуляции  $G-Y$  показана на векторной диаграмме рис. 1.7.16.6. Частота поднесущей НТСЦ принята равной  $f_0 =$

60

Таблица 1.7.10. Параметры сигнала цветности при передаче ГЦП 100/0/75/0 (значения сигналов основных цветов — те же, что в табл. 1.7.8)

Параметр	Желтый	Голубой	Зеленый	Пурпурный	Красный	Синий
$U_{\Psi'}$	0,6645	0,5258	0,4402	0,3098	0,2242	0,0855
$0,877 U_{R-Y}$	0,0750	-0,4611	-0,3861	0,3861	0,4611	-0,0750
$0,493 U_{B-Y}$	-0,3276	0,1105	-0,2170	0,2170	-0,1105	0,3276
$U_I$	0,243	-0,450	-0,207	0,207	0,450	-0,243
$U_Q$	-0,231	-0,160	-0,392	0,392	0,160	0,231
$U_{cm}$	0,336	0,474	0,443	0,443	0,474	0,336
$\Phi_c$ , град.	167	283,5	240,5	60,5	103,5	347
$\Phi_c$ пал, град.	193	76,5	119,5	299,5	256,5	13

офсете составляет четыре поля, поэтому полный цветной кадр в системе НТСЦ состоит из четырех полей; первым считается то, в котором первый уравнивающий импульс отстоит от предыдущего строчного синхримпульса на целую строку, и с моментом середины его фронта совпадает момент перехода через нуль спадающей полуволны опорной поднесущей. Для обеспечения правильного видеомонтажа опорная поднесущая должна иметь переходы через нуль, совпадающие во времени с серединами фронтов всех строчных синхримпульсов.

Значение  $U_{cm}$  в табл. 1.7.10.

1.7.5. Система ПАЛ<sup>1</sup> — вариант системы НТСЦ, в которой фаза одной из квадратурных составляющих поднесущей (вектора  $U_{R-Y}$ ) изменяется от строки к строке на  $180^\circ$ , а частота цветовой поднесущей имеет не полустрочный, а четвертьстрочный офсет. Фаза чередуется для подавления дифференциально-фазовых и фазочастотных искажений сигнала цветности; полустрочный офсет при этом непригоден, так как указанное чередование фазы фактически ликвидирует его для составляющей  $U_{R-Y}$ . Модулирующие сигналы здесь те же, что в НТСЦ в полосе частот до 0,6 МГц, и обозначаются  $U=0,493U_{B-Y}$ ,  $V=0,877U_{R-Y}$ . Вектор сигнала цветности в одной строке такой же, как в НТСЦ,  $U_c=U+jV$ , а в следующей он комплексно сопряженный  $U_c=U-jV$  (рис. 1.7.20). Поэтому направление поворота фаз на одних и тех же цветовых переходах от строки к строке меняется на обратное; фазовые искажения в одной строке увеличивают фазу вектора цветности, а в следующей уменьшают ее на то же зна-

чение, так что вызванные ими искажения цветового тона в соседних строках и кадрах направлены встречно и компенсируют друг друга. Компенсация достигается суммированием сигналов соседних строк, для чего в приемнике используют линию задержки на время строки; в наиболее простых из них это достигается и без суммирования, путем усреднения соседних строк и кадров зрением наблюдателя. Фаза опорной вспышки  $S$  от строки к строке изменяется на  $90^\circ$ , занимая положение  $+135^\circ$  (в строке  $n$ , рис. 1.7.20) или  $-135^\circ$  (в строке  $n+1$ ); тем самым передается информация цветовой синхронизации. Сигналы  $U$  и  $V$  чередуются непрерывно во всех полях и кадрах, так что цикл составляет четыре поля; с учетом четырехкадрового цикла изменения фазы поднесущей при  $1/4$ -строчном офсете полный цветной кадр ПАЛ состоит из восьми полей, что необходимо учитывать при видеомонтаже во избежание паразитных скачков фазы. Первым полем считается то, в котором фаза  $\Phi_U$  компонента  $S_U$  вспышки в момент середины длительности фронта синхримпульса первой строки лежит в пределах  $-90^\circ \leq \Phi_U < 90^\circ$ . Вспышки гасятся в девяти строках на обратном ходу по полю, так, чтобы первая после гашения всегда имела фазу  $135^\circ$  (иначе в первых строках кадра восстановленная поднесущая может иметь небольшие сдвиги от кадра к кадру); для этого гасятся следующие строки в соответствующих полях:

1 и 5 поля . 623—6, 2 и 6 поля . 310—318,  
3 и 7 поля . 622—5, 4 и 8 поля . 311—319

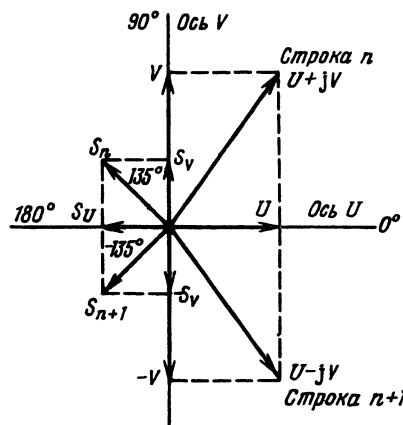


Рис. 1.7.20. Векторные диаграммы сигнала цветности ПАЛ в соседних строках:  $n$  — нечетные строки в 1, 2, 5 и 6-м полях и четные строки в 3, 4, 7 и 8-м полях полного кадра

<sup>1</sup> PAL — Phase Alternation Line (англ.) — чередование фазы по строкам. Система разработана в 1963—1965 гг. в ФРГ (фирма «Телефункен») под руководством В. Бруха.

На структурных схемах рис. 1.7.21 обозначения 1—16 те же, что на схеме рис. 1.7.19. Коммутатор 17, управляемый импульсами от симметричного триггера 18, переключает фазу поднесущей канала  $V$ . Балансные модуляторы 5 формируют квадратурные составляющие  $S_U$  и  $S_V$ . Импульсы ИВ суммируются с сигналами  $U$ ,  $V$  и в результате модуляции образуют компоненты вспышки  $S_U$  и  $S_V$  (рис. 1.7.20); их амплитуды одинаковы, благодаря чему достигается требуемое фазовое положение результирующей вспышки. Спектр боковых полос сигнала цветности  $U_c$  формируется полосовым фильтром 19. Форма композитного сигнала  $U_n$  на выходе кодера ПАЛ такая же, как в системе НТСЦ, поэтому справедливы данные табл. 1.7.10; фаза сигнала цветности  $\Phi_c$  в строках  $n$  такая же, как в НТСЦ, а в строках  $n+1$  показана отдельно в той же таблице.

Частота поднесущей, Гц, в системе ПАЛ для стандартов:

В, D, G, H, I (с допуском  $\pm 1$  Гц для стандарта I и  $\pm 5$  Гц для остальных) .  $f_0 = (1135/4 + 1/625)f_c = 4433618,75$   
N . . . . .  $f_0 = (917/4 \times 1/625)f_c = 3582056,25 \pm 5$   
M . . . . .  $f_0 = (909/4)f_c = 3575611,49 \pm 10$

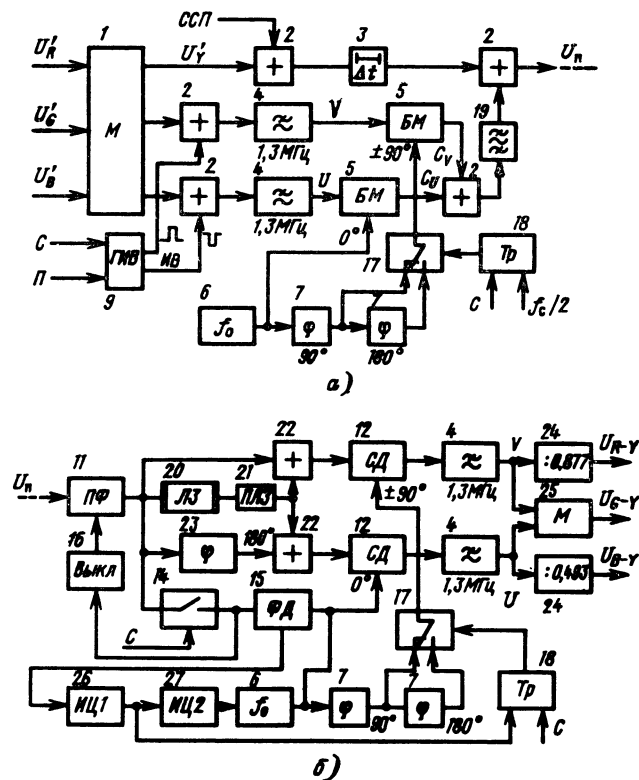


Рис. 1.7.21. Структурные схемы кодера *а* и блока цветности декодера *б* системы ПАЛ. Обозначения 1—16 — как на рис. 1.7.19

В отличие от СЕКАМ в системах ПАЛ и НТСЦ частота поднесущей должна быть исходной для синхрогенератора, поэтому ведомый режим в них осуществляется посредством ФАПЧ генератора  $f_0$  к частоте ведущего сигнала.

Декодер упрощенного телевизора ПАЛ (без линии задержки) отличается от декодера системы НТСЦ лишь коммутацией фазы опорной поднесущей на одном из СД на  $180^\circ$  от строки к строке. Схема декодера ПАЛ (см. рис. 1.7.21) представлена в основном варианте — с линией задержки на строку 20. Вместе с подстроечной линией 21 и усилителем (не показан) она образует канал задержки на интервал строки, точнее, на ближайшее к нему целое число полупериодов поднесущей 567 для стандартов В, Д, Г, Н, I. Задержка при этом составляет 63 943 нс с допуском  $\pm 5$  нс, так что должна использоваться высокостабильная стеклянная ЛЗ. Задержанный и незадержанный сигналы суммируются и вычитаются с помощью двух сумматоров 22 и фазоинвертора 23. Благодаря задержке на нечетное число полупериодов суммирование задержанного и незадержанного колебаний приводит к их вычитанию, в результате которого компонента  $U$  подавляется, а  $V$  выделяется с чередованием полярности; наоборот, вычитание приводит к их сложению, в результате которого подавляется компонента  $V$  и выделяется  $U$ . Таким образом, квадратурные составляющие разделяются с помощью задержки на строку еще до синхронных детекторов (СД) 12, что позволяет снизить требования к фазовой точности СД, которые остаются необходимыми из-за использования БМ. После аттенюатора 24 и матрицы задержки на строку стандартные сигналы  $U_R-Y$ ,  $U_B-Y$ ,  $U_G-Y$ . Знакопеременные импульсы обгоняющей вспышки, выделенные ФД, проходят через две интегрирующие цепи ИЦ 26 и 27; первая с постоянной времени  $\tau < T_c$  формирует из них

сигнал для управления симметричным триггером 18, задавая правильную полярность работы коммутатора 17 в цепи поднесущей канала  $V$ . Вторая ИС с  $\tau \gg T_c$  сглаживает знакопеременные импульсы, сохраняя среднюю составляющую, вызванную уходом частоты  $f_0$ . Так как составляющие  $C_U$  и  $C_V$  разделяются до СД, то сохранять симметрию боковых полос поднесущей, как в системе НТСЦ, здесь не обязательно. Поскольку из-за сложения соседних строк время передачи отсчетов одной строки удваивается, то согласно теореме отсчетов полоса частот в канале связи может быть сокращена в 2 раза. Поэтому во всех стандартах, кроме Д/ПАЛ, верхняя боковая полоса поднесущей ограничивается до значений:

Стандарт	В, Г, Н	I	М	N
Полоса частот, МГц	0,57	1,066	0,6	0,62

Нижняя боковая полоса во всех стандартах равна 1,3 МГц, и видеосигналы  $U$  и  $V$  в декодерах выделяются с полной полосой 1,3 МГц.

Поскольку на выходах сумматоров 22 квадратурные составляющие разделены, они имеют фиксированные фазы и могут использоваться для подстройки частоты местного генератора в течение активных частей строки и кадра. Это позволяет вместо кварцевого генератора частоты  $f_0$  использовать малоинерционный генератор с широкой полосой захвата. В таком варианте декодера (рис. 1.7.22, *а*) ключи 14 выделяют составляющие вспышки  $S_U$  и  $S_V$  отдельно в каждом канале, а ключи 28 в эти моменты подавляют их в сигналах, идущих на СД. Сигналы  $C_U$  и  $C_V$  с выходов сумматоров проходят через удвоители частоты 29 для устранения поворотов фазы на  $180^\circ$ , присущих БМ. На ведение генератора 6 подается сумма этих сигналов и вспышки  $S_U$ , петля ФАПЧ здесь отсутствует. Возможен и вари-

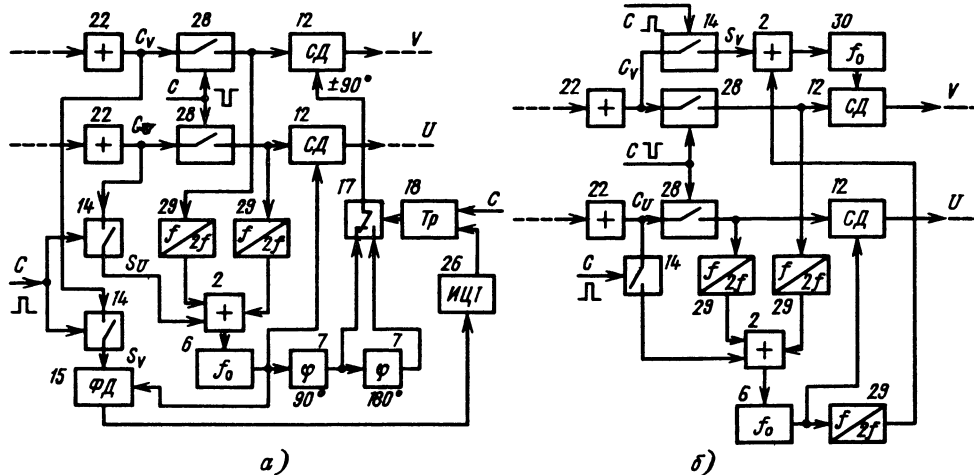


Рис. 1.7.22. Структурные схемы цепей выделения поднесущей с безынерционным генератором  $f_0$  (обозначения 28—30 в тексте, остальные — как на рис. 1.7.21); а — с одним генератором; б — с двумя генераторами

ант декодера (рис. 1.7.22, б), в котором исключен коммутатор поднесущей 17 и управляющие им узлы 18, 26 и 15. В этом случае в канале V используется отдельный генератор поднесущей 30, фаза которого, управляемая знакопеременной составляющей  $S_V$  и второй гармоникой поднесущей  $f_0$ , меняется на  $180^\circ$  от строки к строке. В зависимости от технико-экономических требований к декодеру может использоваться тот или иной вариант его построения. Линия задержки на строку совместно с сумматорами образует два гребенчатых фильтра, АЧХ которых сдвинуты на значения  $f_c/2$  (рис. 1.7.23). В канале V, где задержанный и незадержанный сигналы частоты  $f_0$  вычитаются, на этой частоте АЧХ имеет узел; в канале U, где они складываются, на этой частоте пучность. Строчные гармоники спектра составляющей  $C_V$  из-за коммутации фазы на  $180^\circ$  от строки к строке оказываются сдвинутыми относительно гармоник спектра  $C_U$  на частоту  $f_c/2$  (см. п. 1.7.2 и рис. 1.7.23). Поэтому АЧХ в канале V подавляет составляющую  $C_U$ , а АЧХ в канале U — составляющую  $C_V$ , что поясняет работу узлов 20—23 декодера с точки зрения спектральных представлений. Видно также, что гармоники спектра яркостного сигнала ослабляются до уровня 0,7; это уменьшает перекрестные искажения яркость—цветность.

#### Список литературы

- 1.7.1. МККР. Отч. 624—3. Характеристики телевизионных систем. (В книгах: Recommendation and Reports of the CCIR 1986, XVI Plenary Assembly, Dubrovnik, 1986.— Vol. XI.— P. 1—31; CCIR. Conclusions of the Intern Meeting of Study Group 11, Geneva, 2—18 November 1987.— Part 1.— P. 1—5).
- 1.7.2. Новаковский С. В. Стандартные системы цветного телевидения.— М.: Связь, 1976.— 386 с.
- 1.7.3. Певзнер Б. М. Системы цветного телевидения.— Л.: Энергия, 1969.— 231 с.

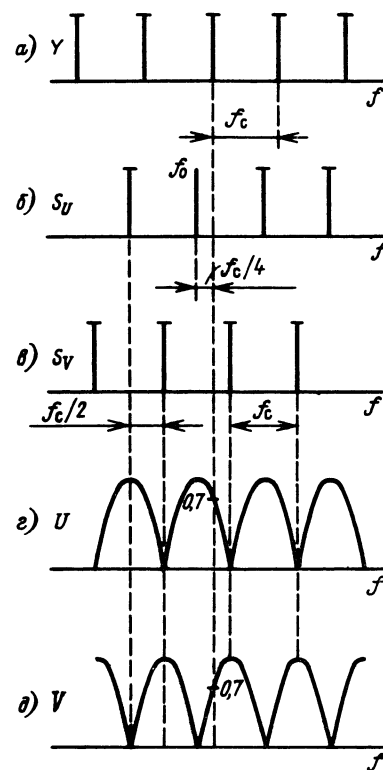


Рис. 1.7.23. К объяснению гребенчатой фильтрации составляющих  $C_U$  и  $C_V$ : а, б, в — строчные гармоники сигналов  $Y$ ,  $C_U$  и  $C_V$ , г, д — АЧХ фильтрации в каналах U и V

## ЧАСТЬ 2.

# ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

## 2.1. Телевизионный сигнал и его свойства

### 2.1.1. Формирование полного ТВ сигнала (ПТВС).

В передающей ТВ трубке, находящейся в датчике или телекамере ТВС, формируется электрический сигнал, уровни составляющих которого соответствуют уровням освещенности элементов изображения, расположенных вдоль линии развертки (строки). Его называют **исходным сигналом яркости или видеосигналом**, (рис. 2.1.1). Минимально достижимые уровни видеосигнала

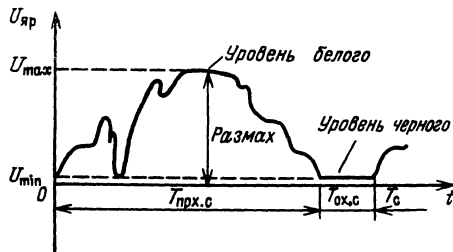


Рис. 2.1.1. График сигнала яркости на интервале длительности одной строки

$U_{\min}$ , соответствующие неосвещенным (черным) местам изображения, называют **уровнем черного**. Независимо от содержания уровень сигнала в изображении ТВ передающих трубка принимает значение уровня черного во время обратного хода луча трубки по строке  $T_{ох.с}$ . Максимальное значение соответствует самым освещенным (белым) местам изображения и называется **уровнем белого**. Напряжение видеосигнала может меняться от минимального — **уровня черного** до уровня белого, которые и определяют его максимальный размах  $\Delta U_{в.с} = U_{\max} - U_{\min}$ . Поскольку световой поток унipoлярен, то и видеосигнал унipoлярен. Полярность исходного сигнала яркости положительна, если увеличению энергии светового потока (освещенности фотослоя передающей трубки) соответствует адекватное увеличение уровня сигнала. В противном случае она отрицательна (негативна). Несмотря на то, что видеосигнал содержит всю информацию об изображении объекта наблюдения, передавать его на приемник нельзя. Условие синхронности и синфазности строчной и кадровой разверток с одноименными развертками датчика (телекамеры) требует одновременной отправки с сигналом яркости синхронизирующих сигналов. Чтобы точно разместить сигнал яркости в пределах модуляционной характеристики кинескопа и гашения обратного хода его лучей, необходимо формировать более точное значение уровня черного во время обратного хода разверток и передачи импульсов гашения.

В вещательной ТВС датчик и приемник соединены одним каналом связи, например от телецентра до телевизора. В основу построения вещательной ТВС по-

ложен принцип максимального упрощения устройства телевизора при усложнении оборудования телецентра. Это позволяет передавать по одному каналу связи сигналы яркости, цветности и служебной информации, т. е. сигналы гашения луча кинескопа, синхронизации разверток и декодирующих устройств телевизора, а также дополнительной информации телетекста, с помощью которой можно по экрану телевизора читать книги, газеты, журналы, справочные сводки. В вещательной ТВС принят принцип передачи сигналов гашения, синхронизации и дополнительной информации телетекста во время обратных ходов разверток на уровнях ниже уровня черного, т. е. сочетаются методы временного разделения сигналов и выделения для них динамических диапазонов электрического канала связи. Это резко снижает степень взаимного влияния сигналов и облегчает их разделение в телевизоре. В устройстве обработки сигналов ТВС обобщенной схемы формируются ПТВС черно-белого или цветного изображения, которые включают в себя сигналы яркости, цветности, гашения и синхронизирующие импульсы (в том числе и цветовой синхронизации). В них могут быть включены дополнительные сигналы. Полный ТВ сигнал (рис. 2.1.1.) можно формировать в три этапа: сначала в сигнале яркости  $U_{яp}$  устанавливают номинальный уровень черного (рис. 2.1.2, а), затем во времена обратных ходов по строкам и кадрам в сигнал яркости вставляют гасящие импульсы, следующие с частотами строк и

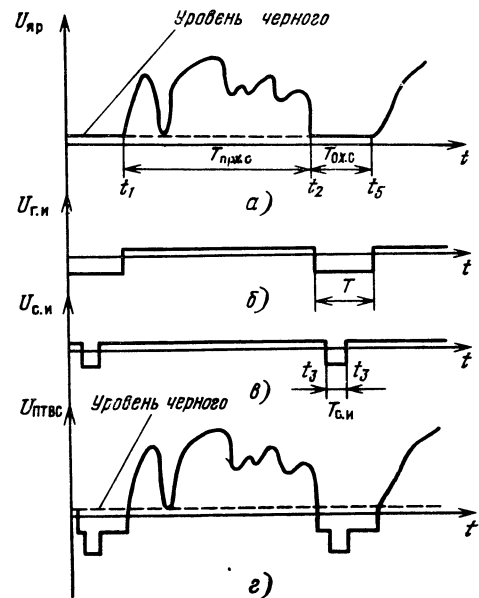


Рис. 2.1.2. К формированию полного ТВ сигнала (ПТВС)

кадров, далее на гасящих импульсах, как на пьедесталах, устанавливают синхронизирующие импульсы (рис. 2.1.2, в), а также сигналы цветовой синхронизации (на рисунке не показаны), т. е. формирование напряжения  $U_{ПТВС}$  сводится к суммированию в определенных ГОСТом пропорциях уровней трех компонент — сигналов яркости (цветности), гашения и синхронизации.

В формирователе ПТВС (рис. 2.1.3) транзисторы VT1 и VT2 включены по схеме эмиттерных повторителей и работают в линейных режимах. Транзисторы VT2—VT4 работают в ключевом режиме, воздействуя на изменение сопротивления коллекторно-эмиттерных переходов от максимальных значений до близких к нулю. Благодаря этому они могут шунтировать соответственно резисторы R2, R11 ( $R_{10}+R_{11}$ ), что, в свою очередь, изменяет положение рабочих точек на характеристиках транзисторов VT1 и VT2. Сигнал яркости положительной полярности с установленным уровнем черного  $U_{Яр}$  (см. рис. 2.1.2, а) поступает с входа 1 через R1 на базу

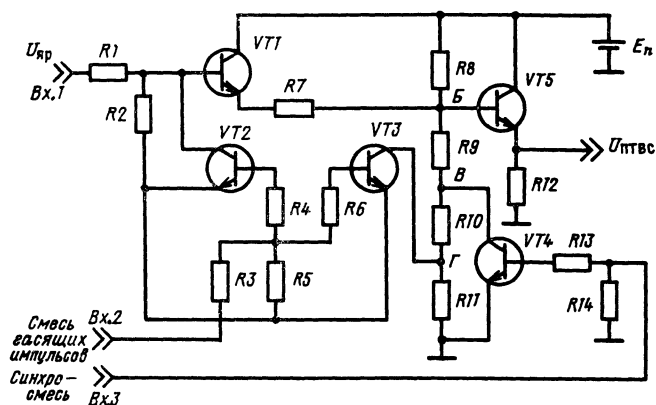


Рис. 2.1.3. Принципиальная схема формирователя ПТВС

VT1, далее через R7 на базу VT5 и с резистора R12 эмиттерной нагрузки VT5 на выход формирователя. В течение прямого хода строчной развертки от  $t_1$  до  $t_2$  транзисторы VT2—VT4 находятся в режиме отсечки и обеспечивают исходные рабочие точки линейных режимов транзисторов VT1 и VT2. Сумма гасящих импульсов, аналогичных  $U_{г.л}$  (см. рис. 2.1.2, в), но положительной полярности, размахом в 2 В подается через ВХ.2 в базы транзисторов VT2 и VT3. За время  $t_2$ — $t_5$  транзистор VT2 шунтирует вход VT1 (потенциал в точке А близок к нулю), переводит его в режим отсечки, препятствуя прохождению помех и шумов сигнала яркости за время обратного хода разверток (очистка интервала обратного хода). На этом же интервале транзистор VT3 под действием сигналов гашения переходит в режим насыщения, шунтирует резистор R11 и понижает потенциал в точке Б на 0,05 В относительно установленного уровня черного сигнала яркости. Тем самым формируется номинальный уровень гашения ПТВС за весь интервал обратного хода разверток. На вход 3 подается сигнал синхросмеси приемников (см. рис. 2.1.2, в), но положительной полярности с амплитудой 2 В. Под его действием на интервале  $t_3$ — $t_4$  транзистор VT4 перейдет в режим насыщения, зашунтирует резисторы R10 и R11 и понизит потенциал точки Б еще на 0,3 В. Потенциал точки Г также понизится практически на то же значение. В результате на резисторе R12 будет сформировано напряжение ПТВС с заданным соотношением между его составляющими. Аналогично тому, как описано здесь, за период строки он формируется и на интервале обратного хода по полю (кадру).

В студийной аппаратуре вещательной ТВС ПТВС формируется позитивно на разных участках. Например, в аппаратуре «Перспектива» гасящие сигналы замешивают

в видеосигнал в блоке камерного канала, а синхросмесь приемника и синхросигналы цвета — в кодирующее устройство. Предусмотрена возможность полной замены всей синхросмеси в выходных усилителях перед подачей ПТВС в электрический канал связи. При использовании в ТВС телетекста и передачи дополнительной информации совместно с сигналом яркости на интервалах обратного хода строчных и кадровых разверток в ПТВС замешивают сигналы дополнительной информации. Для этого их надо подать на Вх.3 совместно с сигналами синхросмеси приемников.

**2.1.2. Уровни ПТВС.** Каждая компонента ПТВС (рис. 2.1.4) имеет определенный уровень. В приведенном примере максимальный уровень ПТВС положительной полярности 0,7 В соответствует передаче информации о максимально освещенных участках изображения и называют *номинальным уровнем белого*. Минимальный за время прямого хода развертки уровень яркостного сигнала 0,05 В, соответствующий информации о не-

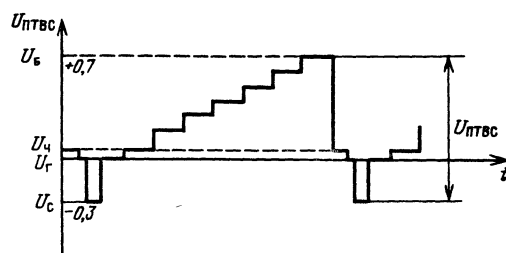


Рис. 2.1.4. График уровней ПТВС на периоде строчной развертки при передаче изображений градиационного клина

освещенных участках изображения, называют *уровнем черного*. Между этими значениями уровней, определяющими размах амплитуды в 0,65 В, размещены остальные уровни сигналов яркости, несущие видеoinформацию об освещенности во всех точках передаваемого изображения. В зависимости от свойств конкретного объекта наблюдения и его освещенности номинальные уровни сигнала яркости могут и не достигаться. При малоконтрастных хорошо освещенных объектах уровни сигналов яркости располагаются в диапазоне 0,3...0,6 В, при недостаточном освещении 0,1...0,4 В. Только при передаче контрастных хорошо освещенных объектов наблюдения уровни сигнала яркости достигают номинальных значений  $U_ч = +0,05$  и  $U_б = +0,7$  В, соответствующих уровням черного и белого. При этом динамический диапазон сигнала яркости максимален.

Форма сигнала яркости связана с изменением освещенности элементов изображения, расположенных вдоль строки развертки. Так, при равной освещенности нескольких соседних элементов уровень сигнала яркости неизменен, и, таким образом, образуются плоские участки сигнала (горизонтальные ступеньки сигнала градиационного клина, см. на рис. 2.1.4). При разных уровнях освещенности соседних элементов изображения, т. е. наличии контраста между ними, сигнал яркости резко меняется по амплитуде (вертикали ступенек сигнала градиационного клина). Поэтому фронты сигнала яркости несут информацию о переходах освещенности на объекте наблюдения в сторону ее увеличения, а срезы — в сторону ее уменьшения. Уровень расположения вершин гасящих импульсов, называемый *номинальным уровнем гашения*, в ПТВС соответствует нулю, а их амплитуда (разность уровней гашения и черного) равна 0,05 В. Это составляет 7% положительной части ПТВС, но вполне

достаточно при правильных селекциях сигналов в телевизоре и размещении сигнала яркости на модуляционной характеристике кинескопа для обеспечения гашения луча кинескопа во время обратного хода разверток.

**Номинальный уровень синхронизирующих импульсов** 0,3 В и является минимально разрешенным в ПТВС. Никакие другие сигналы, вставляемые в ПТВС на задних уступах гасящих импульсов (после синхронимпульсов), не должны превышать этот уровень. В современных вещательных ТВС к таким сигналам относят вспышку сигналов частот немодулированных цветowych несущих, сигналы цветовой синхронизации, двойные сигналы телетекста, цифровые сигналы звукового сопровождения, испытательные сигналы и т. п. Уровни сигналов гашения (нуль вольт) являются опорными для селекции или разделения видеосигналов и синхросигналов ПТВС в амплитудных селекторах телевизоров.

**2.1.3. Спектр ПТВС** — это форма его представления в виде дискретной зависимости амплитуд гармонических составляющих сигнала (спектральных составляющих) от частоты гармоник. Распределение спектральных составляющих по частоте зависит от распределения энергии в развертываемом луче передающей ТВ трубки, параметров развертки (т. е. от числа строк и полей, развертываемых в секунду, длительностей гасящих интервалов по строкам и полям), от скоростей, с которыми яркость и цветность объекта наблюдения меняются в размерах и положениях, а также от резкости перепадов яркости и цветности объекта. Содержание объекта наблюдения и изменения в нем нельзя знать заранее (до его появления для передачи), поэтому соответствующий объекту ТВ сигнал и его спектр неопределенны. Зная точные законы развертки кадра изображения, можно определять форму ПТВС при передаче типовых объектов наблюдений, имеющих постоянную или закономерно изменяющуюся яркость, например, таких, какие показаны на рис. 2.1.5. При этом получаются типовые ПТВС

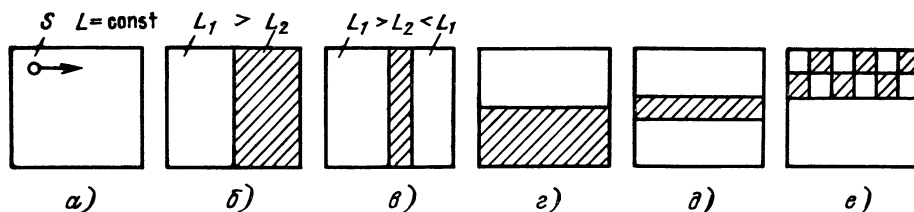


Рис. 2.1.5. Примеры типичных изображений

(рис. 2.1.6). При развертке изображения равномерно освещенного поля (рис. 2.1.5, а) апертурой  $S$  получается ПТВС (рис. 2.1.6, а). Уровень этого сигнала меняется только на интервалах гашения и синхронизации. Это справедливо для длительностей как строки, так и кадра. Телевизионные сигналы на рис. 2.1.6, б—г соответствуют изображениям, показанным на рис. 2.1.5, б—г. По спектрам этих сигналов можно представить спектры сигналов, получаемых при передаче других объектов наблюдения. Например, их общую структуру, полосу частот, основные черты в распределении энергии и т. п. Поэтому знание спектров типовых ПТВС используют при создании спектра ПТВС. Низшая информационная частота ПТВС определяется передачей объекта наблюдения с равномерной освещенностью по плоскости (см. рис. 2.1.5, а) и соответствует нулю. Обычно ее связывают с постоянной составляющей яркостного сигнала. Максимальная частота ПТВС определяется передачей объекта с предельно большой детальностью. Обычно это сигнал от изображения шахматного поля (см. рис. 2.1.5, г), в котором площадь клетки равна площади элемента изображения.

При равенстве четкости изображения по вертикали и горизонтали верхняя частота ПТВС определяется реальным числом элементов изображения в пределах плоскости кадра и временем, отведенным на их передачу,  $f_s = f_k [k_\phi z^2 (1 - \beta)] / 2(1 - \alpha)$ , где  $k_\phi$  — формат кад-

ра изображения (в ТВ вещании  $k = 4/3$ );  $z$  — номинальное число строк в растре (число дискретизаций изображения по вертикали),  $\beta$ ,  $\alpha$  — относительные доли времени, занимаемые длительностями гасящих импульсов поля (кадра) строк;  $f_k$  — частота повторения кадров. Тогда произведение  $k_\phi z^2 (1 - \beta)$  определяет реальное число элементов изображения в пределах раstra с учетом потерь части строк во время обратного хода по вертикали, а  $f_k / 2(1 - \alpha)$  — реальное время, предоставленное для передачи информации об этих элементах по каналу связи. Для вещательной ТВС с номинальным числом строк  $z = 625$  верхняя расчетная частота ПТВС равна 7 МГц. Однако верхняя частота ПТВС установлена ГОСТом и равна 6 МГц, что определяет номинальную полосу частот сигнала 0...6 МГц. Снижение реальной верхней частоты на 1 МГц по сравнению с расчетной было связано во времена становления вещательной ТВС с экономией полосы частот в канале связи путем уравнивания четкостей ТВ изображения по горизонтали и вертикали с учетом эффекта снижения четкости изображения по вертикали из-за дискретизации. Частотный состав ПТВС внутри номинальной полосы определяется содержанием объекта наблюдения и применяемым принципом линейно-строчной развертки. При передаче неподвижных объектов, показанных на рис. 2.1.5, получаются ПТВС, имеющие строго повторяющуюся форму в масштабе длительностей строк, полей и кадров. Поэтому ПТВС, показанный на рис. 2.1.6, г, можно представить в виде набора спектральных компонент

$$u(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} U_{n,m} \cos(2\pi(nf_c + mf_n)t + \varphi_{nm}),$$

где  $n$ ,  $m$  — номера гармоник частоты строк  $f_c$  и полей  $f_n$ ;  $\varphi_{n,m} = \varphi_n \pm \varphi_m$  — фазовый угол спектральных компонент;  $U_{n,m}$  — амплитуды спектральных компонент.

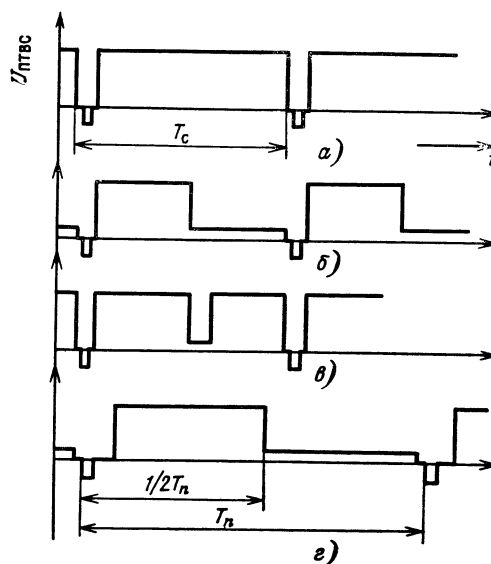


Рис. 2.1.6. Уровни ПТВС



Каждый член суммы  $U_{n,m} \cos(2\pi(nf_c \pm mf_n)t + \varphi_{n,m})$  представляет собой косинусоидальную компоненту ПТВС  $u(t)$ , имеющую амплитуду  $U_{n,m}$  и фазовый угол  $\varphi_{n,m}$ . Таким образом, спектральная компонента описывается двумя числами  $n$  и  $m$ , характеризующими рисунок, который воспроизводился бы, если бы в ПТВС присутствовала одна эта составляющая. Номера гармоник  $n$ ,  $m$  представляют числа периодов косинусоидального изменения яркости, измеренные по горизонтали и вертикали.

Если рассматривать спектральные компоненты ПТВС при  $m=0$ , то получается та часть его спектра, которая связана со строчной частотой развертки. На рис. 2.1.7, а четко выражена дискретность спектра по гармо-

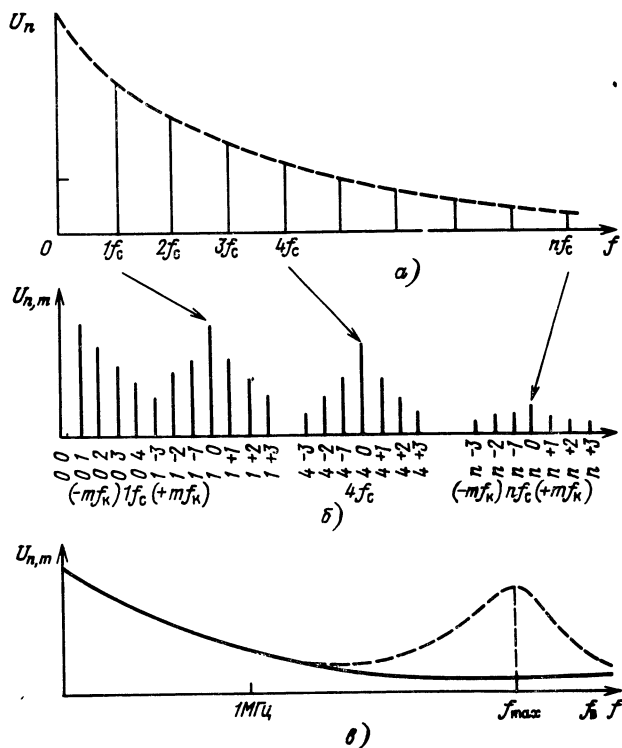


Рис. 2.1.7. Формы спектров импульсов ТВ сигнала для изображений, представленных на рис. 2.1.5, без учета длительностей гасящих импульсов полей

никам частоты строк и закономерное убывание амплитуд спектральных компонент с ростом их частоты. При развертке изображений, показанных на рис. 2.1.5, г, д, формируются ПТВС с четко выраженным повторением их с частотой полей. Спектральный состав таких ПТВС определяется комбинационными частотами  $nf_c \pm mf_k$  (см. рис. 2.1.7, б). В нижней части спектра от нуля до  $f_c$  расположены спектральные компоненты с нулевой и близкими к ней частотами ( $0 \dots 2$  Гц), так называемые компоненты движения, а также гармоники частоты кадров от первой до  $m < f_c/f_k$ . Около компоненты частоты строк располагаются в виде боковых полос компоненты комбинационных частот  $f_c - mf_k$  и  $f_c + mf_k$ , следующих с интервалами частоты полей. Такая же картина наблюдается и около спектральных составляющих всех гармоник. В рассмотренном спектре наибольшие амплитуды имеют постоянные составляющие, первые компоненты с частотами полей, а также составляющие частот строк и ее гармоники. В боковых спектрах около гармоник частоты строк наибольшими амплитудами обладают первые из гармоник частоты полей. При медленных движениях объекта наблюдения боковые спектры ограничиваются значениями гармоник частоты полей с  $m < 20$ , при быстрых движениях боковые спек-

тры на гармониках строк расширяются и становятся больше нуля.

При детальном рассмотрении спектра в ПТВС можно обнаружить спектральные компоненты с частотами кадров, а также боковые полосы около спектральных компонент частоты полей в виде их размытия, вызванного процессами изменений в объекте наблюдений, например его движением. Кратность спектральных компонент ПТВС и наличие достаточно обширных боковых полос около компонент строк приводит иногда (при передаче некоторых типов изображений) к взаимному перекрытию частей спектра и, как следствие, к ошибочному воспроизведению изображения. В то же время дискретность спектра ПТВС говорит о возможности его уплотнения другими сигналами, что и применяется в вещательных цветных ТВС. Усредненная огибающая спектра ПТВС для наиболее распространенных видов ТВ изображений, в которых детальность занимает не более 10% площади, показана на рис. 2.1.7, в и имеет выраженную тенденцию к резкому уменьшению в первой четверти полосы частот. В полосе частот  $0 \dots 1,5$  МГц обычно сосредоточена большая часть мощности сигнала, но остальная часть спектра, при малой ее энергетической доле, несет наиболее важную информацию о границах яркостных переходов в изображении. При передаче ТВ изображения, насыщенного мелкими деталями (см. рис. 2.1.5, е), появляется весьма заметный подъем огибающей спектра в области высших частот.

**2.1.4. Статистические характеристики.** Статистические характеристики ТВ сигнала, к которым относятся автокорреляционная функция, вероятность появления новых значений уровня, распределение плотности вероятности уровней и др., связаны с аналогичными характеристиками ТВ изображения и относятся к информационным его параметрам. Они позволяют оценивать количество новой информации (безотносительно к смысловому содержанию изображения), переносимой соседними элементом, строкой, полем и кадром изображения.

Изменение информации в ТВ сигнале может быть вызвано изменением во времени яркости (цветности) отдельных частей или всего неизменного по геометрии (контуру) изображения, передвижением контура изображения при неизменных яркостях его деталей, изменением детальности и самих контуров изображения. Под *детальностью* изображения можно понимать число переходов яркости от одного уровня к другому, сопоставленное с общим числом элементов в изображении. Среднестатистическая детальность изображений в ТВ вещании, например при художественных передачах, не превышает 10%. Как правило, детальность сцен, передаваемых мелким планом, выше детальности крупноплановых изображений. Максимум детальности, оцениваемый в 100%, достигается в том случае, когда переходы яркости имеются между всеми соседними элементами изображения. Пример такого редко встречающегося изображения приведен на рис. 2.1.5, е. Анализ распределения амплитуд яркости в изображении, а следовательно и амплитуд (уровней) в ПТВС, показывает, что появление яркостей малого и среднего уровней более вероятно, чем высокого. Наиболее сильные статистические связи наблюдаются между соседними элементами изображения. Их можно оценивать как по вертикали, так и по горизонтали, а также между одними и теми же элементами (участками) изображения, но расположенными в разных кадрах.

При рассмотрении двух элементов изображения приращение информации будет, когда яркость  $L$  одного из них будет отличаться от яркости  $L_2$  другого на значение порога  $\Delta L_{\text{пор}} = |L_1 - L_2|$ . Если весь размах сигнала яркости в ПТВС разбить на  $m$  уровней, каждый из которых соответствует пороговой яркости на изображении, то статистические связи между отдельными участками можно оценить вероятностью того, что за уровнем  $i$

сигнала следует уровень  $j \neq i$ , т. е. вероятностью несовпадения значений уровней ПТВС, соответствующих яркостям двух выбранных элементов изображения. Вероятность появления новых значений ТВ сигнала  $P_{\text{нов}} = 1 - \sum_{i=j=1}^m P_{i,j}$ . Статистика ТВ изображений показывает, что вероятность несовпадения уровней сигнала яркости в ПТВС для двух соседних элементов изображения мала. Для обычных сюжетов ТВ вещания, имеющих детальность изображения менее 15%, вероятность появления новых значений сигнала яркости при переходе к соседнему элементу изображения оценивают значением, не превышающим 0,1. Другой статистической характеристикой ПТВС является автокорреляционная функция его сигнала яркости за ограниченный интервал времени  $T_1$ :

$$R(\tau_1) = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} u(t)u(t-\tau_1) dt,$$

где  $T_1$  — время интеграции, на котором определена функция  $u(t)$ ;  $\tau_1$  — сдвиг во времени функции  $u(t)$ , т. е. интервал между коррелируемыми отсчетами функции. Например, для соседних элементов изображения по горизонтали длительность  $\tau_1$  будет равна времени одного элемента изображения, а для соседних элементов по вертикали в одном поле изображения  $\tau_1$  равно периоду строчной развертки  $T_c$ . Автокорреляционная функция ПТВС имеет максимум при  $\tau_1 = 0$  от сигналов одного и того же элемента изображения. По мере удаления элементов друг от друга в пространстве или во времени значение автокорреляционной функции убывает, что соответствует повышению вероятности появления несовпадающих уровней ТВ.

Усредненные значения нормированной оценки автокорреляционной функции сигнала яркости в ПТВС для объектов системы ТВ вещания, где размеры деталей значительно превышают размеры элемента изображения:

Для соседних элементов по строке ( $\tau_1 = 0,1$ мкс)	0,97
Для соседних строк одного кадра ( $\tau_1 = 0,02$ с)	0,93
Для соседних кадров ( $\tau_1 = 0,04$ с)	0,92
Интервалы корреляции элементов, не более, для ТВ изображения	
малодетальных	10 ... 20
среднедетальных	40 ... 10
высокодетальных	4 ... 10

Эти данные говорят об «избыточности» передаваемых ТВ изображений, т. е. большой степени повторяемости информационных значений сигналов элементов изображений в пределах длительностей кадра и даже их серии. Все это находит свое отражение и в спектрах ТВ сигнала: дискретность его структуры, сосредоточение основной энергии (до 90%) в нижней четверти полосы частот. Чем детальнее и подвижнее ТВ изображение, тем меньше интервал корреляции в ПТВС, более «размыт» его спектр и равномерно распределена энергия по спектру. В современных системах ТВ вещания ПТВС передается без учета статистических связей между соседними элементами, строками и кадрами изображения. Частичное использование этой избыточности имеется в цветной ТВС благодаря размещению в верхней части спектра сигналов яркости цветности, несущего дополнительную к яркости цветовую информацию. При формировании цифрового ТВ сигнала устраняется избыточность из сигналов яркости и цветности для резкого сокращения полосы частот ПТВС.

## 2.2. Характеристики преобразователей свет-сигнал

**2.2.1. Апертурные характеристики.** Разрешающая способность преобразователя — параметр, используемый при оценке любого преобразователя изображения. Под разрешающей способностью преобразователя свет-сигнал понимают его способность передавать наиболее мелкие детали изображения с заданным: минимально-достаточным, предельным пороговым контрастом. Под мелкими подразумевают детали изображения, размеры которых сравнимы с размерами развертываемого элемента преобразователя — апертурой. Апертура преобразователя — поперечное сечение распределения энергии (прозрачности, плотности электронного или светового потока, плотности снимаемых зарядов и т. д.) в сканирующем элементе в плоскости светочувствительной поверхности. Размер апертуры определяется, как правило, на условном уровне этого распределения (при нормальном законе этот уровень принимается равным  $1/e$ , где  $e$  — основание натуральных логарифмов). Влияние распределения энергии в элементе разложения на способность преобразователя передавать мелкие детали изображения принято оценивать апертурно-частотной (апертурной) характеристикой. Апертурная характеристика — зависимость глубины модуляции сигнала  $m$  от относительных размеров мелких деталей изображения, которые оценивают числом строк  $z$  или линий  $N$ :  $m = f(z)$ . Глубина модуляции — отношение размаха сигнала от деталей изображения заданного размера  $U$  к размаху  $U_m$  от крупной детали (при передаче которой апертурными искажениями можно пренебречь). Эта величина измеряется в относительных единицах или в процентах. Продольные (вдоль строчной развертки) апертурные характеристики преобразователей изображения измеряют последовательным измерением относительных значений уровней сигналов от мелких деталей передаваемого изображения испытательной таблицы, содержащей группы ориентированных вертикально параллельных или клиновидных черно-белых штрихов разной ширины.

При рассмотрении экспериментальных апертурных характеристик (АХ) (рис. 2.2.1) необходимо учитывать контрастно-частотные характеристики (КЧХ) применяемых объективов и свойства испытательной таблицы. Поскольку сигналы как от мелких, так и от крупных деталей передаваемого изображения определяются освещенностью, нужно измерять АХ преобразователей при строго определенных уровнях. Исследование продольных значений АХ преобразователей с двумерной пространственной дискретизацией, а также поперечных (поперек строк) с помощью таблиц, содержащих черно-белые штрихи разной ширины, наталкивается на серьезные трудности, связанные с дискретностью разложения изображения: шаг разложения в преобразователе постоянен и равен  $\delta$ , а расстояние между осями черно-белых штрихов таблицы  $\delta'$  изменяется в соответствии с их шириной. Шаги дискретизации в преобразователе и штрихов испытательной таблицы не сов-

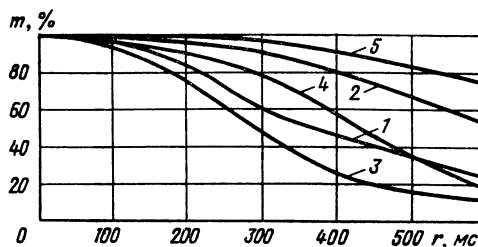


Рис. 2.2.1. Продольные апертурные характеристики ТВ преобразователей изображения

падают. Вследствие этого смещение отсчетов на половину шага дискретизации сопровождается двукратным изменением числа штрихов, разрешаемых на ТВ изображении в соответствующем направлении. Трудности совмещения сетки отсчетов с осями штрихов усугубляются нелинейностями разверток и координатными искажениями сигналов, обусловленными такими явлениями, как пульсация — адаптация активной части пучка на заряженной мишени передающих трубок с накоплением, особенностями накопления и черестрочного считывания в фоточувствительных приборах с переносом заряда (ФППЗ) и другими факторами. Трудности измерения АХ в направлении дискретизации могут быть преодолены с помощью измерительных таблиц, построенных на основе кольцеобразных зон Френеля или наклонных штриховых структур (рис. 2.2.2). Штрихи таблицы рас-

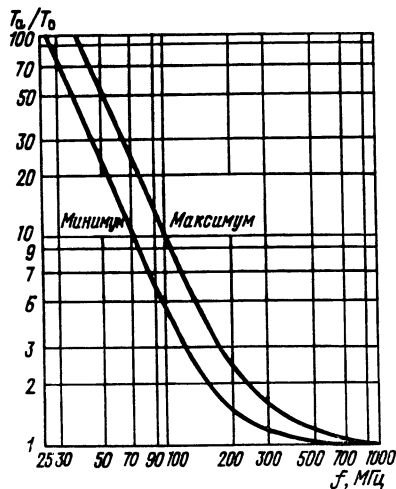


Рис. 2.2.2. Положения наклонных штрихов структуры при измерении поперечной АХ передающей трубки

положены под углом около  $5^\circ$  по отношению к строкам раstra. С помощью этой таблицы можно произвольно выбрать положение (в пределах допустимого угла наклона) осей штрихов и строк раstra трубки, что позволяет обходиться без их совмещения. Кроме того, таблица обеспечивает независимость результатов измерения сигнала, формируемого преобразователем от нестабильности раstra. Нестабильность будет вызывать лишь изменение фазы сигнала вдоль оси времени, а значения  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  будут оставаться неизменными. Для измерения продольных АХ таблицу поворачивают на  $90^\circ$ . Оси штрихов должны составлять угол примерно  $5^\circ$  с вертикалью. Для выделения сигнала необходимо

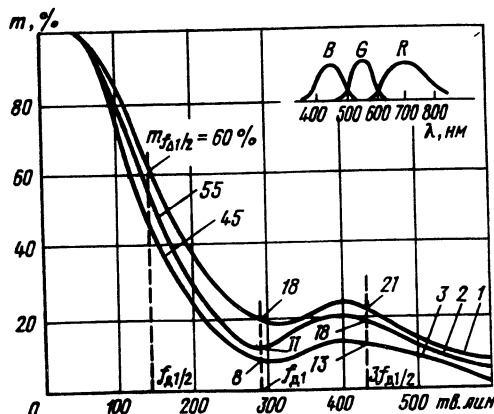


Рис. 2.2.3. Амплитудно-частотные характеристики фильмокопий: 2 — 35-мм, 4 — 16-мм, 1, 3 — результирующие

использовать блок выделения сигнала столбца. Методика измерения АХ по данной таблице позволяет находить глубину модуляции сигнала на частотах, соизмеримых и даже превышающих частоту дискретизации, причем преобразователь изображения с дискретизацией однозначно передает пространственные компоненты спектра, период которых не менее чем вдвое превышает шаг расположения элементов разложения в соответствующем направлении. У большинства передающих трубок АХ практически не зависят от длины волны света, в то время как у матричных и линейных ФППЗ такая зависимость наблюдается, особенно в поперечном направлении рис. 2.2.3.

## 2.2.2. Коррекция апертурных искажений

1. Системные ограничения и аппаратные искажения четкости приводят к апертурным искажениям — снижению четкости ТВ изображений. Четкость цветных ТВ изображений определяется совокупностью характеристик: разрешающей способностью, резкостью, чистотой переходов.

Разрешающая способность — максимальное число  $N_a$  различных линий черно-белой (ахроматической) штриховой миры или глубины модуляции  $m_a$  ТВ сигнала от максимального числа линий штриховой миры, передаваемых ТВ системой; резкость — относительная (к размеру элемента раstra в данном направлении) протяженность  $R_a$  черно-белой границы крупной детали с резкими границами на объекте. Параметры  $N_d$ ,  $m_d$  и  $R_d$  используют для характеристики цветовой четкости. Четкость изображений оценивают также размахом и протяженностью выбросов на переходной характеристике, близких эхосигналу; остатков поднесущей на вертикальных границах и мерцающих муаров на горизонтальных границах [1]. Аппаратурные искажения вызваны неидеальностью характеристик звеньев ТВС: апертурными искажениями датчика ТВ сигнала и кинескопа, рассовмещением растров трех цветоделенных изображений, неидеальностью частотных характеристик канала передачи ТВ сигнала, временным рассовмещением сигналов яркости и цветоразностных. Апертурные искажения, вызванные конечными размерами развертывающего пятна (апертуры), влияют на снижение четкости. Для датчиков с электронно-оптическим анализом изображений (рис. 2.2.4).

$$y_a(N) = \exp[-(N/N_e)^2], \quad (2.2.1)$$

где  $N_e$  — число ТВ линий, для которого  $y_a(N_e) = 1/e$ .

Тогда  $m_a = y_a(N_{\max})$ , причем  $N_{\max} = 0,79F_v = 495$  [1] — число линий штриховой миры максимальной детальности, передаваемое в полосе канала изображения  $F_v = 6,25$  МГц. Для нижней границы АХ  $m_a = m_{\text{пор}} = \psi_{\text{пор}}/\psi_{\text{min}}$ , где  $m_{\text{пор}}$  — минимальная глубина

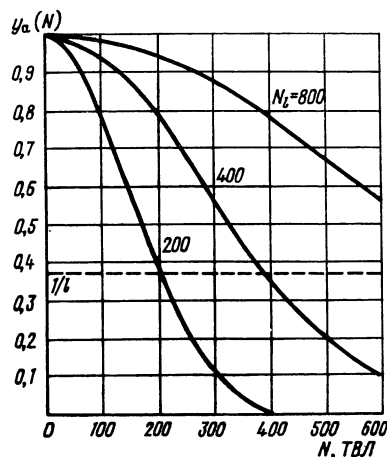


Рис. 2.2.4. Апертурные характеристики

модуляции сигнала от штриховой меры максимальной деятельности, воспринимаемой на пороге обнаружения;  $\Psi_{\min}$  — минимальное значение ОСШ на входе кинескопа для максимального размаха сигнала. В этом случае значение  $\Psi_{\min}$  для среднеквадратического значения уровня  $\sigma_{\xi}$  флуктуационных помех на входе кинескопа  $\Psi_{\text{пор}}=3$ . Подставляя  $m_a$  в (2.2.1), получаем значение параметра  $N_e$  для нижней границы:  $N_{e \min} = N_a / (\ln \Psi_{\min} - 1)$ . Для  $\Psi_{\min}=100$ , что соответствует 4,5 балла качества по пятибалльной шкале [1],  $N_{e \min}=0,278$   $N_{\max}=137$  ТВЛ. При этом резкость  $R_a=3,26$ , т. е. протяженность черно-белой границы на изображении более чем в 3 раза выше протяженности, передаваемой одноэлементной (в направлении развертки) детали. Это значение резкости соответствует 3 баллам качества по пятибалльной шкале [2]. Следовательно,  $N_a > N_{\max}$  и  $N_e > N_{e \min}$ .

Для оценки в 4, 5 балла качества  $R_a \approx 1,5$ , что обеспечивается результирующей АЧХ ТВС, аппроксимируемой функцией (2.2.1), при  $N_e \geq 375$  ТВЛ и  $m_a = y(N_{\max}) < 0,2$ . Однако и в этом случае качество передачи малоcontrastных и среднеcontrastных мелких деталей изображения будет низким. При использовании в качестве датчиков ТВ сигнала приборов с зарядовой связью (ПЗС) апертурные искажения определяются их модуляционными АЧХ. Линейные ПЗС датчики (линейки ПЗС), широко применяются в телекинодатчиках (ТКД).

В направлении строки АЧХ [3, 4]

$$Y_{\text{ДХ}}(\omega) = \frac{\sin \omega a/2}{\omega a/2} = \text{sinc}(\omega a/2),$$

где  $a$  — ширина элемента линейки ПЗС.

Формула справедлива для диапазона частот  $0 \leq \omega \leq \omega_m$ . Здесь  $\omega_m = \pi/p$  — тактовая частота считывания, определяемая в соответствии с теоремой отсчетов, причем  $Y_{\text{ДХ}}(\omega_m) = 0$ , а  $p$  — интервал (период) между соседними элементами ПЗС.

В направлении, перпендикулярном строкам кадра, АЧХ

$$Y_{\text{ДВ}}(\omega) = \sin \omega b/2 \sin \omega d_y/2, \quad (2.2.3)$$

где  $b$  — высота элемента линейки ПЗС;  $d_y$  — шаг развертки по  $y$ , равный произведению скорости движения на время накопления одной строки. Для современных линейных ПЗС при  $n=1024$  (рис. 2.2.5, [5]) глубина

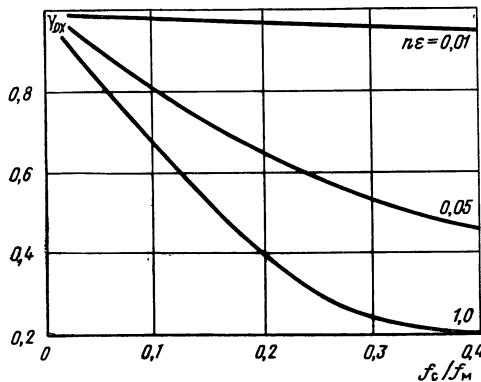


Рис. 2.2.5. Амплитудно-частотные характеристики линейной ПЗС ( $n$  — число переносов в строке,  $\varepsilon$  — неэффективность переноса заряда)

модуляции ТВ сигнала  $m=70\%$  для 35-мм фильма и 60% для 16-мм [6]. Поэтому можно считать, что линейные ПЗС датчики практически не ограничивают разрешающую способность ТВС (рис. 2.2.6). Потеря четкости, оцениваемая значением спада АЧХ на 6 МГц, составляет 12...18 дБ.

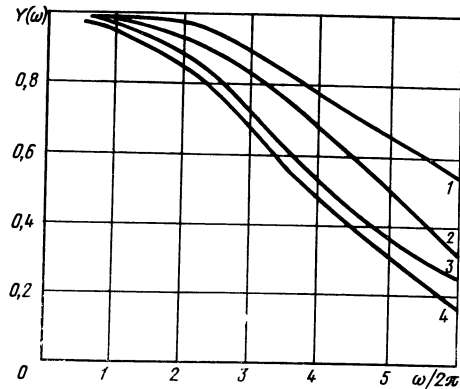


Рис. 2.2.6. Амплитудно-частотные характеристики при передаче кинофильмов с помощью линейных ПЗС (2 и 4 — 35- и 18-мм фильмов, 1 и 3 — результирующие АЧХ)

Амплитудно-частотная характеристика ТВС задает параметры сигнала от тонкоструктурных деталей изображения, качество передачи которых характеризует четкость изображения. К таким параметрам относят: минимальную длительность  $t_{\phi}$  фронта импульса от протяженной детали изображения, длительность  $t_{\kappa}$  и размах  $A_{\kappa}$  импульса от деталей, соизмеримых с апертурой ТВС. Для гауссовского распределения энергии в апертуре  $t_{\phi}=0,91$ ,  $t_{\phi}=t_{\kappa}$  и  $A_{\kappa}$  определяются из выражения для мгновенного значения сигнала

$$\eta(t) = \frac{1}{2\Phi(\theta_d)} [\Phi(2t + \theta_d) - \Phi(2t - \theta_d)],$$

где

$$\Phi(z) = \int_0^z e^{-y^2} dy; \quad t = t/t_{\phi}; \quad \theta_d = t_d/t_{\phi};$$

$t_{\kappa}$  — время развертки детали изображения;  $t_{\phi}$  — время передачи детали, размер которой в направлении строки развертки равен апертуре (для гауссовского распределения  $t_{\phi}$  соответствует передаче детали, соизмеримой с эффективным диаметром апертury). Тогда относительное значение размаха импульса сигнала  $A_{\kappa} = \Phi(\theta_d)$ . Хорошее приближение дает равномерное распределение энергии и круглая форма основания результирующей апертury. Тогда  $t_{\phi}=0,72t_{\phi}$  и

$$\eta(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi} \left[ t \sqrt{\frac{1}{4} - t^2} - \frac{1}{4} \arcsin 2t \right], & -\frac{1}{2} < t < \frac{1}{2} \\ 1, & -\theta_d + \frac{1}{2} \leq t \leq -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} + \frac{4}{\pi} \left[ (t + \theta_d) \sqrt{\frac{1}{4} - (t + \theta_d)^2} + \frac{1}{4} \arcsin 2(t + \theta_d) \right], & -\left(\theta_d + \frac{1}{2}\right) \leq t < -\theta_d + \frac{1}{2}. \end{cases}$$

Длительность импульса  $t_{\kappa}$ , измеряемая интервалом между максимумами первой производной, равна  $\theta_d$ , если  $\theta_d > 1$  (рис. 2.2.7).

Зависимости (см. рис. 2.2.7) определены на основе численного решения следующих уравнений:

$$\begin{aligned} (t + 2\theta_d)/(t - 2\theta_d) &= \exp(2\theta_d t), \quad \gamma = 1, \\ \frac{\gamma - 1}{\sqrt{\pi}} \frac{\{\exp[-(2t + \theta_d)^2] - \exp[-(2t - \theta_d)^2]\}}{\Phi(2t + \theta_d) - \Phi(2t - \theta_d)} &= \\ &= (2t + \theta_d) e^{-(2t + \theta_d)^2} - (2t - \theta_d) \exp[-(2t - \theta_d)^2], \\ &\quad \gamma < 1. \end{aligned}$$

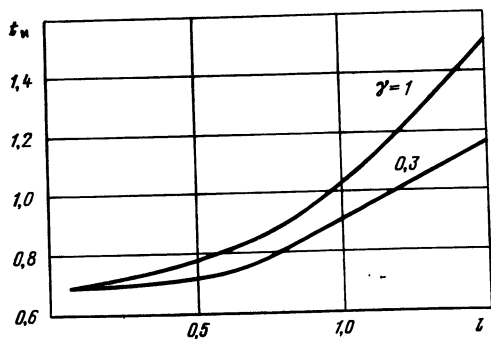


Рис. 2.2.7. Зависимости длительности импульса от протяженности детали

Из анализа следует [7]: 1) время установления апертурно-временной (переходной) характеристики, определяющее длительность фронта импульса от протяженности детали с точностью до 10%, не зависит от распределения энергии развертывающего пятна и его формы; основное влияние на  $t_f$  оказывает эффективный размер апертуры в направлении развертки; 2) длительность импульса  $t_n = \theta_d$  для  $\theta_d \geq 1$  и не зависит от размеров развертывающего пятна, его формы и распределения энергии в пятне; для  $\theta_d < 1$  гауссовского распределения энергии (передающие ТВ трубки) зависимость  $t_n$  от размера детали  $\theta_d$  и показателя нелинейности  $\gamma$  слабая, и с точностью до 10...15% ею можно пренебречь. С приемлемой для практики точностью можно принять, что временные параметры ТВ сигнала для современных датчиков, обеспечивающих  $\theta_d \geq 1$ , практически не зависят от параметров развертывающего пятна, поэтому они достаточно точно характеризуют пространственные параметры (размеры) тонкоструктурных деталей изображения независимо от характеристик датчика ТВ сигнала. Типичные характеристики (рис. 2.2.8 [8]) позволяют делать вывод, что при

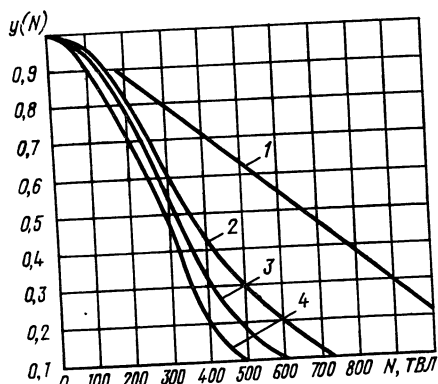


Рис. 2.2.8. Апертурные характеристики датчиков (1 — объектива, 2—4 — сатикона, плюмбикона и видикона соответственно)

$N_{\max} = 495$  ТВЛ  $m_a = y_a(N_{\max}) \leq 10\%$  для плюмбикон. Разрешающая способность датчика с трубками сатикон максимальна и достигает 30%. Для цветных кинескопов типичные КЧХ для яркостной составляющей представлены на рис. 2.2.9 [9]. Глубина модуляции сигнала  $m_a = y_a(N_{\max}) \leq 30\%$ , причем с увеличением уровня яркости разрешающая способность кинескопа падает до 3...5%. Таким образом, апертурные искажения датчиков ТВ сигнала и кинескопов приводят к существенному снижению четкости.

Рассовмещение растров трех цветоделенных изо-

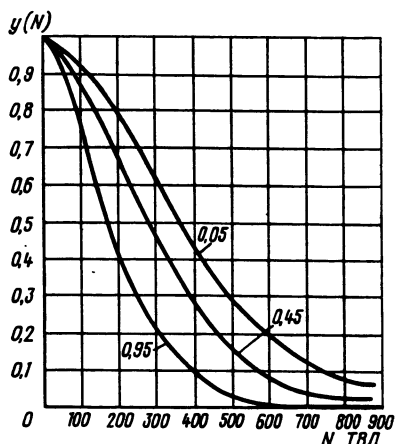


Рис. 2.2.9. Апертурные характеристики цветных кинескопов при разных значениях яркости (от максимального значения)

бражений в датчике ТВ сигнала и кинескопе, приводящее к снижению четкости, относится к аппаратным искажениям ТВС, значения которых удастся свести к допустимым [10].

Неидеальность частотных характеристик канала передачи ТВ сигнала (модулятор — линия связи — демодулятор) связана с неравномерностью АЧХ и отклонением от линейности ФЧХ в полосе пропускания. Коррекция позволит существенно снизить влияние этих характеристик на четкость изображения, по крайней мере, по сравнению с апертурными искажениями датчика. В спутниковых линиях с ЧМ для передачи сигналов ТВ программ относительное влияние частотных искажений на четкость невелико [11]. Аналогичный вывод можно сделать и о влиянии временного рассовмещения сигналов яркости и цветности, а также яркости и цветоразностных в приемнике [1]: требования к установочному рассовмещению сигналов яркости и цветоразностных обеспечиваются точностью изготовления линий задержки в канале яркости, трактовое — коррекцией сквозной характеристики ГВЗ.

К системным снижениям четкости относят изменение параметров разложения и полосы передаваемых частот спектра сигнала яркости, цветоразностных сигналов и сигнала цветности, чересстрочная передача цветоразностных сигналов, однополосная передача ПТВС, ограничение его выбросов при НЧ предискажениях цветоразностных сигналов, режекция составляющих сигнала цветности в спектре сигнала яркости в кодере и декодере системы ЦТ СЕКАМ. Влияние изменений параметров и разложения, и полосы передаваемых частот на ахроматическую четкость указано выше.

Определим *искажения цветовой четкости*. Аппаратными искажениями (рассовмещением растров, координатными искажениями, динамическим разбалансом, апертурными искажениями и др.) можно пренебречь, так как нормы на них устанавливаются, исходя из обеспечения более высокой четкости по яркостной составляющей. Поэтому можно считать, что искажения цветовой четкости вызваны в основном системными ограничениями, влияние которых рассмотрено в [1, 12, 13]. Передаваемое в канале цветности с полосой  $F_{\text{ц}} = 1,5$  МГц максимальное число линий штриховой меры (*цветовая разрешающая способность*)  $N_{\text{ц max}} = 118$ . При этом существенно различаются черно-цветные и разноцветные штриховые миры максимальной деятельности. Апертурная характеристика или результирующая АЧХ<sub>ц</sub> канала цветности зависят от АЧХ ТВ тракта и передаваемого цвета. Так, АЧХ<sub>ц</sub> канала, измеряемая при 100%-ной насыщенности, имеет спад на 16 дБ больше для сине-черных деталей по сравнению с АЧХ<sub>ц</sub>

для желто-черных [1]. Искажается не только цветность мелких деталей, но и яркость. Таким образом, передача мелких черно-цветных деталей сопровождается искажениями яркостной и цветовой информации, причем уровень этих искажений также зависит от цвета детали. При передаче разноцветных мелких деталей одинаковой яркости цветовая разрешающая способность  $N_c$  аналогично  $N_a$  определяется результирующей КЧХ канала передачи цветовой информации (канала цветности) и уровнем шумов. Поэтому  $N_c < N_{c \max} = 118$ .

Цветовая резкость ТВ изображений определяется переходной характеристикой канала цветности ТВ системы (ПХ<sub>ц</sub>). Нелинейность канала цветности (НЧ предсказания, ЧМ, перекрестные искажения) приводят к нарушению связи между АЧХ<sub>ц</sub> и ПХ<sub>ц</sub>. Для ТВ системы СЕКАМ ПХ<sub>ц</sub> зависит от ширины полосы пропускания  $F_c$  канала цветности, НЧ предсказаний и их коррекции, частотных искажений ЧМ сигнала цветности, нелинейности АЧХ дискриминатора.

Значения протяженности цветового перехода, мс

В полосе канала цветности 1,2... 1,5 МГц, не более	350...400
или $D_B$ (менее 0,2 максимального размаха)	400
Для перепадов с размаха $D_R$ и $D_B$ сигналов $\pm 0,5$ и в полосе пропускания тракта ЧМ сигнала $\pm 800$ кГц	700...800
Для реальных сюжетов, имеющих малую и среднюю напряженность, где размахи $D_R$ и $D_B$ не превышают 1	350...800
Для перепада сигналов $D_R$ или $D_B$ , превышающих 1 (титры, заставки, испытательные сигналы) — определяется в основном ограничением выбросов в кодере СЕКАМ	1,7...2 мкс

При этом ПХ<sub>ц</sub> приближается к ПХ<sub>а</sub> цепи коррекции НЧ предсказаний, для которой длительность составляет 1,15 мкс, причем длительность подъема ПХ не более 2 мкс. Таким образом, цветовая резкость изображений в ТВ системе СЕКАМ изменяется в пределах  $R_c = 4 \dots 20$ , что обеспечивает качество передачи ниже 4 баллов [14]. Перекрестные искажения между сигналами яркости и цветности приводят к появлению мешающих структур на вертикальных границах между различными цветами с разной яркостью, а также мерцающих муаров на горизонтальных границах. Аппаратурные искажения четкости можно устранить совершенствованием схемотехнических решений, улучшением параметров, а также коррекцией или предкоррекцией характеристик непосредственно на передаче или приеме данного узла ТВС. Потери четкости из-за системных ограничений можно снизить только в приемной части ТВ тракта (например, скорректировать протяженность цветовых переходов до значений, аналогичных протяженности яркостных переходов). Рациональнее распределять степень КЧ между передающим трактом и телевизором в камерном канале (или в видеопроцессоре). Четкость снижается из-за аппаратурных искажений в датчике, а в телевизорах ее потери главным образом устраняют с помощью системных ограничений.

2. Детерминированные (инвариантные) методы КЧ. Четкость корректируют следующим образом: пусть на входе оптическое изображение (ОИ) с двумерным распределением яркости (интенсивности)  $L_0(x, y)$ , на выходе ТВ изображение (ТИ), описываемое для непрерывного и дискретного представлений соответственно:

$$L_n(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L_0(x_1, y_1) h(x - x_1, y - y_1) dx_1 dy_1 + \xi(x, y),$$

$$L_n(r, l) = \sum_{l_1=0}^{N_c-1} \sum_{r_1=0}^{N_s-1} L_0(r_1, l_1) h(r - r_1, l - l_1) + \xi(r, l),$$

где  $h(x, y)$  или  $h(r, l)$  — ИХ ТВС;  $\xi(x, y)$  или  $\xi(r, l)$  — аддитивные помехи.

Положим, что ОИ удовлетворяют требованиям четкости и помехи, практически не снижают качество воспроизводимых ТИ, т. е. оно замечается только под влиянием  $h(x, y)$  ТВС. Тогда восстановить четкость в процессе коррекции можно при

$$L_{н.к.ч}(r, l) = L_n(r, l) ** h_{к.ч}(r, l) = [L_0(r, l) ** ** h(r, l) + \xi(r, l)] ** h_{к.ч}(r, l), \quad (2.2.2)$$

где  $h_{к.ч}(r, l)$  — ИХ корректора, обеспечивающего подъем АЧХ ТВС в области верхних частот.

Применяя дискретное преобразование Фурье к (2.2.2), получаем для двумерных спектральных плотностей  $G_{н.к.ч}(u, v) = G_0(u, v)H(u, v)H_{к.ч}(u, v) + E(u, v)H_{к.ч}(u, v)$ , где  $u, v = 0, N-1$  — пространственные частоты;  $H(u, v)$ ,  $H_{к.ч}(u, v)$  — двумерные частотные характеристики ТВС и корректора соответственно

$$H(u, v) = \sum_{l=0}^{N_c-1} \sum_{r=0}^{N_s-1} h(r, l) \exp \left[ -i2\pi \left( \frac{ru}{N_s} + \frac{lv}{N_c} \right) \right].$$

Для восстановления исходного изображения необходимы равенства

$$H_{к.ч}(u, v) = 1/H(u, v),$$

$$G_{н.к.ч}(u, v) = G_0(u, v) + \frac{E(u, v)}{H(u, v)}. \quad (2.2.5)$$

Второе слагаемое в (2.2.5) — спектральная плотность помех на выходе корректора. Если учтем уменьшение модуля  $H(u, v)$  в области верхних частот, то увидим, что КЧ приводит к подъему уровня составляющих спектра помех. Возрастает их заметность на изображении. К качественным параметрам относятся коэффициент коррекции  $k_{к.ч} = m_{а.к.ч}/m_a$ , выброс  $\delta_v$  в процентах уровня ПХ и коэффициент снижения помехоустойчивости  $P_{к.ч} = \psi_1/\psi_{а.к.ч}$ . Для эквивалентных АЧХ в горизонтальном  $H_x$  и вертикальном  $H_y$  направлениях, которые могут быть приближены гауссовской функции (2.2.1)

$$k_{к.ч} = \exp \left( F_v^2 (f_{ek}^2 - f_e^2) / f_{ek}^2 f_e^2 \right),$$

где  $F_v$  — граничная частота ТВ сигнала;  $f_e, f_{ek}$  — частоты, на которых  $H(f_e) = H(f_{ek}) = 1/e$ .

Для оценки улучшения качества воспроизведения границ протяженных деталей в процессе КЧ вводят коэффициент коррекции резкости  $k_p = t_{\phi}/t_{\phi.к.ч}$  — отношение времен установления уровня ПХ ТВС до и после КЧ. Учитывая связь ПХ и АЧХ, имеем  $k_{к.ч} = (k_p^2 - 1)F_v^2/f_{ek}^2$ . Для получения нормируемого качества ТВ изображения с оценкой 4,5 балла пятибалльной шкалы сквозной ТВ тракт должен удовлетворять требованиям:  $t_{\phi} < 0,12$  мкс,  $\delta_{в.доп} < 6 \dots 10\%$  при  $40 \text{ дБ} < \psi < 50 \text{ дБ}$  для канала яркости и  $t_{\phi.к.ч} < 0,2$  мкс для канала цветности [1, 2, 14, 15], при передаче насыщенных цветов размах выбросов  $\delta_{в.к.ч} < 5\%$  (цветные полосы, титры), причем для реальных сюжетов это значение растет. Значения  $P_{доп}$  и  $\delta_{в.доп}$  ограничивают коэффициент КЧ: для больших значений ОСШ ( $\psi > 50 \text{ дБ}$ ) определяющим являются размахи  $\delta_v$  и  $\delta_{в.к.ч}$ , для меньших  $\psi$  существенно уменьшение  $\psi_{к.ч}$ . Ограничения, накладываемые на  $k_{к.ч}$  размахом  $\delta_v$ , можно устранить усложнением схемы формирователя сигнала КЧ. Поэтому  $k_{к.ч}$  определяется в основном значением  $P_{доп}$ . Методы КЧ разделяют на инвариантные к структуре изображения и неинвариантные (адаптивные), при использовании которых параметры, например коэффициент коррекции автоматически изменяются в зависимости от параметров

корректируемой детали. Если учесть влияние системных ограничений на снижение четкости, то можно утверждать, что КЧ необходима как в передающем тракте ТВС, так и в приемном. В передающем тракте возможны четыре варианта: КЧ раздельна для сигналов датчика  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  и только сигнал яркости  $Y$  служит для формирования сигнала КЧ из  $G$  и добавления его в  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  сигналы.

Если ошибки пространственного совмещения цветоделенных изображений  $R$ ,  $G$ ,  $B$  малы, то преимущества имеют первые два варианта, причем первый требует максимума аппаратных затрат. В приемном тракте системы СЕКАМ искажения яркостной и цветовой составляющих требуют раздельной КЧ сигналов яркости и цветоразностных. Если размеры развертывающей апертуры приводят к снижению четкости во всей плоскости изображения (например, при использовании электронно-лучевых приборов), то КЧ должна быть двумерной. В видеопроцессорах ТКД с линейными ПЗС в качестве преобразователей свет-сигнал используют одномерную КЧ (или двумерную для киноплёнки и кинескопа). Одномерную КЧ применяют в телевизорах, а также в ТВ тракте для коррекции искажений одномерного ТВ сигнала.

Для ИХ ТВС справедливо условие разделимости:  $h(r, l) = h(r)h(l)$ . Тогда для восстановленного в процессе КЧ ТИ

$$L_{и.к.ч}(r, l) = \left[ \sum_{l_1=0}^{N_c-1} h_{y.к.ч}(l-l_1) L_{и.ч}(l_1) \right] \times \\ \times \left[ \sum_{r_1=0}^{N_g-1} L_{и.ч}(r_1) h_{x.к.ч}(r-r_1) \right] = L_{и.к.ч}(r) L_{и.к.ч}(l), \\ G_{и.к.ч}(u, v) = G_{и.ч}(u) H_{x.к.ч}(u) G_{и.ч}(v) H_{y.к.ч}(v),$$

где  $L_{и.ч}(r, l) = L_{и.ч}(r) L_{и.ч}(l)$  — разделимое представление функции распределения интенсивности по дискретным координатам  $r$  и  $l$  вдоль и поперек строк развертки соответственно.

Двумерные корректоры четкости (ДКЧ) можно разделить на горизонтальные и вертикальные с последовательным (каскадным) и параллельным способом включения (рис. 2.2.10). Оба способа обеспечивают одинаковую эффективность коррекции по направлениям  $x$  и  $y$  [16]. С учетом двумерных пространственных контрастно-частотной и временной характеристик датчика ТВ сигнала и кинескопа формирователем сигнала коррекции (ФСК) должна быть линейная цепь с симметричной ИХ (линейной ФЧХ). Амплитудно-частотная характеристика ее должна быть обратной гауссовской функции (2.2.4), и может быть реализована на основе дифференцирующих цепей (ДЦ) [17, 18] и рекурсивных (трансверсальных для аналоговых сигналов) фильтров (НРФ) с линейной фазо-частотной характеристикой [19, 20]. Оба типа цепей дают близкую по качеству КЧ, причем ИХ ФСК в случае ДЦ лучше, так как не имеют выбросов над нулевой линией и переход-

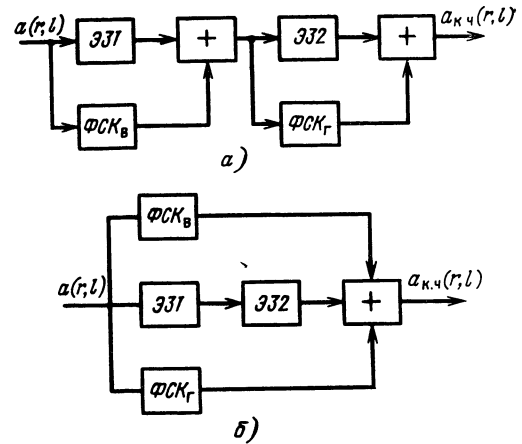


Рис. 2.2.10. Структурные схемы двумерных корректоров четкости: (331, 332 — элементы временной задержки сигнала, ФСК<sub>в</sub>, ФСК<sub>г</sub> — формирователи сигналов коррекции по вертикали и горизонтали) а — последовательная; б — параллельная

ной процесс затухает быстрее. Однако в современной ТВ технике, использующей двумерную КЧ и цифровую обработку сигналов, ФСК на основе ДЦ не используют. Рассмотрим последовательный ДКЧ с использованием НРФ (рис. 2.2.11). Для получения сигнала  $a_{и.ч}(r, l)$ , смещенного на высоту  $\eta$  одной строки изображения, имеется память на поле ТВ кадра. Из соображений минимума аппаратных затрат протяженность ИХ НРФ выбирают по вертикали равной трем периодам строчной развертки (трем строкам), а по горизонтали — трем интервалам дискретизации. Импульсные характеристики каналов вертикальных и горизонтальных ДКЧ:  $h_{y.к.ч}(r, l) = b_v [-0,25\delta(r, l-1) + 0,5\delta(r, l) - 0,25\delta(r, l+1)] + \delta(r, l)$ ,  $h_{x.к.ч}(r, l) = b_g [-0,25\delta(r-1, l) + 0,5\delta(r, l) - 0,25\delta(r+1, l)] + \delta(r, l)$ , где  $\delta(r, l)$ ,  $\delta(r \pm 1, l \pm 1)$  — дельта функции;  $b_v = k_{ч.ч} - 1$ ,  $b_{г.ч} = k_{ч.ч} - 1$  — коэффициенты передачи ФСК по вертикали и горизонтали.

Для такого ДКЧ импульсную характеристику  $h_{к.ч}(r, l) = h_{y.к.ч}(r, l) * h_{x.к.ч}(r, l)$  можно представить на плоскости (рис. 2.2.12), причем

$$h_{к.ч}(r, l) = \begin{pmatrix} \frac{1}{16} b_v b_g, & -\frac{1}{4} b_v \left( \frac{1}{2} b_g + 1 \right), & \frac{1}{16} b_v b_g \\ -\frac{1}{4} b_g \left( \frac{1}{2} b_v + 1 \right), & \left( \frac{1}{2} b_v + 1 \right) \times & -\frac{1}{4} b_g \left( \frac{1}{2} b_v + 1 \right) \\ & \times \left( \frac{1}{2} b_g + 1 \right), & \\ \frac{1}{16} b_v b_g, & -\frac{1}{4} b_v \left( \frac{1}{2} b_g + 1 \right), & \frac{1}{16} b_v b_g \end{pmatrix}.$$

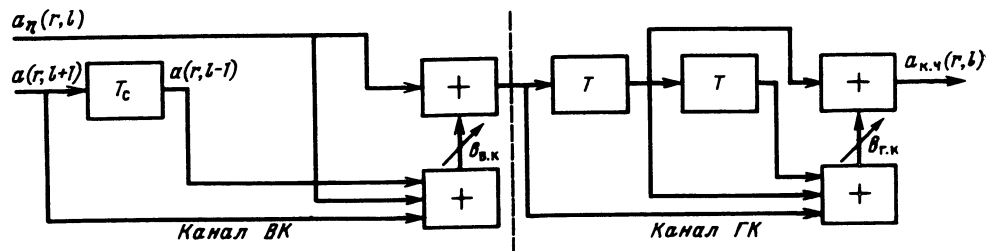


Рис. 2.2.11. Структурная схема последовательности ДКЧ

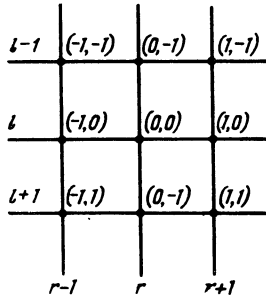


Рис. 2.2.12. Пространственное изображение ИХ ДКЧ

Для последовательного ДКЧ пространственно-частотные характеристики (ПЧХ) каналов по горизонтали и вертикали и двумерная:  $H_{\text{к.ч}}(u, v) = 1 + b_{\text{в}} \sin^2 \pi v \eta$ ,  $H_{\text{к.ч}}(u, v) = 1 + b_{\text{г}} \sin^2 \pi u \eta$ ,  $H_{\text{к.ч}}(u, v) = (1 + b_{\text{в}} \sin^2 \pi v \eta)(1 + b_{\text{г}} \sin^2 \pi u \eta)$ , или в полярных координатах ( $v = f \sin \varphi$ ,  $u = f \cos \varphi$ ):  $H_{\text{к.ч}}(f, \varphi) = (1 + b_{\text{в}} \sin^2 \pi f \eta \sin \varphi) \times (1 + b_{\text{г}} \sin^2 \pi f \eta \cos \varphi)$ .

Для вертикальных ( $\varphi = 0^\circ$  и  $\varphi = 90^\circ$ ) направлений, а также при  $b_{\text{в}} = b_{\text{г}} = b$  ПЧХ совпадают (рис. 2.2.13),

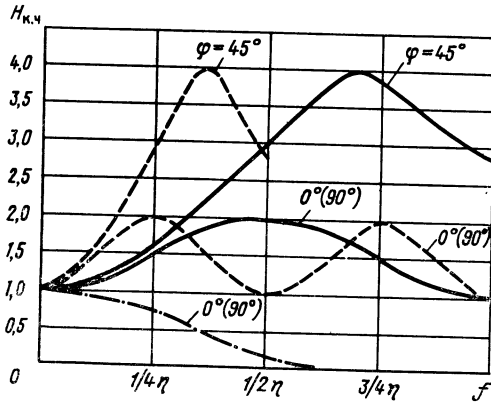


Рис. 2.2.13. Пространственно-частотные ДКЧ для сигналов: — построчного (память на поле), — — — чересстрочного; — · — датчика

а по диагонали  $H_{\text{к.ч}}(f, \pi/4) = (1 + b \sin^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} \eta f)^2$ . При использовании в ДКЧ чересстрочного сигнала интервал между сигналами равен  $2\eta$ , неравномерность ПЧХ в рабочем диапазоне пространственных частот  $1/2\eta$  растет, причем с ростом коэффициента КЧ она увеличивается. Существенно, что максимум подъема ПЧХ при использовании построчного сигнала находится на краю диапазона, где потери четкости наибольшие.

Неравномерность ПЧХ для различных направлений можно уменьшить при использовании параллельного

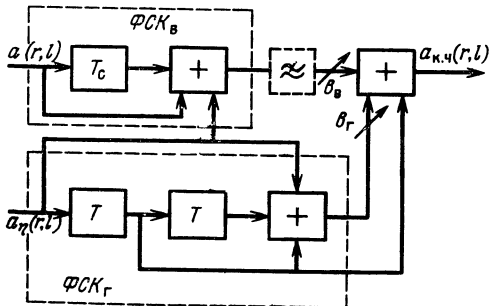


Рис. 2.2.14. Структурная схема параллельного ДКЧ

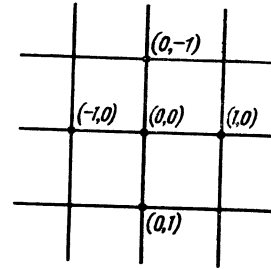


Рис. 2.2.15. Пространственное изображение ИХ ДКЧ

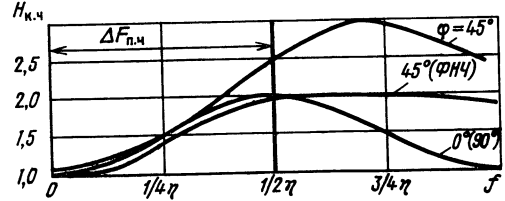


Рис. 2.2.16. Пространственно-частотные характеристики ДКЧ

ДКЧ (рис. 2.2.14) [16, 20, 21], ИХ и ПЧХ которого (рис. 2.2.15, 2.2.16) соответственно

$$h_{\text{в}}(r, l) = b_{\text{в}} \left[ -\frac{1}{4} \delta(r, l-1) + \frac{1}{2} \delta(r, l) - \frac{1}{4} \delta(r, l+1) \right],$$

$$h_{\text{г}}(r, l) = b_{\text{г}} \left[ -\frac{1}{4} \delta(r-1, l) + \frac{1}{2} \delta(r, l) - \frac{1}{4} \delta(r+1, l) \right],$$

$$h_{\text{к.ч}}(r, l) = \frac{1}{2} [h_{\text{в}}(r, l) + h_{\text{г}}(r, l)] + \delta(r, l),$$

$$h_{\text{к.ч}}(r, l) =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{8} b_{\text{в}} & 0 \\ -\frac{1}{8} b_{\text{г}} & \frac{1}{4} b_{\text{в}} + \frac{1}{4} b_{\text{г}} + 1 & -\frac{1}{8} b_{\text{г}} \\ 0 & -\frac{1}{8} b_{\text{в}} & 0 \end{pmatrix}. \quad (2.2.4)$$

$$H_{\text{к.ч}}(u, v) = 1 + b_{\text{в}} \sin^2 \pi v \eta + b_{\text{г}} \sin^2 \pi u \eta,$$

$$H_{\text{к.ч}}(f, \varphi) = 1 + b_{\text{в}} \sin^2 \pi f \eta \sin \varphi + b_{\text{г}} \sin^2 \pi f \eta \cos \varphi,$$

для  $b_{\text{в}} = b_{\text{г}} = b$

$$H_{\text{к.ч}}(f, 0) = H_{\text{к.ч}}\left(f, \frac{\pi}{2}\right) = 1 + b \sin^2 \pi f \eta, \quad (2.2.5)$$

$$H_{\text{к.ч}}\left(f, \frac{\pi}{4}\right) = 1 + 2b \sin^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} f \eta. \quad (2.2.6)$$

Из (2.2.5), (2.2.6) и рис. 2.2.16 следует, что неравномерность ПЧХ параллельного ДКЧ меньше, чем у последовательного. Дополнительное снижение неравномерности ПЧХ, а также уровня помех в сигнале коррекции дает включение ФНЧ в ФСК. Так, при использовании ФНЧ с АЧХ  $H_{\text{ФНЧ}}(u, v) = \cos^2 \pi u \eta$  характеристики ДКЧ равны:



при  $b_B = b_r = 1$

$$h_B(r, l) = \begin{Bmatrix} -\frac{1}{16} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{16} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \\ -\frac{1}{16} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{16} \end{Bmatrix};$$

$$h_{K, \chi}(r, l) = \begin{Bmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \\ -\frac{1}{8} & \frac{7}{4} & -\frac{1}{8} \\ -\frac{1}{16} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{16} \end{Bmatrix},$$

$$H_{K, \chi}(u, v) = 1 + b_B \sin^2 \pi v \eta \cos^2 \pi u \eta + b_r \sin^2 \pi u \eta,$$

$$H_{K, \chi}(f, \varphi) = 1 + b_B \sin^2(\pi \eta f \sin \varphi) \cos^2(\pi \eta f \cos \varphi) + b_r \sin^2(\pi \eta f \cos \varphi),$$

при  $b_B = b_r = b$

$$H_{K, \chi}(f, 0) = H_{K, \chi}(f, \pi/2) = 1 + b \sin^2 \pi \eta f,$$

$$H_{K, \chi}(f, \pi/4) = 1 + b \sin^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} \eta f \left( \cos^2 \frac{\pi}{\sqrt{2}} \eta f + 1 \right).$$

В рабочем диапазоне пространственных частот ( $f \leq 1/2\eta$ ) ПЧХ в диагональном и перпендикулярных направлениях практически совпадают. Размах выбросов  $\delta_B$ , ограничивающий значение достижимого коэффициента коррекции  $k_{\chi, \text{доп}}$ , зависит от ПЧХ корректора. Для ФСК на основе НРФ ( $\eta$ ) с протяженностью ИХ, равной 7 интервалам, и ненулевым отсчетом на каждом из них получено [22], что при  $\delta_B \leq 10\%$   $k_{\chi, \text{доп}} \leq 17,1$  дБ (рис. 2.2.17). С уменьшением протяженности ИХ НРФ

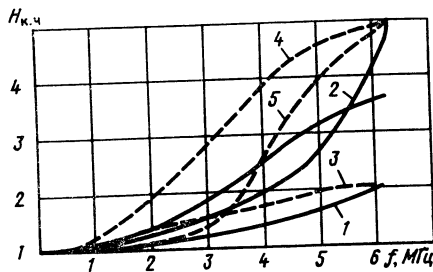


Рис. 2.2.17. Пространственно-частотные характеристики ДКЧ: 1)  $\delta_B = 0$ ,  $K_\chi = 2$ ; 2)  $\delta_B = 0$ ,  $K_\chi = 5$ ; 3)  $H_{K, \chi}(f) = 1 + \sin^2 \frac{\omega T}{2}$ ,  $K_\chi = 2$ ; 4)  $H_{K, \chi}(f) = 1 + 4 \sin^2 \frac{\omega T}{2}$ ,  $K_\chi = 5$ ; 5)  $H_{K, \chi}(f) = 1 + 4 \sin^2 \frac{\omega T}{2}$ ,  $K_\chi = 5$ ; 6)  $H_{K, \chi}(f)$  для  $\delta_{B1} \leq 10\%$ ;  $\delta_{B2} \leq 2\%$ ;  $K_\chi = 2,71$

это значение уменьшается. С учетом ограничения спектра ТВ сигнала ( $F_B = 6,25 \cdot 10^6$  Гц) и типовой ПЧХ датчика ( $f_0 = 5 \cdot 10^6$  Гц)  $k_{\chi, \text{доп}} \leq 8,7$  дБ и обеспечивается на основе НРФ ( $\eta$ ) с протяженностью ИХ, равной 11 [23]. Существенное ограничение  $k_{\chi, \text{доп}}$  вызывает применение НРФ с интервалом  $2\eta$ , что связано с расширением длительности выброса и увеличением его мешающего действия. При использовании НРФ ( $\eta$ ) с протяженностью ИХ, равной 3,  $k_{\chi, \text{доп}} \leq 4$  дБ, для дифференциального ДКЧ со второй производной  $k_{\chi, \text{доп}} \leq 7,4$  дБ, а при использовании в нем второй и четвертой производных  $k_{\chi, \text{доп}} \leq 8,9$  дБ (рис. 2.2.18). Таким образом, допустимый размах выброса можно обеспечить усложнением форми-

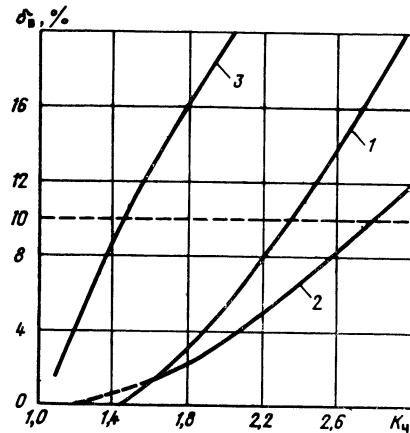


Рис. 2.2.18. Зависимости выброса  $\delta_B$  от коэффициента коррекции  $K_\chi$  для 1 — второй производной, 2 — второй и четвертой производных

рующих НРФ. Основные ограничения на  $k_{\chi, \text{доп}}$  накладывает возрастание помех в процессе КЧ. Анализ показывает, что значение ОСШ для тонкоструктурных деталей изображения изменяется мало. Поэтому  $k_{\chi, \text{доп}}$  ограничивается допустимым снижением  $\psi_{K, \chi, \text{доп}}$  на протяженных деталях. Допустимое снижение коэффициента помехоустойчивости системы  $\Pi_{\text{доп}} \leq \psi_1 / \psi_{K, \chi, \text{доп}} = 1 / (1 - \delta_\psi)$ , где  $\delta_\psi$  — дифференциальный порог заметности помех на протяженных деталях изображения.

Значение  $\delta_\psi$  зависит от  $\psi$ , энергетического спектра  $G_\xi(\omega)$  (рис. 2.2.19) [24], уровня яркости детали  $L$  (рис. 2.2.20) [1], на котором наблюдается шум, и цвет-

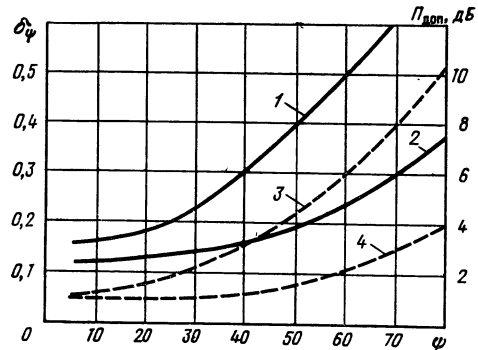


Рис. 2.2.19. Зависимости разностного порога  $\delta_\psi$  и  $\Pi_{\text{доп}}$  от ОСШ для спектров шума (1, 3 — неравномерного, 2, 4 — равномерного)

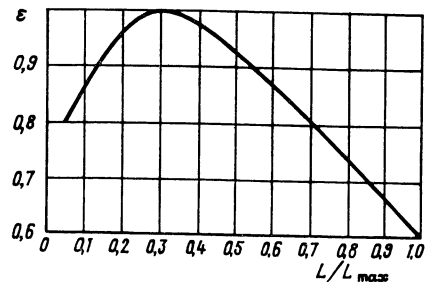


Рис. 2.2.20. Зависимость относительной пороговой заметности шума от яркости

ности. Чувствительность зрения к шумам цветности в 3—5 раз ниже, чем к яркостным.

Зрительное обнаружение этих шумов (равномерно распределенных в полосе 0,6 МГц) при  $\psi$ , дБ, не более:

на желтом фоне . . . . .	31
на сине-зеленом . . . . .	30
Пурпурном . . . . .	34
красном . . . . .	39
зеленом . . . . .	34
синем . . . . .	38

Коэффициент помехоустойчивости [26, 27] при учете только горизонтального ФСК<sub>г</sub> (включение ФНЧ в ФСК приводит к снижению уровня помех):

$$P_{г.к} = \frac{\psi_1}{\psi_{к.ч}} = \frac{\sigma_{г.к.ч}}{\sigma_{г1}} = \left[ \frac{\int_0^{\omega_B} G_{г}(\omega) H_{г,к.ч}^2(\omega) d\omega}{\int_0^{\omega_B} G_{г}(\omega) d\omega} \right]^{0,5}.$$

Для идеальной коррекции гауссовской ПВХ ТВС  $H_{г,к.ч}(\omega) = \exp(\omega/\omega_a)^2$ ,  $m_{г.к} = 1$ ,  $k_ч = 1/m_a$  и  $G_{г}(\omega) = a_0 + a_2\omega^2$  графики зависимости  $P_{г.к}$  от  $k_ч$  представлены на рис. 2.2.21 [27]. Для неравномерного (с подъемом в

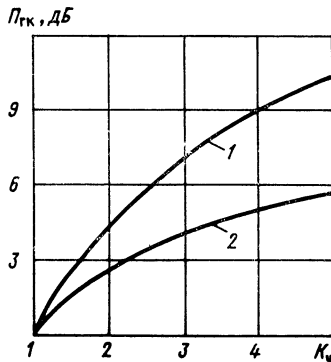


Рис. 2.2.21. Зависимости помехоустойчивости от коэффициента коррекции (1 —  $G(\omega) = a_0 + a_2\omega^2$  ( $a_0 \approx 1,024$ ,  $a_2 = 2,14 \cdot 10^{-14} \text{ c}^2$ ); 2 —  $G(\omega) = a_0$ )

области верхних частот) энергетического спектра шума снижение коэффициента помехоустойчивости больше, чем для шума с равномерным спектром. Для параллельного ДКЧ с НРФ и равномерного спектра шума на входе коэффициент помехоустойчивости

$$P_{к.ч} = \left[ \frac{0,5(n_1-1)}{\sum_{l_1=-0,5(n_1-1)}^{0,5(n_1-1)} r_1} \sum_{r_1=-0,5(m_1-1)}^{0,5(m_1-1)} h^2(r_1, l_1) \right]^{0,5}, \quad (2.2.7)$$

где  $m_1, n_1$  — числа отсчетов конечной ИХ НРФ.

Подставляя значения отсчетов ИХ из (2.2.4), получаем

$$P_{к.ч} = \left( \frac{3}{32} b_B^2 + \frac{3}{32} b_T^2 + 1 \right)^{0,5} \text{ при } b_B = b_T = b = k_ч - 1$$

$$\text{и } P_{к.ч} \approx \left[ \frac{3}{16} (k_ч - 1)^2 + 1 \right]^{0,5}.$$

Для параллельного ДКЧ с ФНЧ коэффициенты помехоустойчивости при спектрах шумов: равномерном

$$P_{к.ч} = \left( \frac{9}{128} b_B^2 + \frac{3}{32} b_T^2 + 1 \right)^{0,5},$$

$$P_{к.ч} \approx \left[ \frac{5}{32} (k_ч - 1)^2 + 1 \right]^{0,5} \text{ при } b_B = b_T;$$

неравномерном

$$G_{г}(\omega) = a_0 + a_2\omega^2, \quad P_{к.ч} \approx (\sigma_{г1}^2 + \sigma_{г2}^2 + \sigma_{г3}^2)^{0,5},$$

где  $\sigma_{г1}^2, \sigma_{г2}^2, \sigma_{г3}^2$  — дисперсии шума в строках матрицы  $h_{к.ч}(r, l)$  в предположении его статистической независимости в соседних строках. В частности, используя равенство  $\sigma_{гi}^2 = h_0^2 - 2,26h_0h_1 + 2,29h_1^2$ , полученное в [23] для типовых значений  $a_0 = 1,024$  и  $a_2 = 2,14 \cdot 10^{-14} \text{ c}^2$ , имеем

$$P_{к.ч} \approx (0,67k_ч^2 - 0,69k_ч + 1)^{0,5}. \quad (2.2.8)$$

Зависимости рис. 2.2.22 и рис. 2.2.16 показывают, что для линейной КЧ  $k_{ч.доп} < 2$ . Для повышения помехоустойчивости ТВС используют нелинейные методы КЧ [21] и нелинейное преобразование сигнала коррекции — двустороннее ограничение по минимуму на уровне  $U_0 \leq$

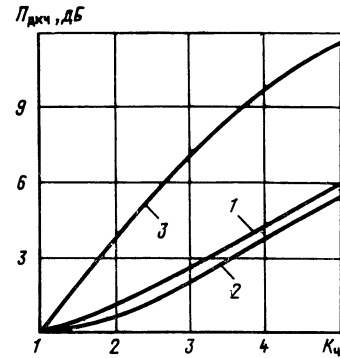


Рис. 2.2.22. Зависимости помехоустойчивости двумерного корректора четкости от коэффициента коррекции  $k_ч$  для равномерного спектра шума при: 1 — отсутствии, 2 — включении ФНЧ, 3 — для  $G(\omega) = a_0 + a_2\omega^2$  при включении ФНЧ

$\leq 3\sigma_{г}$  (рис. 2.2.23). Однако в результате такого ограничения КЧ малококонтрастных тонкоструктурных деталей, занимающих 50...70% площади изображения, отсутствует. Качество ТВ изображений в процессе коррекции повышается недостаточно. Поэтому реально порог  $U_0$  выбирают из компромисса между снижением уровня шумов и качеством КЧ, а выигрыш в помехоустойчивости при использовании нелинейных методов КЧ мал. Адаптивные методы КЧ, обеспечивающие более высокую эффективность, рассмотрены в п. 2.5.

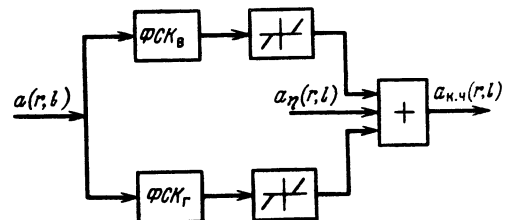


Рис. 2.2.23. Структурная схема нелинейного двумерного корректора четкости

## Список литературы

1. Певзнер Б. М. Качество цветных телевизионных изображений.— М.: Связь, 1980.— 136 с.
2. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И. Определение допусков на величину эхо-сигналов в тракте передачи полного сигнала СЕКАМ // Техника кино и телевидения.— 1976.— № 9.— С. 62—68.
3. Секен К., Томпсет М. Приборы с переносом заряда.— М.: Мир, 1978.— 327 с.
4. Фридман А. Н., Яковлев С. Б. Модуляционные характеристики однострочных ТВ систем на приборах с зарядовой связью // Техника кино и телевидения.— 1980.— № 3.— С. 49—52.
5. Фридман А. Н., Яковлев С. Б. Датчики изображения на основе приборов с зарядовой связью // Техника кино и телевидения.— 1977.— № 8.— С. 51—57.
6. Poetsch D. Neue Lösungswege bei der Filmablasung // Fernseh — und Kino — Technik.— 1978.— V. 32, № 9.— P. 349—354.
7. Жабик А. М., Шерайзин С. М. Зависимость временных параметров видеосигнала от характеристик устройств построчного преобразования. Изв. вузов СССР // Радиоэлектроника.— 1976.— Т. XIX, № 5.— С. 47—52.
8. Флори Р. Е. Технические средства получения изображений // ТИИЭР.— 1985.— Т. 73, № 4.— С. 131—162.
9. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Частотно-контрастные характеристики цветных мониторов // Техника кино и телевидения.— 1985.— № 5.— С. 30—35.
10. Однолько В. В. Новая камерная система вещательного телевидения // Техника кино и телевидения.— 1986.— № 3.— С. 4—11.
11. Кантор Л. Я., Минашин В. П., Тимофеев В. В. Спутниковое вещание.— М.: Радио и связь, 1981.— 232 с.
12. Новаковский С. В. Стандартные системы цветного телевидения.— М.: Связь, 1976.— 368 с.
13. Кусторов А. К., Шендерович А. М. Искажения цветного телевизионного изображения.— М.: Связь, 1978.— 184 с.
14. Влияние размытия цветowych границ на качество изображения. О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, С. В. Ершов и др. // Электросвязь.— 1976.— № 11.— С. 54—56.
15. Brown E. F. Television: the Sybjective Effects of Filter Ringing Transients // J. SMPTE.— 1969.— Т. 78, № 4.— P. 249—255.
16. Oliphant A., Weston M. A. Digital Telecine Processing Cannel // J. SMPTE.— 1978.— V. 88, № 7.— P. 474—480.
17. Брауде Г. В. Коррекция телевизионных и импульсных сигналов.— М.: Связь, 1967.— 247 с.
18. Хромой Б. П. Расчет схем апертурных корректоров.— М.: МЭИС, 1965.
19. Куприянова Г. К. Коррекция апертурных искажений вещательных камер цветного телевидения // Техника кино и телевидения.— 1972.— № 10.— С. 37—41.
20. Сорока Е. З., Хлебородов В. А. Апертурная коррекция телевизионного изображения // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения.— 1973.— Вып. 3.— С. 31—41.
21. Fremeno A. de M. A Fully Digital Telecine System // J. BKSTS.— 1983.— V. 65, № 5.— P. 210—214.
22. Zamperoni P. Über die Grenzen der linearen Aperturentzerrung in Fernsehaufnahmegeräten mit gaußscher Kontrastübertragungsfunktion // Fernseh — und Kino-Technik.— 1973.— № 1.— S. 9—11.
23. Антипин М. В. Интегральная оценка качества телевизионного изображения.— Л.: Наука, 1970.— 154 с.

24. Фудзиро Сато. Характеристики восприятия цветowych шумов в цветной вещательной системе // Тэрэбидзен.— 1966.— № 12.— С. 818—827.
25. Хромой Б. П., Балобанов В. Г., Безруков В. Н. Влияние частотной характеристики апертурного корректора на отношение сигнал/шум // Техника кино и телевидения.— 1969.— № 12.— С. 45—46.

**2.2.3. Амплитудные характеристики.** Свойство приемника излучения вырабатывать электрический сигнал определенного уровня под действием падающего на него потока излучения нельзя выразить одним значением крутизны преобразования, так как зависимость сигнала  $\bar{U}$  от потока  $\Phi$  нелинейна. Необходимо знать зависимость выходного сигнала от светового потока, или освещенности изображения во всем рабочем диапазоне. Это и есть АХ приемника излучения, которую называют *световой характеристикой преобразователя* — характеристика свет-сигнал (рис. 2.2.24, 2.2.25). Световая харак-

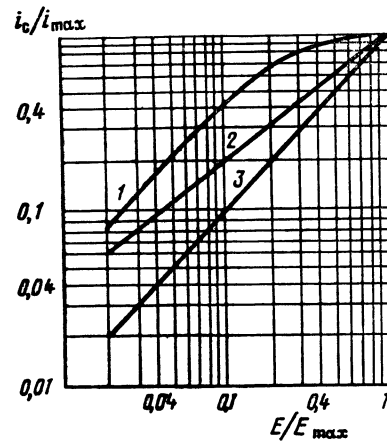


Рис. 2.2.24. Световые характеристики преобразователей свет-сигнал (1 — суперортрон, 2 — видикон, 3 — плюмбикон)

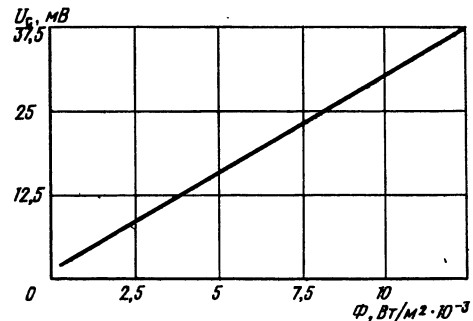


Рис. 2.2.25. Световая характеристика ФПЗС-1М на длине волны излучения  $\lambda = 0,53$  мкм

теристика видикона мало зависит от содержания передаваемого изображения, контраста и размера его деталей, однако при малых контрастах такой зависимости пренебрегать нельзя. На рис. 2.2.26 даны световые характеристики трубки ЛИ23, измеренные для крупного и мелкого объектов при разных контрастах. Наблюдающееся падение тока с понижением контраста связано со смещением по статической характеристике свет-сигнал в направлении больших освещенностей. Статическую характеристику — зависимость перепада сигнала изображения от неосвещенного участка к освещенному переменной яркости.

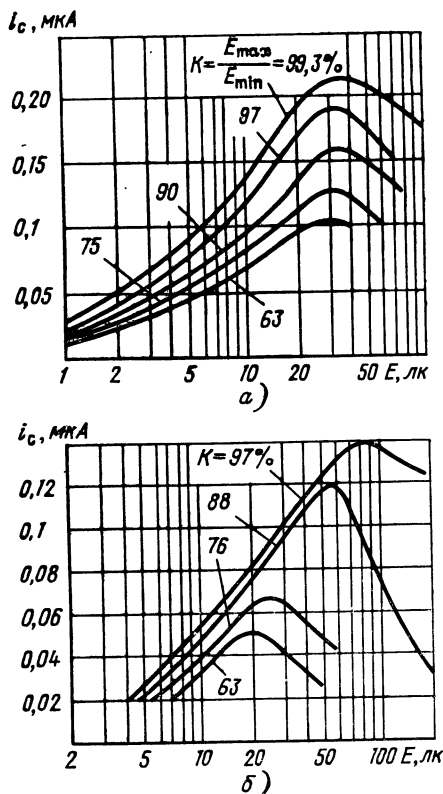


Рис. 2.2.26. Световые характеристики видикона ЛИ-23, измеренные для планов: а — крупного; б — мелкого

Форма световой характеристики и уровень сигнала видикона сильно зависят от свойств фотопроводящего слоя и электрического режима (потенциала сигнальной пластины и тока пучка). Рабочий участок световой характеристики позволяет воспроизводить контраст изображения в пределах 60—100. По световым характеристикам видикона ЛИ 415 (рис. 2.2.27) видно, что нелиней-

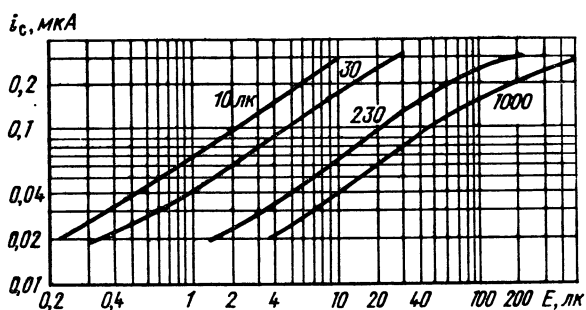


Рис. 2.2.27. Световые характеристики видикона ЛИ415, снятые при оптимальной настройке для разных освещенностей

ность в диапазоне сигнала 0,02...0,2 мкА равна значениям соответственно 0,61; 0,57; 0,54 и 0,68. Эти характеристики существенно зависят от температуры, с ростом которой увеличивается как полезный сигнал, так и темновые токи. При увеличении температуры с 30 до 60°С сигнал растет примерно на 50...70%. Из-за роста темнового тока быстро ухудшается неравномерность фона. Приводимые в справочной литературе световые характеристики видиконов снимают при  $t = (30 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Пломбиконы имеют почти линейную световую характеристику, что заставляет применять в видеокана-

ле корректоры контраста нелинейности кинескопа. Пломбиконы обладают высоким ОСШ примерно (200:1), что объясняется малыми значениями темновых токов  $(3...5) \cdot 10^{-3}$  мкА и высокой равномерностью (неравномерность уровня черного не более 1%). Световую характеристику аппроксимируют степенной функцией, а наклон ее определяют по показателям степени этой функции. Наклон световой характеристики показывает, можно ли получить на ТВ изображении такое же соотношение яркостей, как на передаваемом объекте, без применения корректоров. По световой характеристике определяют диапазон рабочих освещенностей, в котором может работать трубка. Это зависит от положения начальной и конечной точек световой характеристики. За конечную принимают точку, соответствующую заданному снижению значения  $\gamma$ . Ее положение весьма условно, так как зависит от того, какие требования предъявляются к качеству изображения. Положение начальной точки зависит от чувствительности трубки: чем она дальше от начальной, тем при более низкой освещенности достигается минимальный уровень сигнала.

**2.2.4. Нелинейные искажения сигналов и их коррекция.** На качество изображения, воспроизводимого на экране кинескопа, существенно влияет форма АХ ТВ тракта. Тракт включает в себя большое число элементов, которые могут иметь нелинейную АХ. Это передающая трубка, видеоусилитель ТВ центра, модулятор и ВЧ каскады радиопередатчика, усилители высокой и промежуточной частот приемника, детектор, видеоусилитель и, наконец, кинескоп. Большинство из перечисленных выше элементов при нормальных режимах работы не должны вносить заметных нелинейных искажений. Это достигается рациональным конструированием аппаратуры. Тогда нелинейность ТВ тракта будет определяться световыми характеристиками приемного и передающего кинескопов, т. е. зависимостью тока сигнала от освещенности на фотокатоде. Эта характеристика зависит от ряда факторов, электрического и светового режима и выражается сложной функцией. Точность, которая получается при аппроксимации реальной световой характеристики простой степенной функцией, достаточна, если речь идет о ЧБ ТВ. Аппроксимируем реальную функцию  $i_{\text{сигн}} = f(E)$ , обычно учитывают то, что, во-первых, освещенность фотокатода должна быть пропорциональна яркости объекта, во-вторых, напряжение на нагрузочном сопротивлении кинескопа должно быть пропорционально току сигнала. Следовательно, ее можно представить в виде  $U_{\text{сигн}} = \phi(B_{\text{об}})$ . Здесь  $U_{\text{сигн}}$  — напряжение сигнала передающей трубки, а  $B_{\text{об}}$  — яркость передаваемого объекта:

$$U_{\text{сигн}} = k_1 B_{\text{об}}^{\gamma_1}, \quad (2.2.9)$$

где  $\gamma_1$  —  $\gamma$  — коэффициент — показатель степени, определяющий форму световой характеристики.

Световые характеристики кинескопов имеют разные значения показателя  $\gamma_1$ , причем  $\gamma_1 \leq 1$ . Например, для видикона  $\gamma_1 = 0,6...0,7$ , для пломбикона  $0,8...1$ . Амплитудная характеристика кинескопа (рис. 2.2.28) представляет собой зависимость яркости свечения экрана от напряжений на модулирующем электроде и с достаточной для практики точностью, аппроксимируется функцией

$$B_{\text{из}} = k_2 U_{\text{сигн}}^{\gamma_2}, \quad (2.2.10)$$

Обычно  $\gamma_2 = 2...3 > 1$ . Если считать остальные звенья тракта линейными, то общая АХ «от света до света» может быть выражена аналитически, путем подстановки значения  $U_{\text{сигн}}$  из (2.2.9) в (2.2.10)

$$B_{\text{из}} = k_2 (k_1 B_{\text{об}}^{\gamma_1})^{\gamma_2} = k B_{\text{об}}^{\gamma}, \quad (2.2.11)$$

где  $k = k_1^{\gamma_2} k_2$ ;  $\gamma = \gamma_1 \gamma_2$ ;  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k$  — коэффициенты пропорциональности, не влияющие на оценку нелинейных искажений (целесообразно из расчетов исключить). Для

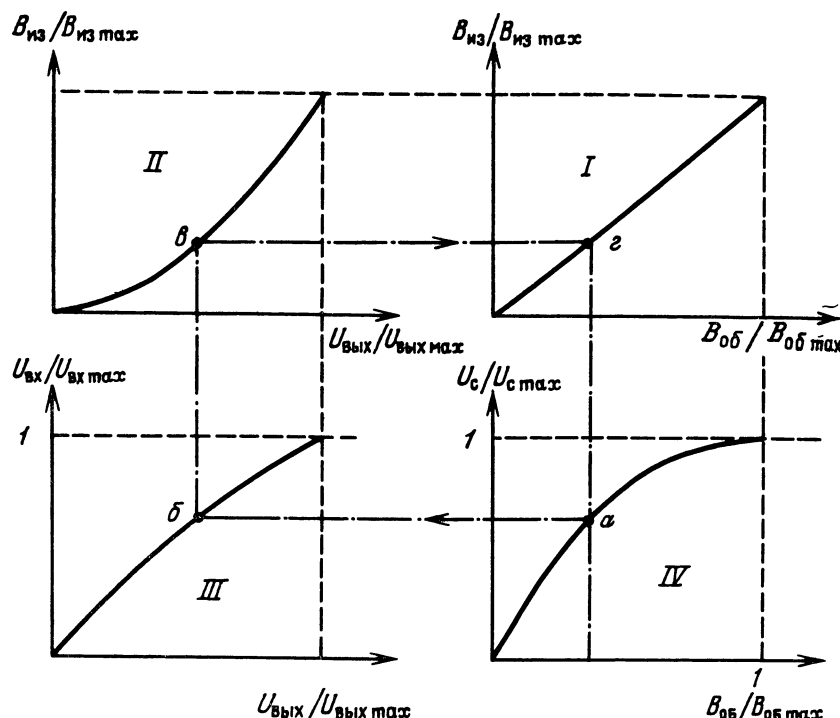


Рис. 2.2.28. Амплитудные характеристики ТВ тракта

этого следует выразить значения  $B_{из}$  и  $B_{об}$  в относительных единицах. Как следует из (2.2.9),  $B_{из max} = k B_{об max}$ , откуда получаем

$$B_{из}/B_{из max} = (B_{об}/B_{об max})^\gamma. \quad (2.2.12)$$

Выразить общую световую характеристику (см. рис. 2.2.28) в относительных единицах удобно, так как значения входящих в (2.2.12) величин изменяются в пределах  $0 \dots 1$  и  $k=1$ . Наличие нелинейных искажений можно установить путем подачи на вход ТВ изображения градиационного клина. Неискаженная передача возможна лишь при  $\gamma=1$ . При  $\gamma \neq 1$  яркость воспроизводится неверно. Как видно из рис. 2.2.25, перепады яркостей между отдельными ступенями не равны между отдельными ступенями 1; 2; 3, на выходе ( $m_{вых}$ ) они неразличимы. Число различных градаций на приемном конце становится равным 4. Таким образом, нелинейные искажения ЧБ ТВ сигнала проявляются как градиационные искажения. Искажения при передаче градаций яркости, возникающие вследствие нелинейности АХ ТВ тракта, не всегда приводят к ухудшению качества визуально воспринимаемого изображения, так что контрастность изображения, воспринимаемого на экране кинескопа, как правило, значительно меньше контрастности передаваемого изображения, а изображение отличается от оригинала, даже при линейном тракте. Если АХ имеет изгиб с умеренной выпуклостью книзу  $\gamma > 1$ , то изображение на экране субъективно улучшается. Для пояснения этого явления разобьем интервал  $0 \dots 1$  по осям как  $B_1$ , так и  $B_2$  (см. рис. 2.2.28) на три равных участка, которые условно назовем соответственно «черным», «серым», «белым» (Ч, С и Б). При идеальной линейной АХ 0—1 черному, серому и белому на фотокатод передающей трубки будут в тех же относительных количествах соответствовать черное, серое и белое на экране кинескопа (точки  $a$ ,  $b$  и  $z$ ). При нелинейной АХ 0—2 черному и серому на передаче будет соответствовать на приеме только черное (точка  $a'$ ). Таким образом, нелинейная АХ 0—2 приводит к сжатию теней и затемнению серых «вялых» тонов. Это явление похоже на печатание с

недодержанного негатива на контрастной бумаге, когда слабовыраженные участки изображения становятся темнее. Можно сказать, что нелинейная АХ 0—2 «ретуширует» ТВ изображение, делая его более разборчивым и контрастным. Нелинейные искажения при АХ 0—1/2, наоборот, существенно ухудшают качество изображения. Как видно из рис. 2.2.28, черное в значительной степени становится серым (точка  $b''$ ), а серое переходит в белый цвет (точки  $b'$  и  $b'''$ ). Практика показывает, что наивысшая субъективная оценка качества черно-белого ТВ изображения получается при  $\gamma=1,5 \dots 2$ .

Следует отметить, что иной подход к оценке влияния нелинейности должен быть, когда ее мерой служит не степень художественности восприятия изображений, а степень его объективного соответствия оригиналу. Такой подход имеет место при использовании ТВ для решения прикладных задач в народном хозяйстве, когда ТВС должна обладать определенными метрологическими характеристиками, а изображение предназначено не для визуального наблюдения, а для анализа с помощью устройств (например, ЭВМ) и нелинейные искажения должны быть либо учтены при обработке сигнала, либо скорректированы. Коррекция нелинейных искажений необходима в цветной ТВС, так как иначе возникнут не только яркостные искажения (как в ЧБ ТВ), но и более заметные на глаз, и поэтому совершенно недопустимые искажения цветов. Необходимую форму АХ корректора нелинейных искажений можно получить путем геометрических построений, показанных на рис. 2.2.29. Здесь в IV квадранте изображена световая характеристика передающей трубки, а во II — приемной. При наличии  $\gamma$ -корректора с АХ, изображенной в III квадранте, зависимость  $B_{из} = f(B_{об})$  получается последовательным переносом точек  $a-b-z-g$ . Если задана зависимость  $B_{из} = f(B_{об})$ , корректор можно построить аналогично, только исходной будет точка  $z$ , в I квадранте. Преимуществом графического метода определения формы АХ  $\gamma$ -корректора является большая точность, поскольку при построении используют реальные АХ передающей и приемной трубок и нет погрешности, связанной с аппрок-

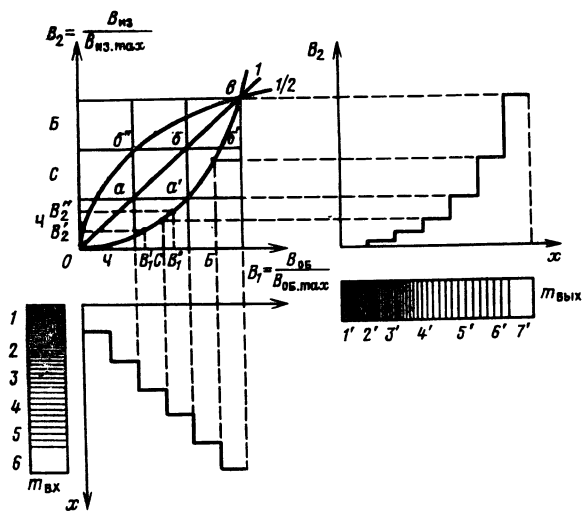


Рис. 2.2.29. К графическому определению требуемой характеристики корректора

симацией. Гамма-корректор обычно включают в состав оборудования передающего ТВ центра. Построение принципиальной схемы  $\gamma$ -корректора основано на применении нелинейных элементов с таким расчетом, чтобы, регулируя нелинейность, можно было изменять их АХ в желаемых пределах. В устройстве (рис. 2.2.30) отрицательная обратная связь меняется нелинейно в зависимости от мгновенного значения ТВ сигнала, подаваемого на затвор полевого транзистора. При отсутствии сигнала диоды VD1 и VD2 в цепи истока заперты напряжениями  $U_1$  и  $U_2$ . При определенном положительном сиг-

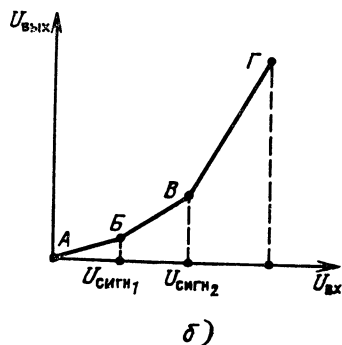
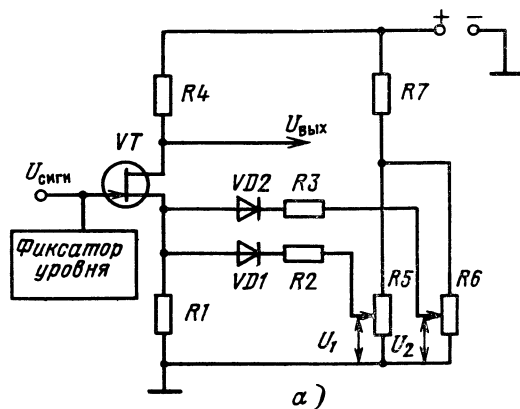


Рис. 2.2.30. К объяснению работы  $\gamma$ -корректора: а — схема; б — амплитудная характеристика

нале  $U_{сигн1}$  на затворе сначала отпирается диод VD1 и сопротивление в цепи истока уменьшается от первоначального  $R_1$  до  $R_{н} = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2)$ . При еще большем сигнале  $U_{сигн2}$  отпирается и второй диод VD2, а сопротивление в цепи истока уменьшается еще сильнее:  $R_{н'} = R_{н} R_3 / (R_{н} + R_3)$ , так как параллельно  $R_{н}$  включается резистор  $R_3$ . У каскада на полевом транзисторе с резистором в цепи истока, не зашунтированным конденсатором, коэффициент усиления  $K = U_{вых} / U_{вх} = S_d R_4$ , где  $S_d = S / (1 + S R_{н})$  — динамическая крутизна;  $R_4$  — сопротивление в цепи стока;  $R_{н}$  — резистор в цепи истока;  $S$  — статическая крутизна. Таким образом, наличие в цепи истока резистора приводит к уменьшению усиления. Если учесть, что сопротивление  $R_{н}$  (рис. 2.2.30, а) уменьшается с увеличением сигнала на затворе, то коэффициент усиления растет. Ломаная линия АБВГ приближенно может быть принята за требуемую, однако с увеличением числа диодов, поочередно вступающих в действие, она приближается к требуемой.

**2.2.5. Шумы преобразователя.** Проявляются они в виде флуктуаций тока сигнала, т. е. хаотического отклонения его значения от определяемого характером передаваемой сцены. Наличие шумов в сигнале изображения нарушает подобие между ТВ изображением и передаваемой сценой, т. е. приводит к ухудшению качества воспроизведения. По происхождению шумы разделяют на несколько групп. **Дробовые шумы** — следствие хаотичности эмиссионных процессов испускания электронов, происходящих в термо-, фото и вторично-электронных эмиттерах и катодах. Спектральная плотность таких шумов не зависит от частоты, а эффективное их значение пропорционально корню квадратному из частоты. Известная формула Шотки устанавливает следующую зависимость среднего значения квадрата флуктуаций тока, вызванных дробовым эффектом от тока сигнала  $I_c$ :  $I_{др}^2 = 2 I_c e \Delta f$ , где  $e$  — заряд электрона,  $\Delta f$  — полоса частот. К дробовым шумам относятся также **фотонный шум** падающего на преобразователь потока фотонов, соответствующих данному участку светового поля, который необходимо учитывать в преобразователях, содержащих электронно-оптический преобразователь (в суперкремниках, секонах), а также в твердотельных преобразователях с внутренним фотоэффектом, например ФППЗ. Флуктуации в потоке фотонов в первом приближении подчиняются распределению Пуассона, поэтому среднее квадратическое значение флуктуаций числа фотонов  $n_s$ , отнесенное к единице площади:  $\sigma_{n_s} = \sqrt{\Delta n_s^2} = \sqrt{n_s}$ .

В суперортиконах, в которых для усиления сигнала используют вторично-электронные умножители, среднее квадратическое значение флуктуаций тока сигнала на выходе умножителя  $I_{др}^2 = 2 I_c e \Delta f \sigma / \sigma - 1 \sigma^{2m}$ , где  $\sigma$  — коэффициент вторичной эмиссии каждого каскада умножителя. Ток  $I_c$  определяется током пучка трубки падающего на первый каскад умножителя, а  $\sigma^m$  — коэффициент усиления умножителя;  $m$  — число каскадов умножителя.

**Тепловой шум**, возникающий на резисторе нагрузки преобразователя, нужно учитывать при подсчете суммарного шума. Зависимость среднее квадратического значения флуктуаций напряжения в полосе частот  $\Delta f$  от температуры  $T$ , сопротивления в нагрузочной цепи  $R$  устанавливается формулой Найквиста:  $\bar{v}_r^2 = 4 k T R \Delta f$ , где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град — постоянная Больцмана;  $R$  — активная составляющая комплексного сопротивления входной цепи. В полупроводниках шумом, аналогичным дробовому, является **генерационно-рекомбинационный шум**. В них также наблюдаются тепловые шумы. Экспериментом установлен квадрат полного шумового тока в полупроводнике

$$i_{ш}^2 = \left[ \frac{k_1 i^2}{f^\beta} + \frac{k_2 i^2}{1 + \left( \frac{f}{f_1} \right)^2} + \frac{4 k T}{R} \right] \Delta f,$$

где  $k_1, k_2, f_1, \alpha$  и  $\beta$  — постоянные, определяемые экспериментально;  $\beta \approx 1, \alpha \approx 2$ .

В спектре шума полупроводника хорошо различимы три характерные области частот. В первой доминирующим является токовый шум. Начиная с некоторой частоты, он оказывается меньшим, чем генерационно-рекомбинационный шум, и последний остается определяющим вплоть до частот, при которых он существенно уменьшается. Выше этих частот остается лишь тепловой шум, обычно существенно меньший, чем токовый шум в первой области или генерационно-рекомбинационный шум в первой и второй. Соотношение этих составляющих шумов существенно различно для разных материалов. Например, в антимониде индия уже при комнатной температуре тепловой шум преобладает на всех частотах. В большинстве случаев в области низких частот наиболее серьезные ограничения использования полупроводников вносит токовый шум.

**Токовый шум** или, как его иногда называют,  $1/f$ -шум, **фликкер** — шум, шум контактов или избыточный имеет несколько источников. Название  $1/f$ -шум связано с тем, что спектральная плотность его энергии изменяется в зависимости от частоты как  $|f|^{-\alpha}$ , где  $\alpha = 0,8 \dots 1,2$ . Эту зависимость наблюдают при понижении частоты до значений порядка  $10^{-6}$  Гц. Анализ работы в ТВ аппаратуре показывает, что чувствительность преобразователей свет-сигнал определяется типом преобразователя и характеристиками входных цепей усилителей. В суперорбитиконе основной вклад в шум преобразователя вносят флуктуации считывающего тока луча и процесс вторично-электронного умножителя. Особенности данных трубок — возрастание уровня шумов на темных участках изображения по сравнению со светлыми. Для видеотракта с этими преобразователями ОСШ практически не зависит от шумов предварительного усилителя. Она определяется шумами трубки и достигает значений  $40 \dots 70$ . Суперикоскоп характеризуется более высоким значением ОСШ, примерно 100. На выходе камерного канала ОСШ определяется шумами предварительного усилителя, в котором применяют глубокую противозумовую коррекцию. Собственные шумовидикона ничтожно малы по сравнению с собственными шумами предварительного усилителя. В полосе 7,8 МГц значение ОСШ достигает 200. В результате ОСШ ТВ камеры на видеоконе полностью определяется собственными шумами входной цепи предварительного усилителя. Пломбиконы, как и видеоконны, обладают высоким значением ОСШ (примерно 200) и характеризуются малым уровнем (менее  $5 \cdot 10^{-3}$  мкА) и неравномерностью темнового тока (не более 1%), что предопределило их использование в высококачественных ТВ камерах. Низким уровнем собственных шумов характеризуются также трубки с докоммутационным усилением и кремниевой мишенью. Например, на выходе камерного канала на суперкремникоме при освещенности на мишени трубки  $10^{-2}$  лк значение ОСШ достигает 100. На работу преобразователей изображения на ФППЗ существенно влияют их специфические шумы. Это шумы, связанные с неоднородностью темнового тока и чувствительностью элементов преобразователя, а также флуктуационные. К флуктуационным шумам помимо дробовых шумов фотогенерированных носителей заряда, образованных источником сигнала, относятся шумы темнового тока, фонового заряда, минимально необходимого для эффективного переноса зарядов, шумы процесса переноса пакетов заряда, а также шумы входного и выходного устройств ФППЗ.

Среднеквадратическое значение шумов фотогенерированных носителей заряда, образованных под действием источника излучения, определяются средним числом их шумовых электронов (фонового заряда)

$$\bar{N}_{\Phi} = \sqrt{N_{из}}. \quad (2.2.13)$$

где  $N_{из}$  — число фотоэлектронов, накопленных элемен-

том ФППЗ за время интегрирования. Если  $N_{из} = 10^6$  эл., то в соответствии с (2.2.13)  $\bar{N}_{\Phi} = 1000$  эл. Для уменьшения потерь, возникающих в процессе переноса заряда, связанных с захватом носителей на быстрых поверхностных состояниях, в ФППЗ часто вводят определенный (около 10% сигнала заряда) фоновый заряд оптическим, тепловым или электрическим способом, что приводит к появлению шумов фонового заряда. Наличие оптического и теплового вводов фонового заряда приводит к появлению дробовых шумов оптического  $\bar{N}_{\Phi,о}$  и теплового  $\bar{N}_{\Phi,т}$ , значения которые можно определить по формулам, аналогичным фотонному шуму источников излучения:  $\bar{N}_{\Phi,о} = \sqrt{N_{опт}}$ ,  $\bar{N}_{\Phi,т} = \sqrt{N_{т}}$ , где  $N_{опт}$  и  $N_{т}$  — число носителей в фоновом заряде, приходящемся на один пакет, для оптического и теплового вводов соответственно. Если  $N_{опт} = N_{т} = 10^5$ , то по (2.2.56) находим  $\bar{N}_{\Phi,о} = \bar{N}_{\Phi,т} = 316$  эл. на зарядовый пакет. Достаточно часто фоновый заряд вводят электрическим способом с помощью  $p-n$ -перехода. Наличие теплового шума на сопротивлении входной цепи приводит к тому, что заряды из диффузионного потока в потенциальную яму инжектируются случайно. Это вызывает шум электрического ввода фонового заряда. Среднеквадратическое значение этого шума, выраженное числом шумовых электронов  $\bar{N}_{\Phi,э}$ , связано с емкостью входной потенциальной ямы  $C_{вх}$  выражением

$$\bar{N}_{\Phi,э} = \frac{1}{q} \sqrt{kTC_{вх}},$$

где  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл — заряд электрона.

Для комнатной температуры ( $T = 295$  К) можно написать  $\bar{N}_{\Phi,э} = 400 \sqrt{C_{вх}}$ , где  $C_{вх}$  выражается в пикофарадах. При  $C_{вх} = 0,01$  пФ  $\bar{N}_{\Phi,э} = 40$  эл. на зарядовый пакет. Таким образом, заданный электрический ввод фонового заряда приводит к меньшим шумам по сравнению с оптическим или тепловым вводом.

**Шум выходного устройства** включает в себя шумы установочного потенциала узла детектирования и шумы полевого транзистора первого каскада предварительного усилителя:

$$\bar{N}_d = \frac{1}{q} \sqrt{\frac{2}{3} kTC_d}, \quad \bar{N}_y = \frac{1}{q} C_d \epsilon_{ш} \sqrt{\Delta f},$$

где  $C_d$  — полная емкость узла детектирования, включающая емкости плавающей диффузионной области и затвора полевого транзистора;  $\epsilon_{ш}$  — эквивалентное шумовое напряжение полевого транзистора. При типовых значениях  $C_d = 0,5$  пФ и  $\epsilon_{ш} = 20$  нВ/Гц шумы составляют соответственно  $\bar{N}_d = 160$  и  $\bar{N}_y = 60$  эл. на зарядовый пакет. Уменьшить шумы установки потенциала узла детектирования можно использованием усилителя с плавающим затвором или двойной коррелированной выборки. Темновой ток ФППЗ связан с тепловой генерацией электронно-дырочных пар и пропорционален времени накопления заряда, площади элемента, зависит от температуры преобразователя и темпа термической генерации носителей заряда, создаваемых рекомбинационно-генерационными центрами у поверхности и в объеме полупроводниковой подложки. Темновой ток сопровождается дробовыми шумами, называемыми шумами темнового тока

$$\bar{N}_{ш,т} = \sqrt{\frac{j_t A T_n}{q}},$$

где  $j_t$  — плотность темнового тока;  $A$  — площадь элемента разложения;  $T_n$  — время накопления. При  $j_t = 20$  нА/см<sup>2</sup>,  $A = 690 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup> и  $T_n = 20$  мс получаем  $\bar{N}_{ш,т} = 130$  эл. Следует отметить, что темновой ток отдельных ячеек ФППЗ существенно неоднороден, что приводит к импульсным помехам, проявляющимся в виде пятен на изображении. Их можно устранить при обра-

ботке сигнала. Процесс переноса заряда в ФППЗ сопровождается появлением шумов, мощность которых пропорциональна числу переносов  $n$ . В преобразователе с поверхностным каналом уровень шумов, обусловленных захватом носителей быстрыми (с постоянной времени, равной времени переноса пакета заряда) поверхностными состояниями:  $\bar{N}_n = \sqrt{2 \ln 2 k T N_{n,c} S}$ , где  $N_{n,c}$  — плотность поверхностных состояний;  $S$  — площадь электродов, под которыми прошел заряд при движении к выходному устройству. В преобразователе с кадровой организацией  $S = (n_y + n_n) p^2 l_x l_y + n_x p l_x l$ , где  $p$  — число фаз в элементе регистров;  $l_x, l_y$  — ширины фаз в выходном регистре и в секциях накопления и памяти;  $l$  — ширина канала переноса в выходном регистре,  $n_n$  — число элементов по вертикали в секции памяти;  $n_y$  — номера строки, на котором лежит данный элемент, и элемента. Если принять  $N_{n,c} = 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ ;  $p = 3$ ,  $l_y = 10 \text{ мкм}$ ,  $l_x = 7,7 \text{ мкм}$ ,  $l = 50 \text{ мкм}$ ,  $n_n = 288$ , то для крупноформатного ФППЗ размером  $576 \times 512$  эл. для самого удаленного элемента получаем значение шумов  $\bar{N}_n = 2000$  эл. Помимо перечисленных в ФППЗ существуют *шумы генератора тактовых импульсов*, но их уровень сравнительно мал, и их вкладом в результирующий шум можно пренебречь. Если учесть, что перечисленные составляющие шумов ФППЗ, которые статистически независимы и складываются квадратично, то суммарные шумы на выходе матричного ФППЗ при рассчитанных выше значениях составляющих будут достигать значения  $\bar{N}_n = 2500$  эл. Если максимальное значение накопленного сигнального заряда в ячейках типового ФППЗ с поверхностным каналом достигает значения  $N_c = 1 \cdot 10^6$  эл., то значение ОСШ в элементе матричного ФППЗ будет  $\psi = N_c / \bar{N}_n = 1 \cdot 10^6 / 2500 = 400$ . При этом необходимо иметь в виду, что такое высокое значение можно реализовать при условии компенсации темновых токов в ФППЗ, неравномерность которых по полю изображения может достигать 10% максимального размаха сигнала.

Особенность *шумов переноса* — сильная корреляционная связь между шумами соседних зарядовых пакетов, что приводит к тому, что шумы переноса при суммировании зарядовых пакетов на выходе ФППЗ остаются такими же, как и в отдельно взятом пакете. Этот факт позволяет эффективно использовать ФППЗ с поверхностным каналом (в этих приборах шумы переноса преобладают) для обнаружения протяженных малоконтрастных объектов, а ОСШ может возрастать на значение, превышающее корень квадратный из числа суммируемых пакетов зарядов.

## 2.2.6. Методы улучшения отношения сигнал—шум:

1. *Помехи*. Основными источниками флуктуационных помех (ФП) являются: датчик первичного ТВ сигнала, кинопленка, видеозапись, линия связи, радиотракт телевизора. Флуктуационная помеха создает на изображении ложные детали. Их случайные изменения — пространственно-временные, по интенсивности, цветности, не свойственные реально наблюдаемым объектам и оптическим изображениям, существенно снижают качество передачи ТВ изображений. Влияние ФП сказывается на ухудшении различения мелких деталей и полутонов и зависит от мощности шума и его спектрального состава. Мощность шума принято характеризовать отношением  $\psi$  максимального размаха сигнала к среднеквадратическому значению шума  $\sigma_\Sigma$ . Шумы датчика ТВ сигнала на передающих трубках с внутренним фотоэффектом (плумбикон, сатикон, кремникон) определяются шумами входной цепи предварительного усилителя. При использовании в ней простой противощумовой коррекции энергетический спектр шума  $G_\Sigma(\omega) = a_0 + a_2 \omega^2$  ( $a_0$  и  $a_2$  — частотно-независимые коэффициенты). Основные источники шума в ПЗС-датчиках сигналов  $E_R, E_B, E_V$ : генерация фонового заряда, неполный перенос зарядов, поверхностные состояния, темновой ток, плавающая диффузионная область. Результаты оценки суммарной

энергии шумов линейных ПЗС-датчиков показывают, что она невелика и обеспечивает динамический диапазон передачи 55...60 дБ. Для указанных датчиков шум имеет аддитивный характер и практически не зависит от уровня сигнала. Применение *неадаптивных* (инвариантных к структуре изображения) методов коррекции градационных и апертурных искажений приводит к возрастанию уровня помех на 10...15 дБ. В системе телекино имеются *гранулярные шумы*, возникающие из гранулярной структуры кинопленки, в виде зернистости однородных полей изображения. Среднеквадратическое значение этих шумов  $\sigma_{gr}$  описывается степенной функцией от оптической плотности пленки, т. е. шум имеет мультипликативный характер. На выходе телекинодатчика  $\psi = 34...52$  дБ (в полосе 5 МГц, показателе  $\gamma$  корректора 0,6) для 16-мм обратной кинопленки при изменении оптической плотности в пределах 0,5...1,8. Гранулярность однородно экспонированной и проявленной пленок представляет собой двумерное изотропное распределение. Энергетический спектр описывается функцией, убывающей с частотой, причем для цветной пленки это убывание происходит быстрее.

В процессе видеозаписи  $\psi$  уменьшается примерно на 3 дБ для каждой последующей перезаписи. Помехи имеют аддитивную и мультипликативную составляющие. Закон распределения аддитивных помех нормальный, а энергетический спектр — возрастающий с частотой. *Мультипликативный шум* (структурный шум лент) растет примерно пропорционально намагниченности. Он имеет нормальное распределение и сосредоточен в основном в области низких частот.

Для радиорелейных и спутниковых линий связи [1], использующих частотную модуляцию для передачи ТВ сигнала, нормируется отношение размаха сигнала яркости к среднеквадратическому значению взвешенной помехи  $\psi_{\Sigma, \omega} = 57$  дБ. Аддитивная составляющая помехи определяется собственными флуктуационными шумами приемного радиотракта. Она имеет нормальное распределение и равномерный энергетический спектр в пределах полосы пропускания. На выходе частотного демодулятора (ЧД) телевизора при благоприятных условиях приема [1] энергетический спектр помех в полосе видеотракта сигнала  $G_\Sigma \text{ ЧД}(\omega) = a_2 \omega^2$ . *Шумы радиотракта* телевизора определяются тепловыми шумами входных каскадов, которые снижают отношение сигнал-шум на 7,5 дБ [2]. Для цветоразностных сигналов  $D_R$  и  $D_B$  допустимый уровень ФП определяется прохождением помех через ЧД. В [1] показано, что уровень шума на выходе ЧД растет пропорционально частотам сигналов  $D_R$  и  $D_B$  и обратно пропорционально девиации частоты. С учетом параметров  $D_R$  и  $D_B$  сигналов СЕКАМ [3] имеем: 1) уровень шумов на выходе ЧД в сигнале  $D_B$  в 1,22 раза выше, чем в  $D_R$ ; 2) без учета предскажений и их коррекции уровень шумов сигналов  $D_R$  и  $D_B$  на выходе ЧД возрастает в 2,5—3 раза; применение в СЕКАМ предскажений обеспечивает помехоустойчивость передачи сигналов  $D_R$  и  $D_B$  не более —2 дБ [4]; 3) соотношение уровня помех в сигналах  $E_R, E_B, E_V$  на входе кинескопа  $\sigma_{ER} : \sigma_{EB} : \sigma_{EV} = 1,4 : 1 : 2$ , а с учетом коэффициента видности помех это соотношение равно 0,56 : 1 : 0,70 и определяет зашумленность участков изображения насыщенных цветов.

2. *Фильтрация ТВ сигнала*. Флуктуационные помехи имеют аддитивную и мультипликативную составляющие. В задачах фильтрации принимают ТВ изображение в виде аддитивной смеси передаваемого изображения и помех  $(r, l)$  — дискретные координаты плоскости изображения)  $L_\Sigma(r, l) = L_0(r, l) * h(r, l) + \xi(r, l)$ , а мультипликативную составляющую помех учитывают в дальнейшем в алгоритме работы адаптивного фильтра. Полагая ТВ изображение однородным (воспроизведение его деталей не зависит от их положения в плоскости изображения), для снижения уровня помех применяют линейную однородную фильтрацию, инвариантную относительно пространственных и времен-



ных сдвигов  $L_{\pi, \phi}(r, l) = [L_{\pi, u}(r, l) + \xi(r, l)] ** h_{\phi}(r, l)$  или в области пространственных частот  $G_{\pi, \phi}(u, v) = G_{\pi, u}(u, v)H_{\phi}(u, v) + E(u, v)H_{\phi}(u, v)$ , где  $h_{\phi}(r, l)$  и  $H_{\phi}(u, v)$  — ИХ и ПЧХ двумерного фильтра,  $L_{\pi, u}(r, l)$  и  $G_{\pi, u}(u, v)$  — переданное изображение без учета помех («идеальное» в смысле отсутствия помех) и его дискретный двумерный спектр Фурье. Из последнего уравнения следует, что точно восстановить  $L_{\pi, u}(r, l)$  невозможно, так как в процессе фильтрации возникают искажения изображения  $G_{\pi, u}(u, v)H_{\phi}(u, v)$  — систематические в отличие от случайных, вызванных составляющей помех  $E(u, v)H_{\phi}(u, v)$ . Поэтому реально фильтрация сводится лишь к задаче оптимального восстановления изображения в рамках принятого критерия качества воспроизведения ТВ изображений. Для критерия минимума среднеквадратической ошибки оптимальное восстановление обеспечивается фильтром Винера с ПЧХ  $H_{\phi, \pi}(u, v) = G_{\pi, u}(u, v) / [G_{\pi, u}(u, v) + E(u, v)]$ .

С учетом НЧ характера энергетического спектра реальных изображений (на частотах  $f > 0,5 F_{\text{в}}$  спад  $G_{\pi, u}(u, v) \geq 40 \dots 60$  дБ) для равномерного спектра помех и спектра с подъемом в ВЧ области ПЧХ фильтра Винера имеет спад в этой области. В результате оптимальная фильтрация по критерию минимума среднеквадратической ошибки (СКО) приводит к потере четкости. Недостатком линейных методов является низкая эффективность при условии сохранения разрешающей способности ТВС.

Нелинейные методы фильтрации ТВ сигнала используют двустороннее ограничение по минимуму ВЧ составляющих смеси полезного сигнала и помех [5]. Входной сигнал разделяют на НЧ и ВЧ составляющие (рис. 2.2.31, а) с помощью фильтров ФНЧ и ФВЧ соответственно. Составляющие ВЧ пропускают через двусторонний ограничитель (рис. 2.2.31, б) с порогами ограничения  $|U_{\text{п}}| \leq 3\sigma_{\text{вч}}$ . С увеличением  $U_{\text{п}}$  растет подавление помех. Однако при выборе больших значений  $U_{\text{п}}$  снижается четкость, что особенно заметно при передаче малококонтрастных тонкоструктурных деталей изображения. Поэтому достижимое увеличение  $\psi$  в устройстве нелинейной фильтрации (рис. 2.2.31, в) для помех с равномерным спектром не превышает 1...2 дБ.

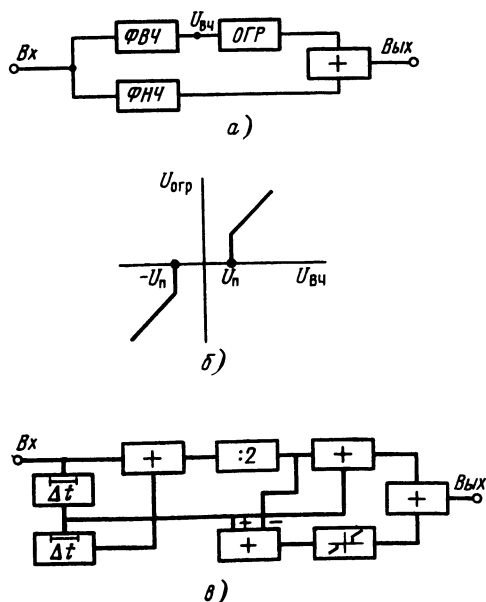


Рис. 2.2.31. Нелинейная фильтрация ТВ сигнала: а — структурная схема, поясняющая принцип нелинейной фильтрации; б — амплитудная характеристика ограничителя; в — структурная схема нелинейного корректора

В этом устройстве использованы нерекурсивные фильтры (НРФ) нижних частот  $H_{\phi 1} = \cos^2 \omega \Delta t / 2$  и верхних частот  $H_{\phi 2}(\omega) = \sin^2 \omega \Delta t / 2$ , имеющие импульсные характеристики соответственно  $\{0,25; 0,5; 0,25\}$  и  $\{-0,25; 0,5; -0,25\}$ . Линейные методы фильтрации ТВ сигнала приводят к снижению четкости как для контрастных, так и для малококонтрастных деталей изображения. Нелинейные методы ухудшают передачу только малококонтрастных тонкоструктурных деталей, для которых размах ВЧ составляющих  $|U_{\text{вч}}| < 3\sigma_{\text{вч}}$ . Такие детали воспринимаются в процессе зрительного обнаружения в отличие от контрастных деталей, воспринимаемых в процессе зрительного различения. Порог обнаружения  $\delta^0$  примерно в 3 раза выше порога различения  $\delta^p$  [6] и для одноэлементных деталей ТВ изображения соответствует размаху сигнала  $a^0 \approx 2 \dots 3\sigma_{\text{вч}}$  [7]. Благодаря этому нелинейные методы обеспечивают указанное выше снижение уровня помех при отсутствии визуального снижения четкости. Однако эффективность этих методов мала. Повышение эффективности подавления помех достигается при использовании адаптивных методов фильтрации ТВ сигнала.

**2.2.7. Спектральные характеристики.** Спектральная характеристика (СХ) преобразователя свет-сигнала — это зависимость его выходного сигнала от длины волны монохроматического излучения, падающего на светочувствительную поверхность при одинаковой мощности излучения на каждой длине волны. В ЧБ ТВ эта характеристика определяет верность передачи яркостных градаций разноцветных объектов. В цветном ТВ они особенно важны, поскольку значительно определяют верность цветопередачи. В передающих трубках СХ определяются в основном свойствами фотокатода. Имеются видиконы, чувствительные к инфракрасному, видимому, ультрафиолетовому и рентгеновскому излучениям. Для работы в видимой области спектра видиконов применяют соединения сурьмы, селена, мышьяка, серы, для работы в инфракрасной области — сульфид свинца, в ультрафиолетовой области — селен, обладающий широкой спектральной характеристикой. Спектральную характеристику можно изменить путем последовательной подачи на испытуемый светочувствительный слой монохроматического излучения с разной длиной волны. Для преобразователей с внешним фотоэффектом отношение тока насыщения к возбуждающему световому потоку или к его мощности излучения дает спектральную чувствительность данного фотокатода на заданной длине волны. Изменяя длину волны монохроматического излучения, измеряют СХ фотокатода в интересующем диапазоне длин волн. На практике кривая спектральной чувствительности строится в относительных единицах. Например, если СХ фотокатода  $i_{\phi} = f(\lambda)$  имеет максимум  $i_{\phi 0} = f(\lambda_0)$  на длине волны  $\lambda_0$ , то относительная чувствительность будет

$$\varepsilon(\lambda) = i_{\phi}(\lambda) / i_{\phi 0}.$$

На рис. 2.2.32 представлены СХ сложных фотокато-

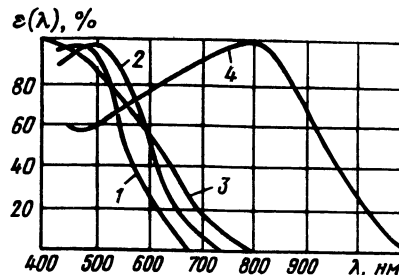


Рис. 2.2.32. Спектральные характеристики фотокатодов

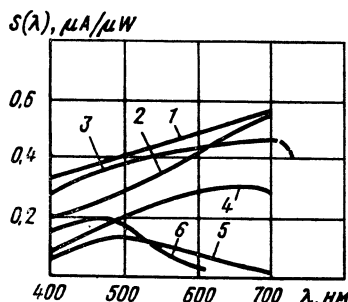


Рис. 2.2.33. Спектральные характеристики передающих трубок

тодов. Сравнить между собой различные кинескопы можно по СХ на рис. 2.2.33.

### Список литературы

1. Справочник по спутниковой связи и вещанию, под ред. Л. Я. Кантора.— М.: Радио и связь, 1983.— 288 с.
2. Кустарев А. К., Шендерович А. М. Искажения цветного телевизионного изображения.— М.: Связь, 1978.— 184 с.
3. ГОСТ 19432—74. Телевидение цветное. Основные параметры системы телевизионного вещания.
4. Певзнер Б. М. Качество цветных телевизионных изображений.— М.: Связь, 1980.— 136 с.
5. Rossi J. P. Digital Techniques for Reducing Television Noise // J. SMPTE.— 1978.— Vol. 87, N 3.— P. 131—140.
6. Рубахин В. Ф. Психологические основы обработки первичной информации.— М.: Наука, 1974.— 296 с.
7. Higgins G. C. Methods for Analysing the Photographic System, Including the Effects of Nonlinearity and Spatial Frequency Responce // Photogr. Sci and Eng.— 1971.— Vol. 15, N 2.— P. 106—118.

## 2.3. Линейные искажения сигнала в телевизионном тракте и их коррекция

**2.3.1. Средняя (постоянная) составляющая сигнала и ее восстановление.** Сигнал изображения содержит постоянную составляющую, которая изменяется с частотой 0...3 Гц. Переходные конденсаторы видеоусилителей не только не пропускают эту НЧ составляющую, но и значительно ослабляют ее (усилитель обычно рассчитывают на полосу пропускания, начиная с 50 Гц). Сигнал изображения без средней (постоянной) составляющей и частично отфильтрованных НЧ составляющих будет давать изображение объекта на экране кинескопа с искажениями яркости фона и яркостных перепадов граничных участков крупных деталей: белым деталям будут соответствовать серые участки; часть сигнала вообще не воспроизведется, попадая в область отсечки [1]; увеличится динамический диапазон сигнала, что приведет к снижению помехоустойчивости ТВС в целом. Такие искажения устраняют с помощью восстановителей постоянной составляющей (ВПС). Обычно фиксируют уровень гасящих импульсов, а не уровень черного или белого, так как не все строки развертываемого изображения содержат белые или черные детали. Гасящие же импульсы всегда присутствуют в сигнале. Фиксация по вершинам гасящих импульсов очищает сигнал от всевозможных НЧ наводок на участках между передающей трубкой и первым фиксатором, а также на тракте между фиксаторами. Фиксация уровня необходима также для замешивания гасящих и синхронизирующих импульсов в промежуточном усилителе и для правильной работы

γ-корректора. Фиксаторы уровня выполняют следующие функции:

восстанавливают среднюю и НЧ составляющие сигнала изображения; устраняют из ТВ тракта НЧ помехи (фон 50 и 100 Гц, микрофонный эффект и т. п.) и переходные процессы, обусловленные коммутацией и микшированием ТВ сигналов; позволяют рационально выбирать режим питания оконечных ступеней усилителя, имеющих на выходе большие уровни сигналов, и тем самым устраняют появление нелинейных перегрузок лампы и транзистора [2].

Передающие ТВ трубки (диссектор, видикон, плумбикон, суперортикон и др.) при работе на линейном участке световой характеристики образуют сигнал, в котором уровень черного совпадает с уровнем вершин гасящих импульсов или отличается от него на постоянное значение, не изменяющееся в процессе передачи. Это позволит восстановить среднюю составляющую с помощью управляемых и неуправляемых фиксаторов. В простейшем (неуправляемом ВПС использовано пиковое детектирование посредством диода (рис. 2.3.1)). При подаче положительного импульса

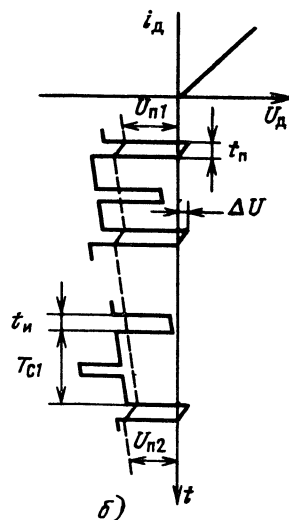
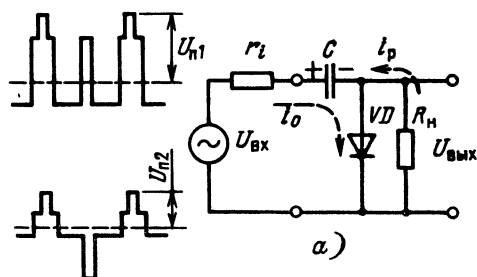


Рис. 2.3.1. К объяснению действия простейшей цепи восстановления постоянной составляющей

протекает ток  $i_s$ , который заряжает переходной конденсатор  $C$  до напряжения  $U_n$ . Чтобы напряжение на  $C$  за время действия короткого импульса стало равно 0,95 приложенного напряжения  $U_{n1}$  или  $U_{n2}$ , постоянная времени заряда должна быть небольшой:

$$\tau_a = C(r_i + r_d \parallel R_n) \approx C(r_i + r_d) = t_n/3, \quad (2.3.1)$$

где  $r_i$  — внутреннее сопротивление источника сигнала;  $r_d$  — сопротивление диода в открытом состоянии;  $R_n$  — сопротивление нагрузки диода ( $R_n \gg r_d$ );  $r_d \parallel R_n$  — параллельное соединение сопротивлений;  $t_n$  — длительность фиксирующего импульса. При малом значении  $\tau_a$  напряжение на конденсаторе становится равным

амплитудному значению фиксирующего импульса за время  $t_{\text{н}}$ . Поэтому в интервале между этими импульсами диод VD закрыт и на выходе действует суммарное напряжение  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} + U_{\text{с}}$ , где  $U_{\text{вх}}$  — напряжение сигнала без средней составляющей;  $U_{\text{с}}$  — выделенная на С постоянная составляющая. Напряжение  $U_{\text{с}} = U_{\text{п(2)}}$  при запертом диоде медленно уменьшается из-за разряда конденсатора. За время  $T_{\text{с1}}$  оно уменьшится на  $\Delta U$  и откроет диод в установившемся режиме (рис. 2.3.1, б). От этого напряжения будут зависеть значения сопротивления  $r_{\text{д}}$  и  $\tau_{\text{з}}$ . С учетом нелинейности внутреннего сопротивления диода амплитуды фиксирующих импульсов должны быть не менее 1 В, при этом их вершины будут фиксироваться не на нуле, а на некотором положительном значении (примерно 0,1...0,2 В). От  $\Delta U$  зависит «перекос» ТВ сигнала, т. е. изменение яркости изображения вдоль строки на экране кинескопа. Чтобы это изменение не было заметным, значение «перекоса» сигнала должно быть  $\Delta = \Delta U / U_{\text{п1}} \leq 0,05$ . При малых спадах яркости

$$\Delta = T_{\text{с1}} / \tau_{\text{р}} \approx (T_{\text{с}} - t_{\text{н}}) / CR_{\text{н}}, \quad (2.3.2)$$

где  $\tau_{\text{р}} = CR_{\text{н}}$  — постоянная времени разряда ( $\tau_{\text{р}} \gg \tau_{\text{з}}$ ).  
Условие (2.3.2) определяет минимальную емкость переходного конденсатора

$$C = (T_{\text{с}} - t_{\text{н}}) / R_{\text{н}} \Delta \approx T_{\text{с1}} / R_{\text{н}} \Delta. \quad (2.3.3)$$

Из-за малых абсолютных значений  $\Delta U$  и  $\Delta$  и, как следствие этого, большого  $r_{\text{д}}$  выполнить условия (2.3.1) и (2.3.2) трудно [3]. Поэтому конденсатор не успевает заряжаться за время  $t_{\text{н}}$ , уровень фиксации не остается постоянным, а зависит от содержания изображения. Только при  $U_{\text{вх}} \gg 1$  В уровень фиксации может оставаться постоянным. Недостатком неуправляемого ВПС являются неодинаковые скорости срабатывания при уменьшении и увеличении постоянной составляющей сигнала изображения. При увеличении постоянной составляющей заряжается конденсатор, при уменьшении (рис. 2.3.1, сигнал 2) — разряжается. И если за изображением с большой средней яркостью передается изображение с малой средней яркостью, то уровень длительное время не устанавливается, пока конденсатор не разрядится (рис. 2.3.1, б).

**Порядок расчета фиксирующей цепи.** По (2.3.1) и (2.3.3) рассчитывают элементы ВПС:

1. Из (2.3.1) определяют переходную емкость  $C = t_{\text{н}} / 3(r_{\text{д}} + r_{\text{д}})$ . При  $r_{\text{д}} = 20$  Ом,  $r_{\text{д}} = 50$  Ом,  $t_{\text{н}} = 10 \times 10^{-6}$  с,  $C = 5 \cdot 10^{-9}$  ф = 5000 пФ.

2. Согласно (2.3.2) определяют постоянную времени разряда  $\tau_{\text{р}} = T_{\text{с1}} / \Delta$ . При  $T_{\text{с1}} = T_{\text{с}} - t_{\text{н}} = 64 - 10 = 54 \cdot 10^{-6}$  с и  $\Delta = 0,05$   $\tau_{\text{р}} = 11 \cdot 10^{-4}$  с.

3. Определяют входное сопротивление каскада, нагружающего цепь фиксации:  $R_{\text{вх}} = \tau_{\text{р}} / C = 11 \cdot 10^{-4} / 5 \times 10^{-9} = 220$  кОм. Если же  $R_{\text{вх}} = R_{\text{н}}$  известно, то по (2.3.3) определяют емкость  $C$ , а затем по (2.3.1)  $r_{\text{д}}$  и  $r_{\text{з}}$ .

Лучшими показателями обладают управляемые ВПС, в которых проводимостью фиксирующих диодов (триодов) управляет не сигнал изображения, а импульсы, которые формируют из строчных импульсов. Если в точке привязки уже имеется ПТВС, то привязка производится в интервале передачи гасящего импульса после строчного синхримпульса (ССИ). Управляющие импульсы формируют из импульсов синхросмеси (СС) путем их дифференцирования и выделения выбросов, соответствующих срезам импульсов [4]. Во время следования кадрового синхронизирующего импульса (КСИ) фиксируются моменты прохождения врезок, поэтому длительность фиксирующих импульсов должна быть меньше длительности «врезок», в противном случае исказится КСИ в виде перекося их горизонтальной площадки, так как будут привязываться вершины КСИ к уровням гасящих импульсов [4].

В цветном ТВ заднюю площадку строчного гасящего импульса используют для передачи остатка цве-

товой поднесущей. Поэтому высокий уровень ПТВС по задней площадке может привести к искажению этой поднесущей вследствие шунтирования их внутренним сопротивлением ключа в момент фиксации. Для устранения этих искажений ВПС подключают через резистор или контур, настроенный на частоту цветовой поднесущей [4].

Управляемый ВПС (рис. 2.3.2) содержит полупро-

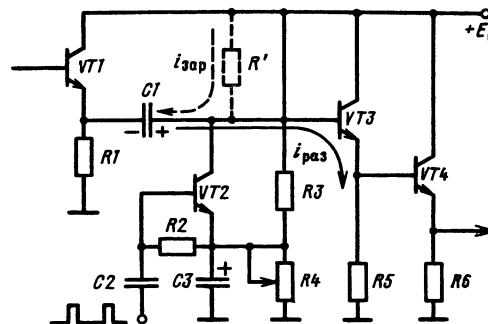


Рис. 2.3.2. Принципиальная схема управляемого ВПС

водниковый триод VT2, работающий в ключевом режиме. Напряжение на резисторе R4 является фиксирующим и одновременно задающим режим усиления составного эмиттерного повторителя. Управляющие импульсы положительной полярности поступают на базу транзистора VT2 и отпирают его во время обратного хода строчной развертки. Стабильность фиксации и уменьшение инерционности повышают уменьшением  $\tau_{\text{зар}} = C_1(r_{\text{вых1}} + r_{\text{нас2}})$  за счет малого выходного сопротивления транзистора VT2 в режиме насыщения ( $r_{\text{нас2}}$ ). Для увеличения  $\tau_{\text{раз}} = C_1(r_{\text{вых1}} + R_{\text{вх3}})$  входное сопротивление  $R_{\text{вх3}}$  последующего каскада VT3 должно быть как можно большим, что достигается использованием составного эмиттерного повторителя (VT3 и VT4). При фиксации сигнала большого уровня последовательно с транзистором VT2 включают второй транзистор для предотвращения отпирания цепи фиксации сигналом изображения или импульсной помехой [3]. Для устранения спада яркости вдоль строки, вызванного разрядом конденсатора C1, правую обкладку последнего через резистор с большим сопротивлением соединяют с источником питания (см. рис. 2.3.2, штриховые линии). В этом случае разряд C1 компенсируется током заряда  $i'_{\text{зар}}$ . При  $i'_{\text{зар}} = i_{\text{раз}}$  напряжение на C1 поддерживается постоянным, фиксаторы, подавляя НЧ помехи (если сигнал не промодулирован помехой), одновременно восстанавливают НЧ составляющие, потерянные в видеоусилителях. В [2, 3] показано, что верхний предел частот эффективно восстанавливаемых НЧ составляющих  $0,1 f_c = 0,1 \cdot 15628 \approx 1500$  Гц. Неуправляемый ВПС может восстанавливать НЧ составляющие в полосе частот до 500 Гц. Это позволит сократить полосу пропускания видеотракта, уменьшить ОСШ и стабильность усилителей. Все сказанное справедливо для вещательных ТВС. Для малокадрового ТВ, когда частоты кадровой (и соответственно строчной) разверток меняются в широких пределах, использовать конденсатор в качестве запоминающего элемента на время одной строки невозможно. Для восстановления постоянной составляющей здесь используют не аналоговые, а цифровые методы, не чувствительные к изменению стандарта развертки.

### 2.3.2. Линейные искажения в области малых и больших времен

1. Основные требования к видеоусилителям. Видеоусилители должны работать в широкой полосе частот. Их проектируют с большим запа-

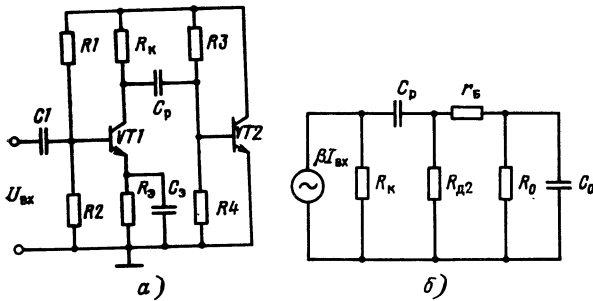


Рис. 2.3.3. Схемы усилительного каскада: а — принципиальная; б — эквивалентная

сом по частоте: на ТВ центрах до 8 МГц, в телевизорах до 5 МГц. Основное требование — правильно воспроизвести форму сигнала, т. е. усилитель должен иметь заданную переходную характеристику ПХ. При передаче сигналов изображения важно сохранить определенные соотношения фаз составляющих. Например, электронный луч в кинескопе движется со скоростью

$$v = \frac{L_{\text{стр}}}{H} = \frac{50 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{64 \cdot 10^{-6} \text{ с}} = 8 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

где  $L_{\text{с}}$  — размер экрана кинескопа по горизонтали;  $H$  — длительность развертки одной строки. Если задержка для некоторого значения частоты составляет

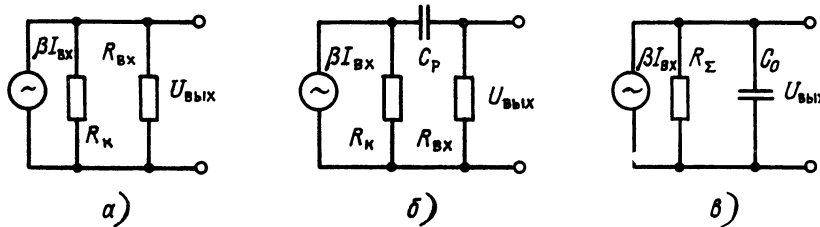


Рис. 2.3.4. Эквивалентные схемы усилительного каскада

1 мкс, то это будет соответствовать пространственному сдвигу изображения на  $\Delta L = v t_{\text{зд}} = 8 \cdot 10^8 \text{ м/с} \times 10^{-6} \text{ с} = 8 \text{ мм}$ . При постоянной задержке на всех частотах элементы изображения сместятся на одно и то же значение и искажения не возникнут. Поэтому задержка должна быть равна нулю или быть постоянной для всех составляющих сигнала.

2. Особенности работы видеоусилителей. Для усиления сигналов изображения применяют апериодические RC-усилители, а также усилители постоянного тока. Для анализа работы видеоусилителя (рис. 2.3.3, а) воспользуемся упрощенной эквивалентной схемой (рис. 2.3.3, б) [11], для которой емкость  $C_0 = C_{\text{вых}} + C_{\text{м}} + C_{\text{вх}}$  (здесь  $C_{\text{вых}}$  — выходная емкость транзистора VT1 и  $C_{\text{м}}$  — емкость монтажа;  $C_{\text{вх}}$  — входная емкость следующего каскада);  $R_{\text{к}}$  — сопротивление нагрузки первого каскада;  $R_0 = r_{\text{б.э.}}$  — выходное сопротивление VT2;  $R_{\text{д2}}$  — сопротивление плеч делителя R3R4;  $r_{\text{б}}$  — сопротивление базы транзистора VT2;  $C_{\text{р}}$  — разделительная емкость. Сопротивление  $r_{\text{б}} = 40 \dots 150 \text{ Ом}$  и, как правило, значительно меньше других сопротивлений  $R_{\text{к}}$ ,  $R_{\text{д}}$  и  $R_0$ . Наличие в эквивалентной схеме двух реактивных элементов  $C_{\text{р}}$  и  $C_0$  приводит к тому, что коэффициент усиления и фазовый сдвиг между входным и выходными сигналами в широком диапазоне частот будут непостоянными. Разобьем весь диапазон частот усиливаемых сигналов на три участка для нижних, средних и верхних частот, соответственно которым представим эквивалентные схемы. Для средних частот, когда влиянием реактивных элементов можно пренебречь, эквивалентная схема будет, как на рис. 2.3.4, а.

Здесь входное сопротивление, нагружающее первый каскад (по схеме рис. 2.3.3, б правее коллекторного сопротивления  $R_{\text{к}}$ ), равно параллельному соединению сопротивлений  $R_{\text{д2}}$  и  $R_0$ :  $R_{\text{вх}} = R_{\text{д2}} R_0 / (R_{\text{д2}} + R_0)$  и являются постоянными в диапазоне частот, для которого выполняется условие  $1/\omega C \gg R_{\text{вх}} \gg 1/\omega C_{\text{р}}$ , где  $r_{\text{б}} \ll R_0$ , и им можно пренебречь. На нижних частотах влиянием разделительного конденсатора пренебречь нельзя и поэтому эквивалентная схема приобретает вид (рис. 2.3.3, б), для которой сопротивление нагрузки носит емкостный характер

$$Z_{\text{н}} = \frac{1}{\omega C_{\text{р}}} + R_{\text{вх}} = \frac{1 + \omega C_{\text{р}} R_{\text{вх}}}{\omega C_{\text{р}}},$$

а выраженная через параметры четырехполюсника амплитуда выходного напряжения  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} R_{\text{вх}} / (X_{\text{ср}} + R_{\text{вх}}) = U_{\text{вх}} \omega C_{\text{р}} R_{\text{вх}} / (1 + \omega C_{\text{р}} R_{\text{вх}})$  падает с уменьшением частоты. Для верхних частот шунтирующее влияние паразитных емкостей резко возрастает, но зато сопротивление разделительного конденсатора становится очень малым, и эквивалентная схема принимает вид (рис. 2.3.4, в), в которой нагрузочное сопротивление и выходное напряжение с увеличением частоты уменьшаются:  $U_{\text{вых}} = \beta I_{\text{вх}} Z_{\text{н}} = \beta I_{\text{вх}} (X_{\text{с0}} R_{\Sigma}) / (X_{\text{с0}} + R_{\Sigma}) = \beta I_{\text{вх}} R_{\Sigma} / (1 + \omega C_0 R_{\Sigma})$ , где  $R_{\Sigma}$  — общее сопротивление  $R_{\text{к}}$ ,  $R_{\text{д2}}$ ,  $R_0$ . Наличие реактивных элементов приводит также к фазовым искажениям на граничных частотах, вследствие чего значения времен задержки составляющих, имеющих разные частоты, оказываются неодинаковыми. Следовательно, чтобы использовать такие усилители для усиления

видеосигналов с широким спектром частот, необходимо корректировать участки АЧХ в НЧ и ВЧ в областях в пределах, зависящих от параметров используемых транзисторов.

3. Усиление в НЧ и ВЧ областях. Источником частотных искажений в НЧ области являются разделительные конденсаторы  $C_{\text{р}}$  и элементы автосмещения  $R_{\text{б}} C_{\text{б}}$  в цепях эмиттеров. Для компенсации спада усиления на нижних частотах в коллекторную цепь включают корректирующую цепь  $R_{\text{ф}} C_{\text{ф}}$  (рис. 2.3.5) и берут сопротивление  $R_{\text{ф}} \gg R_{\text{к}}$ . Емкость  $C_{\text{ф}}$  выбирают такой, чтобы на средних частотах, а тем более верхних ее сопротивление было мало по сравнению с сопротивлением нагрузки  $R_{\text{н}}$ . При понижении частоты сигнала полное

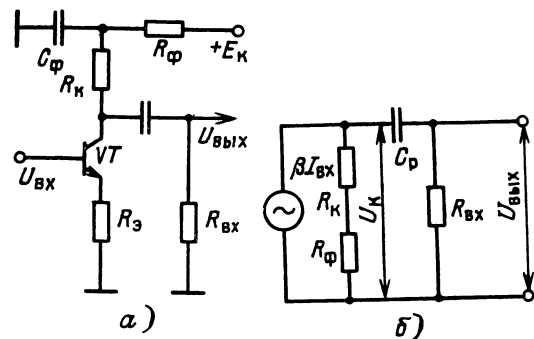


Рис. 2.3.5. Схемы корректирующей цепи: а — принципиальная; б — эквивалентная

сопротивление нагрузки увеличивается и становится равным  $R_k + R_\phi$ , в результате коэффициент усиления каскада в НЧ области растет. При правильном выборе значений  $R_\phi$  и  $C_\phi$  схема НЧ коррекции позволяет расширять полосу пропускания в сторону низких частот в 3—5 раз и сильно уменьшать спад плоской вершины импульса при неизменных значениях  $C_p$  и  $C_\phi$ . В транзисторных каскадах рассмотренная схема наиболее эффективна при работе на высокоомную нагрузку  $R_{вх}$ , например, на модулятор кинескопа, на входную цепь с высоким входным сопротивлением. Корректирующую емкость  $C_\phi$  рассчитывают по семейству нормированных АЧХ и ПХ

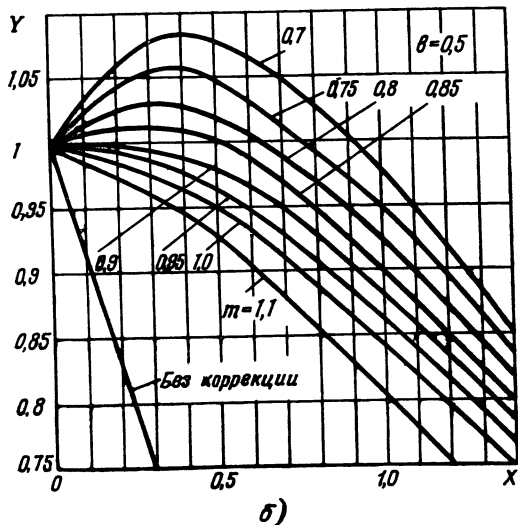
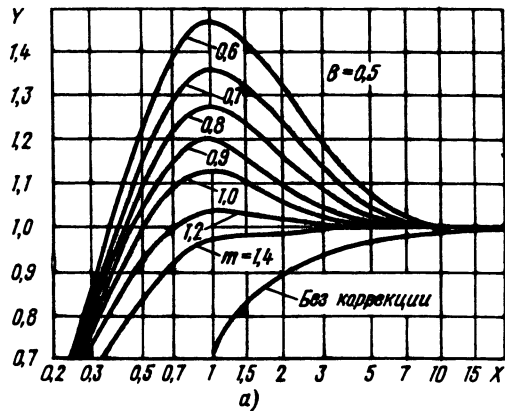


Рис. 2.3.6. Семейства нормированных АЧХ и ПХ

(рис. 2.3.6), представляющих собой зависимость относительного усиления  $Y$  от нормированной частоты  $X = \omega C_p R_{вх}$  (в НЧ области) и  $y = e^{-x}$  от нормированного времени  $x = 1/C_p R_{вх}$  (в области больших времен). Оба семейства приведены для значения  $b = R_k/R_\phi = 0.5$  при разных  $m = R_k C_\phi / R_{вх} C_p$ . При  $m = \sqrt{1+2b} = 1.4$  схема имеет наилучшую частотную характеристику без подъема. Как видно из рис. 2.3.6, а, подъемы с уменьшением  $C_\phi$ , а следовательно, и с уменьшением  $m$  увеличиваются. По этим семействам рассчитывают элементы каскадов усиления с НЧ коррекцией  $R_\phi C_\phi$  при любых АЧХ и ПХ. Для расчета емкости  $C_\phi$  на оси ординат рис. 2.3.6, а выбирают значение, например  $Y = 1.2$ , и его проецируют на характеристику, у которой значение  $m$  соответствует выбранной форме характеристики (по графику  $m = 0.9$ ). Затем точку АЧХ с максимальным значением  $m = 1.2$  проецируют на ось абсцисс, на которой находят значение  $X$  (в нашем случае  $X = 1$ ). Емкость  $C_\phi = m R_{вх} C_p / R_k$ , где  $R_{вх} C_p = X/\omega = X/2\pi F_H$ . И окончательно

$$C_\phi = mX/2\pi F_H R_k. \quad (2.3.4)$$

Подставив в (2.3.4)  $m = 0.9$ ,  $X = 1$ ,  $F_H = 50$  Гц,  $R_k = 1$  кОм, найдем  $C_\phi = 0.9 \cdot 1/6.28 \cdot 50 \cdot 10^3 \approx 0.3 \cdot 10^{-6}$  ф = 0,3 мкФ.

На высоких частотах сопротивление  $X_{C_0}$  с ростом частоты уменьшается, что приводит к уменьшению выходного напряжения. Для коррекции АЧХ усилителей в области верхних частот применяют два способа: а) включение в нагрузочные цепи одного или двух дросселей, создающих с паразитными емкостями контуры; б) использование частотно-зависимой обратной связи.

4. Схемы простой параллельной и сложной эмиттерных ВЧ коррекций. Высокочастотный дроссель  $L_k$  входит в коллекторную цепь транзистора (рис. 2.3.7, а) и вместе с паразитной емкостью  $C_0$  он образует параллельный колебательный контур (рис. 2.3.7, б). Контур настраивают на частоту, с которой начинается спад усиления. При резонансе сопротивление контура растет и вместо спада получается подъем АЧХ (рис. 2.3.7, в). При чрезмерно добротности контур может ударно возбудить колебания и на вершине импульса появятся всплески.

Простая ВЧ коррекция дает хорошие результаты при  $R_0 \gg R_k \ll R_i$ , она несложна по схеме, легко настраивается, надежна в работе и увеличивает площадь усиления каскада в 1,5—2 раза. Корректирующая индуктивность  $L_k$  при расчете получается небольшой, и ее влияние сказывается только на верхних частотах. Коррекция индуктивностью характеризуется коэффициентом  $a = L_k/C_0 R_k^2$ , который определяет характеристики каскада в области верхних частот. Семейство нормированных АЧХ (рис. 2.3.8) показывает зависимость относительного коэффициента усиления  $Y$  от нормированной частоты  $X = \omega_k C_0 R_k$ . Элементы усилителей рассчитывают по семействам АЧХ, приведенных на рис. 2.3.8, сопротивление  $R_k$  находят, исходя из верхней рабочей частоты или времени установления каскада [12].

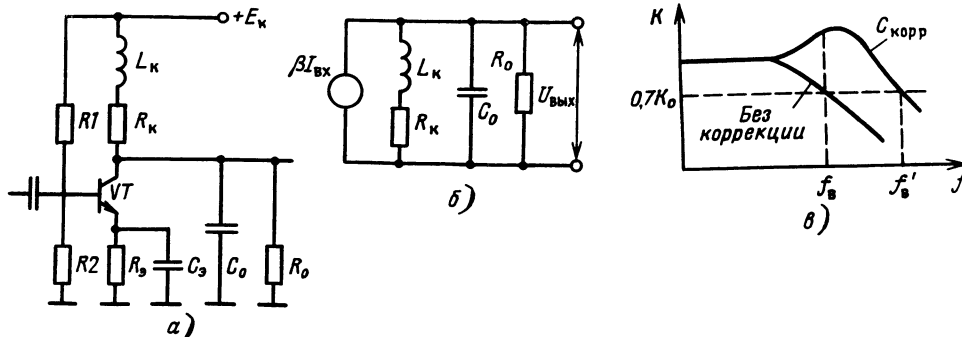


Рис. 2.3.7. Высокочастотная коррекция: принципиальная и эквивалентная схемы; а, б, в — АЧХ

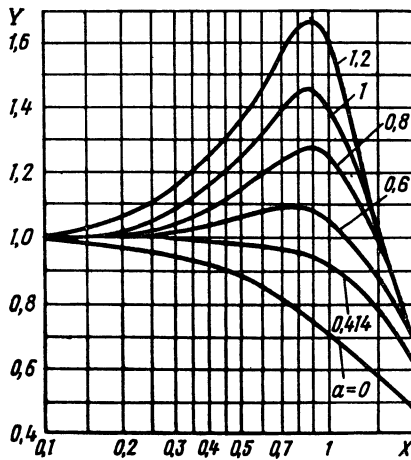


Рис. 2.3.8. Семейство нормированных АЧХ

**Пример.** Рассчитаем данные транзисторного каскада с простой ВЧ коррекцией индуктивностью, имеющего АЧХ с подъемом  $Y=1,1$  на частоте  $f_b=5 \cdot 10^6$  Гц. Каскад работает на модулятор кинескопа, имеющего  $C_{вх}=4$  пФ. Амплитуда выходного сигнала  $U_{м\text{ вых}}=\pm 25$  В. Если принять  $C_{вх}=4$  пФ, а емкость монтажа  $C_m=6$  пФ, то  $C_0=C_{вх}+C_m+C_{вх}=14$  пФ. По рис. 2.3.8 характеристика, имеющая  $Y_{\max}=1,1$ , соответствует  $a=0,6$ , это имеет место при  $X=0,8$ . Отсюда  $R_k=X/2\pi f_b C_0=0,8/6,28 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 14 \cdot 10^{-12}=1800$  Ом. Требуемая индуктивность корректирующего дросселя  $L=aC_0 R_k^2=0,6 \cdot 14 \cdot 10^{-12} \cdot 1800^2=27 \cdot 10^{-6}$  Гн = 27 мкГн.

Дальнейший расчет сводится к расчету тока сигнала в выходной цепи  $I_{м\text{ вых}}=25/1800=13,9 \cdot 10^{-3}$  А  $\approx 14$  мА, тока покоя транзистора  $I_{ок}=1,1 \cdot I_{м\text{ вых}}=16$  мА и максимального значения тока  $I_{к\text{ max}}=I_{ок}+I_{м\text{ вых}}=16+14=30$  мА. Затем по току покоя  $I_{ок}$  и заданной амплитуде выходного напряжения выбираем тип ВЧ транзистора и определяем остальные параметры. Катушку корректирующей индуктивности можно включать и последовательно с входной цепью следующего усилителя. В этом случае получим схему последовательного ВЧ корректора индуктивности. Он не имеет преимуществ по сравнению с параллельным ВЧ корректором и используется редко.

Когда выигрыш в усилении, даваемый простой ВЧ коррекцией, оказывается недостаточным, применяют *сложную ВЧ коррекцию* (рис. 2.3.9). При этом корректор содержит две корректирующие катушки индуктивности  $L_k$  и  $L'_k$ , резистор  $R'_k$ . Индуктивность  $L'_k$  делит паразитную емкость  $C_0$  на  $C_1=C_{вх}+C_{м1}$  и  $C_2=$

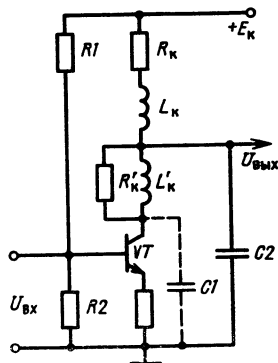


Рис. 2.3.9. Принципиальная схема устройства сложной ВЧ коррекции

$=C_{вх}+C_{м2}$ , которые образуют с индуктивностями  $L_k$  и  $L'_k$  резонансную систему. Наибольший эффект сложной коррекции дает только при определенном соотношении  $C_1$  и  $C_2$ . Наилучшая АЧХ получается при  $n=C_1/(C_1+C_2)=C_1/C_0=0,6$ . Полоса пропускания каскада на уровне  $Y_b=0,707$  при сложной коррекции и значении  $n=0,25 \dots 0,6$  в 1,3...1,5 раза больше, чем при простой. Сложную ВЧ коррекцию целесообразно применять лишь при очень высокой верхней частоте, когда простая ВЧ коррекция не дает усиления, и в выходных каскадах с большой амплитудой выходного напряжения сигнала. При этом можно применить в корректоре менее мощный транзистор и снизить мощность, расходуемую на питание усилителя.

В каскаде (рис. 2.3.10) в цепи эмиттера транзисто-

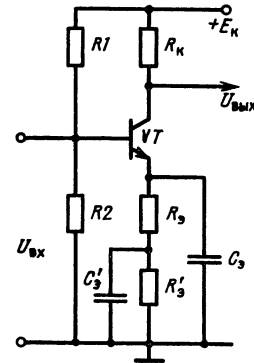


Рис. 2.3.10. Принципиальная схема устройства эмиттерной ВЧ коррекции

ра включен резистор  $R_3$ , зашунтированный конденсатором  $C_3$  небольшой емкости. На верхних частотах сопротивление конденсатора уменьшается, что приводит к уменьшению глубины обратной связи (ОС) и, следовательно, к увеличению коэффициента усиления, и тем самым компенсируется спад АЧХ, вызванный емкостью  $C_0$ .

При эмиттерной ВЧ коррекции сопротивление  $R_k$  в цепи коллектора находят, исходя из допустимого значения напряжения питания на нем. Нужная полоса пропускания обеспечивается выбором глубины ОС, создаваемой  $R_3$ . Если напряжение питания на резисторе  $R_3$  достаточно для обеспечения необходимой стабильности точки покоя, то дополнительную стабилизирующую цепь  $R'_3 C'_3$  исключают. Эмиттерная коррекция увеличивает площадь усиления каскада примерно в 1,5 раза, входное сопротивление каскада на нижних и средних частотах уменьшает нелинейные искажения, стабилизирует режим, делает корректор малокритичным к замене транзисторов и других элементов. Рассчитаем элементы эмиттерной ВЧ корректора [9]. Определяем коэффициент усиления (КУ) на верхней частоте усиляемого сигнала  $f_b$

$$K_b = \frac{0,7 K_0 f_b}{f_b}, \quad (2.3.5)$$

где  $K_0=S_0 R_{к.э.кв}$  КУ на НЧ;  $R_{к.э.кв}=R_k R_{вх}/(R_k+R_{вх})$  — эквивалентное сопротивление нагрузки;  $S_0=\Delta I_k/\Delta U_{б.э}$  — крутизна характеристики транзистора;  $f_b \gg f_{в}$ . Выражение (2.3.5) не учитывает шунтирующее действие монтажных емкостей на КУ на верхних частотах. Для этого в (2.3.5) следует ввести поправочный коэффициент  $m=1/f_b R_{к.э.кв}$ , где  $R_{к.э.кв}$  в кОм,  $f_b$  в МГц,

$$K_b = 0,7 m K_0 f_b / f_b. \quad (2.3.6)$$

При включении цепи  $R_3 C_3$  КУ на НЧ падает до значения

$$K'_0 = S_0 R_{к.э.кв} / (1 + S_0 R_3). \quad (2.3.7)$$

Обычно  $K_0' = K_0$ , отсюда  $0,7mK_0f_0/f_0 = S_0R_k \cdot \text{экв} / (1 + S_0R_0)$ .

С учетом  $S_0R_0 \gg 1$  сопротивление в цепи эмиттера  $R_0 = f_0 / 0,7mS_0f_0$ .

Емкости в цепи эмиттера  $C_0 \approx 0,13/f_0R_0$ . Сопротивление нагрузки  $R_k$  выбирают примерно равной 1...3 кОм. Более подробный расчет усилительного каскада с ВЧ эмиттерной коррекцией можно найти в [12, 14].

### Список литературы

1. Самойлов В. Ф., Хромой Б. П. Телевидение.— М., Связь, 1975.— 400 с.
2. Лейтес Л. С. Аппаратура формирования сигнала черно-белого телевидения.— М.: Связь, 1970.— 464 с.
3. Телевидение / Под редакцией В. Е. Джаконии.— М.: Связь, 1986.— 456 с.
4. Варбанский А. М. Телевизионная техника.— М., Энергия, 1964.— 544 с.
5. Справочник по телевизионной технике. Пер. с англ. / Под общей ред. проф. С. И. Катаева.— М.: Энергия, 1962.— 616 с.
6. Ламекин В. Ф. Широкополосные интегральные усилители / Под ред. С. Я. Шаца.— М.: Сов. радио, 1980.— 223 с.
7. Справочник по телевидению / Ю. И. Омеляненко, И. А. Алексеев и др.— Киев, Техника, 1971.— 607 с.
8. Брауде Г. В. Коррекция телевизионных и импульсных сигналов.— М.: Связь, 1967.— 246 с.
9. Александрова Т. С. Проектирование усилителей телевизионных сигналов.— М.: Связь, 1971.— 151 с.
10. Зубарев Ю. Б., Глориозов Г. Л. Передача изображений.— М.: Радио и связь, 1982.— 224 с.
11. Крыжановский В. Д., Костыков Ю. В. Телевизионные цветные и черно-белое.— М., Связь, 1980.— 336 с.
12. Цыкина А. В. Электронные усилители.— М.: Радио и связь, 1982.— 288 с.
13. Пустынский И. Н. Транзисторные видеоусилители.— М.: Сов. радио, 1973.— 176 с.
14. Цыкин Г. С. Усилительные устройства.— М.: Связь, 1971.— 367 с.

**2.3.3. Автоматическая регулировка уровня телевизионного сигнала.** Согласно определению ПТВС имеет широкополосную многокомпонентную структуру (содержит сигналы яркости, цветности, импульсы гашения, синхронизации и т. п.) и имеет ряд четко регламентированных уровней (яркости, цветности, белого, черного, гашения, синхронизации и т. п.). Кроме того, в него на 17 (18) строках каждого полукадра размещают испытательные сигналы строго определенных уровней и форм. Амплитуду ПТВС измеряют от максимально допустимого уровня белого до уровня верхушек сигналов синхронизации. Зависимость амплитуды ПТВС от содержания передаваемого изображения (освещенности и ее постоянной составляющей, цветовой насыщенности и т. п.), а также от работы технических элементов сквозного ТВ тракта (от объектива телекамеры до экрана телевизора) опасна перегрузками усилительных элементов, воспроизводящего кинескопа и, как следствие, приводит к грубым контрастным искажениям ТВ изображения. Поэтому для любой ТВС, в местах, где амплитуда ПТВС по разным причинам имеет склонность к непредсказуемым изменениям, необходимо применять автоматическую регулировку его уровня (АРУ), т. е. автоматически поддерживать амплитуду ТВ сигнала на заданном уровне независимо от дестабилизирующих факторов. Целесообразность использования АРУ имеется, напри-

мер: в ТВ камере для компенсации больших перепадов амплитуды видеосигнала, связанных с резкими изменениями общей освещенности на объекте наблюдения или его контрастности; в камерном канале ТВ студии для повышения стабильности работы его усилителей в условиях разброса параметров радиоэлектронных компонентов, изменения напряжения питания, температуры и т. п.; в коммутаторах и микшерах при работе с ПТВС от разных источников в моменты создания режимом комбинированных изображений; в профессиональных видеомагнитофонах для компенсации нестабильностей амплитуды ПТВС, вызванных прохождением его через узел записывающая головка — магнитная лента — воспроизводящая головка; в телекинопроекторах; ТВ передатчиках (особенно при работе их в режиме ретрансляции); в телевизорах для компенсации нестабильности передачи ТВС по радиоканалу (замирания, интерференция, отражения), а также неравномерности чувствительности на разных диапазонах волн.

Суть АРУ ПТВС состоит в поддержании на выходе участка тракта амплитуды в небольших заданных пределах при непредсказуемом изменении его на входе участка в значительно большей степени. Для участка тракта, имеющего АРУ, справедливо соотношение  $U_{вх\max}/U_{вх\min} \gg U_{вых\max}/U_{вых\min}$ , где  $U_{вх\max}$  и  $U_{вх\min}$  определяют пределы допустимого препарата амплитуды ТВ сигнала на входе участка, а  $U_{вых\max}$  и  $U_{вых\min}$  — уровни сигналов на выходе. К характерной особенности амплитудных параметров ПТВС относятся информационная нестабильность уровней белого и постоянной составляющей, в пределах интервалов развертки как строк, так и кадров. Информационные изменения уровней ПТВС трудно отличить от случайных изменений его амплитуды. Это существенно осложняет использование уровней сигнала яркости ПТВС для построения систем АРУ. В то же время к амплитуде синхронизирующих импульсов и опорным уровням сигналов испытательных строк предъявляется требование постоянства в течение всего времени действия сигнала. Поэтому о стабильности амплитуды при прохождении ПТВС по участку тракта можно судить по амплитуде синхронизирующих импульсов или сигналов испытательных строк. Следовательно, названные сигналы являются наиболее подходящими для построения на них систем АРУ. Разнообразие мест применения и способов построения систем АРУ позволит сделать их классификацию (рис. 2.3.11). Применяют АРУ в равноценных по зна-

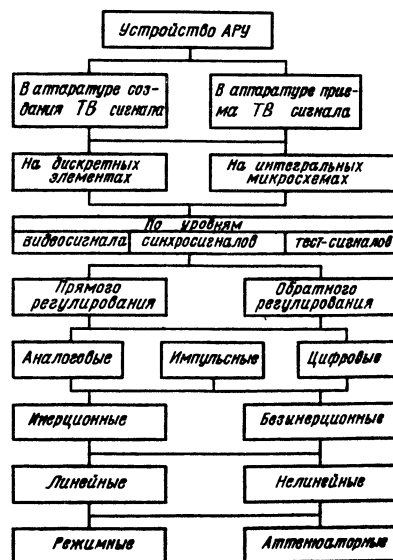


Рис. 2.3.11. Классификация способов построения систем АРУ

чимости областях: 1) аппаратуре создания ПТВС, включающей в себя все разнообразие тракта от телекамеры до излучающего передатчика; 2) в телевизорах; количество профессиональных и бытовых телевизоров в нашей стране свыше 80 млн. Системы АРУ могут быть выполненными на дискретных элементах (транзисторы, резисторы и т. п.), интегральных микросхемах (ИМС), а также внутри одной ИМС, как это сделано в современных цветных телевизорах (микросхемы К 174 УР2Б и К 174 УР5). Реализация АРУ ПТВС требует следующего: 1) получения информации о необходимости и направлении регулирования (увеличение или уменьшение уровня сигнала); 2) подачи этой информации по специальному каналу к месту регулирования; 3) управления регулятором, которым, как правило, служит усилитель с переменным КУ или аттенюатор. Информацию к регулятору можно подавать с помощью прямого (попутного) или обратного (встречного) канала по отношению к основному направлению передачи.

Участок ТВ тракта вместе с регулятором (рис. 2.3.12, а, б) — основной путь следования входного

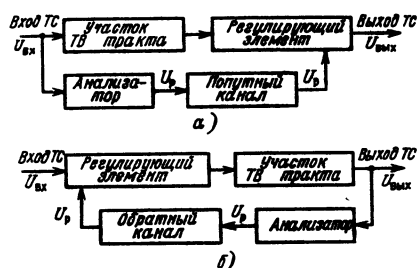


Рис. 2.3.12. Структурные схемы систем АРУ регулирования: а — прямого; б — обратного

ПТВС. В дополнительной к нему ветви уровень исходного сигнала анализируется на нестабильность и вырабатывается сигнал регулирования  $U_p$ , который далее передается по прямому (по отношению к ПТВС) направлению на регулятор. Если анализатор обнаруживает изменение амплитуды, то регулятор под действием  $U_p$  изменяет КУ тракта и направление усиления на противоположное. Таким образом достигается постоянство уровня выходного ПТВС. Качество работы системы АРУ оценивают по регулировочной характеристике (рис. 2.3.13), представляющей собой зависимость амплитуды выходного сигнала  $U_{вых}$  от  $U_{вх}$  (аналог АЧХ четырехполосника). По характеристике видны широкие возможности стабилизации уровня выходного ПТВС при использовании данного метода построения системы АРУ. Другим достоинством его является устойчивость к самовозбуждению. Существенным недостатком системы АРУ прямого регулирования является неконтролируемость результатов изменения выходного ПТВС, поскольку регулятор стоит после анализатора. Такую

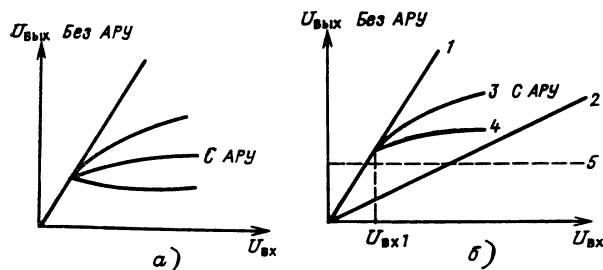


Рис. 2.3.13. Регулировочные характеристики систем АРУ ТС: а — прямого; б — обратного

литуды выходного сигнала  $U_{вых}$  от  $U_{вх}$  (аналог АЧХ четырехполосника). По характеристике видны широкие возможности стабилизации уровня выходного ПТВС при использовании данного метода построения системы АРУ. Другим достоинством его является устойчивость к самовозбуждению. Существенным недостатком системы АРУ прямого регулирования является неконтролируемость результатов изменения выходного ПТВС, поскольку регулятор стоит после анализатора. Такую

систему применяют в основном для регулировки яркости на передающей и приемной сторонах ТВС. В системе АРУ обратного регулирования (рис. 2.3.12, б) с выхода основного пути следования ПТВС ответвляется в анализатор, где вырабатывается сигнал регулирования  $U_p$ , который по обратному каналу подается на регулятор, находящийся в начале основного пути ПТВС. Если коэффициент передачи сигнала по прямому каналу обозначить через  $W_1$ , а по обратному через  $W_2$ , то общий коэффициент передачи для безынерционной системы АРУ, выполненной по схеме рис. 2.3.12, б, будет  $W = W_1 / (1 + W_1 W_2) = U_{вых} / U_{вх}$ . Из формулы следует, что  $W < W_1$  и зависит от коэффициента передачи в обратном канале. Обратную связь, понижающую коэффициент передачи системы, называют отрицательной. Вследствие этого АРУ обратного регулирования получила второе название как АРУ с отрицательной обратной связью (ОС). Именно благодаря этой связи здесь выполняется основное соотношение  $U_{вых \max} / U_{вх \min} \gg U_{вых \max} / U_{вх \min}$ . Недостатком системы АРУ с обратным регулированием является склонность ее к самовозбуждению при больших усилениях и неблагоприятных фазовых сдвигах сигналов, а достоинством — возможность контролировать уровень ПТВС после регулирования при достаточно хороших регулировочных характеристиках, которые показаны на рис. 2.3.12, б. Регулировочная характеристика системы АРУ обратного регулирования может менять наклон в зависимости от КУ в канале ОС, приближаясь к идеальному положению  $U_{вых} = \text{const}$ , показанному на рисунке штриховой линией. Вследствие этого ее применяют в основном в ТВ аппаратуре.

По виду сигнала регулирования, передаваемого от анализатора к регулятору, системы АРУ делят на аналоговые, импульсные и цифровые. Наибольшее распространение в ТВ технике получили аналоговые и импульсные.

Если коэффициент передачи  $W$  системы АРУ не зависит от частоты сигнала, то она становится безынерционной и приобретает способность отрабатывать быстрые изменения амплитуды ПТВС, например, в условиях многолучевости его распространения. Если система АРУ имеет коэффициент передачи  $W$ , определяемый НЧ частью спектра, то она становится инерционной и отрабатывает только медленные изменения его уровня или усредненный результат быстрых флуктуаций сигнала. В ТВ технике применяются оба вида систем АРУ. Если регулировочная характеристика системы АРУ линейна, (рис. 2.3.13, б, 2), то ее передаточная функция  $W$  не зависит от входного сигнала и система регулирования считается линейной. Такая система работает с одинаковой эффективностью при сильных и слабых ТВ сигналах. Ее применяют в аппаратуре создания ТВ сигнала в качестве средства стабилизации параметров усилителей (например, в камерах КТ 116М отечественной ТВ аппаратуры второго поколения, в камерном канале БКК 1014 аппаратуры третьего поколения «Перспектива»). В ряде случаев (например, в телевизорах) при малых уровнях сигналов это может привести к снижению ОСШ и значительному ухудшению воспроизводимого изображения. Поэтому регулировочную характеристику АРУ (а следовательно, и передаточную функцию  $W$ ) делают нелинейной, зависящей от входного сигнала. До порогового уровня входного сигнала  $U_{вх} \leq U_{вх1}$  система АРУ не работает, канал имеет максимальный КУ (см. рис. 2.3.13, б) — начальный участок графика 1, что обеспечивает максимальное значение ОСШ. При переходе уровня входного сигнала через пороговый  $U_{вх} > U_{вх1}$  включается АРУ и происходит процесс регулирования над сильными сигналами (см. рис. 2.3.13, б, 3, 4), что предохраняет канал от пере-

\* Для частотно-зависимой передачи сигналов в АРУ значения коэффициента передачи  $W$  записываются в операторной или комплексной формах.



грузки. Такие нелинейные пороговые системы АРУ широко применяют в телевизорах. Их называют системы АРУ с задержкой.

Работу систем АРУ можно оценить по следующим показателям: 1) изменению входного напряжения  $D = U_{вх\max}/U_{вх\min}$  (глубина регулирования по входному сигналу), при котором выходной уровень ПТВС  $U_{вых}$  находится в заданных пределах  $U_{вых\min} \leq U_{вых} \leq U_{вых\max}$ ; 2) допустимому значению изменения выходного напряжения сигнала  $B = U_{вых\max}/U_{вых\min}$  при изменении выходного уровня ПТВС в пределах  $U_{вх\min} \leq U_{вх} \leq U_{вх\max}$ ; 3) изменению коэффициента передачи (усиления) участка ТВ тракта, охваченного работающей АРУ ТС  $K = W_{\max}/W_{\min} = U_{вых\min}/U_{вх\min} : U_{вых\max}/U_{вх\max} = D/B$ . При исправно работающей системе АРУ должны выполняться соотношения  $D \gg B$  и  $K \gg 1$ . Например, для телевизоров значение параметра  $D$  может достигать нескольких сотен единиц,  $B$  — несколько единиц, в  $K$  — несколько сотен. Для изменения коэффициента передачи в системе АРУ можно применять режимный и аттенуаторный методы. При *режимном методе* сигналы регулирования, изменяя режим работы регулятора (например, перемещая рабочую точку характеристики усилителя), изменяют его КУ, в *аттенуаторном режиме* регулятор представляет собой ступенчатый аттенуатор (например, резисторная матрица), изменяющий коэффициент затухания в цепи передачи ПТВС. В системе АРУ по уровням ПТВС (рис. 2.3.14) входной сигнал проходит

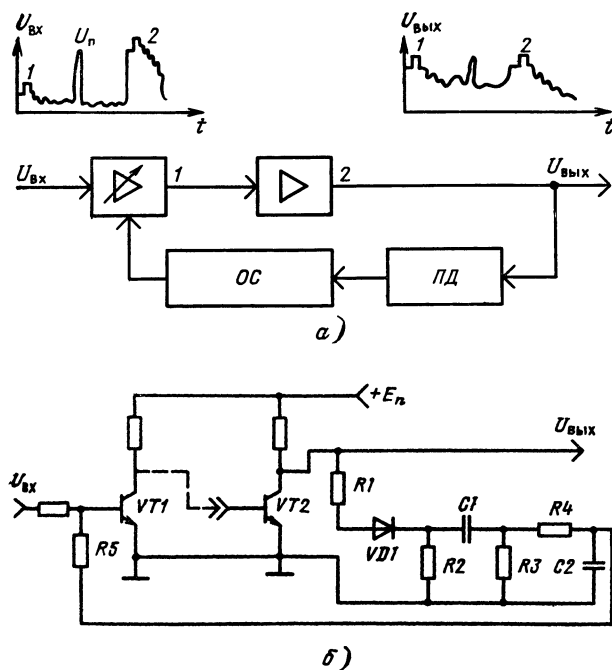


Рис. 2.3.14. Схемы систем АРУ по уровням ПТВС: а — структурная; б — принципиальная

через регулятор 1, основной усилитель 2, ответвляется на пиковый детектор и через цепь ОС подается на регулятор 1. Усилители 1 и 2 прямого канала прохождения ПТВС представлены на принципиальной схеме каскадами на транзисторах VT1 и VT2; пиковый детектор — диодом VD1, резисторами R1—R3 и конденсатором C1; цепь ОС — резисторами R4, R5 и конденсатором C2. С выхода прямого канала (коллектор VT2) ПТВС ответвляется через резистор R1 в анализатор уровня, которым является пиковый детектор. Нелинейный элемент детектора (диод VD1) открывается в мо-

менты появления максимума ПТВС, в данном случае уровней синхроимпульсов 1 и 2. Под действием напряжений этих импульсов накопительный конденсатор C1 детектора заряжается за время  $t_3 = 3C_1(R_{VD1} + R_3)$ , меньшее длительности строчного синхроимпульса, до напряжения  $U_p = U_{ТВ\max}$  максимума ПТВС, т. е. до уровня синхроимпульсов. На интервале между синхроимпульсами 1 и 2 напряжение  $U_p$  закрывает диод VD1, и конденсатор C1 разряжается с постоянной времени  $\tau_p = C_1(R_2 + R_3)$ , которая сравнима с периодом строчной развертки. Отрицательное значение напряжения  $U_p$  подается через инерционную цепь ОС R4C1 и резистор R5 в базу транзистора VT1 регулируемого усилителя. Первый синхроимпульс в данном примере вследствие малой амплитуды создает малое напряжение  $U_p$ , которое обеспечивает большое усиление каскада на транзисторе VT1. Второй синхросигнал значительно большей амплитуды создает и большее отрицательное напряжение  $U_p$ , которое снижает КУ первого каскада. Таким образом, регулированием КУ прямого канала выравниваются амплитуды участков ПТВС на выходе системы (транзистор VT2) на интервалах работы диода пикового детектора. По совокупности заложенных признаков системы АРУ с пиковым детектором можно отнести к следующим классификационным группам: на дискретных элементах по уровням синхросигналов, обратного регулирования, аналоговая, инерционная, режимная.

Существенным преимуществом системы АРУ с пиковым детектором служат простота схемы и хорошая работа при небольших перепадах входного сигнала ( $D < 100$ ) и высокое значение ОСШ. Недостатками — низкая скорость работы, малая помехоустойчивость, невысокие диапазоны регулировки (малые значения  $D$  и  $K$ ). Низкая помехоустойчивость объясняется тем, что любая импульсная помеха  $U_n$  (см. рис. 2.3.14, б), превышающая уровень предшествующего синхросигнала, вызывает ложное срабатывание пикового детектора и всей системы АРУ. Низкая скорость определяется комприссом между значениями постоянных времени цепей заряда  $t_3 = C_1(R_{VD1} + R_3)$  и разряда  $\tau_p = C_1(R_2 + R_3)$ , конденсатора C1 пикового детектора, которые, в свою очередь, со стандартными значениями длительности строчного синхроимпульса и периода строчной развертки. Поэтому системы АРУ с пиковым детектором в профессиональной аппаратуре применяют ограниченно.

Регулярность структуры ПТВС во времени и наличие в нем уровней, не зависящих от содержания изображения (гасящие, тестовые и синхроимпульсы), позволяют создавать *импульсные (ключевые) системы АРУ*. Основные работы таких систем состоят в том, что с помощью внешних по отношению к ПТВС импульсов частот строк или кадров выделяются из него участки, содержащие гасящие, тестовые или синхронизирующие сигналы, которые используются далее для регулирования уровня ПТВС. Принципиально новым элементом ключевой системы АРУ (рис. 2.3.15) является каскад стробирования. С выхода усилителя 2 (рис. 2.3.16, а) ПТВС ответвляется на вход А каскада стробирования. На его вход Б поступают стробирующие импульсы частоты строк, которые синхронны и синфаз-

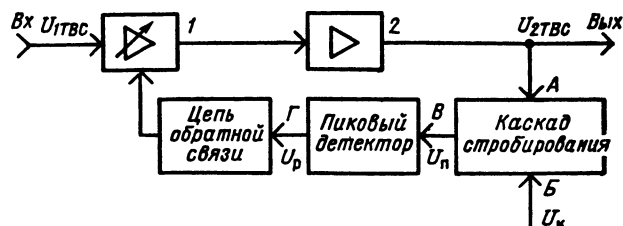


Рис. 2.3.15. Структурная схема ключевой системы АРУ

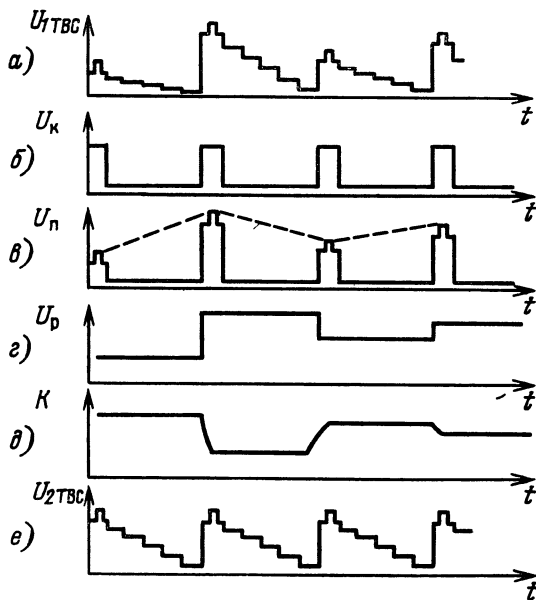


Рис. 2.3.16. Временные диаграммы, поясняющие работу ключевой системы АРУ

ны с синхроимпульсами строк регулируемого ПТВС. Стробящий каскад работает как односторонний ключ. Под действием стробирующих импульсов он пропускает участки сигнала, содержащие гасящие и синхроимпульсы в направлении пикового детектора, который является их анализатором. Использование синхроимпульсов в качестве информационных сигналов позволяет применять в системе АРУ пиковый детектор с малыми постоянными времени заряда — разряда ( $\tau < t_{\text{гас}}$ ), что повышает быстродействие. Пиковый детектор заряжает накопительный конденсатор до заряда, соответствующего амплитуде строчного синхроимпульса ПТВС в данный момент. Напряжение  $U_p$  на выходе пикового детектора (рис. 2.3.16, г) изменяется синхронно с изменением амплитуды ПТВС и может служить сигналом для управления коэффициентом усиления регулируемого усилителя 1 основного канала. Сигнал  $U_p$  передается через цепь ОС от пикового детектора к регулируемому каскаду и воздействует на него так, что его КУ уменьшается с ростом амплитуды выделенных из ПТВС синхроимпульсов (рис. 2.3.16, д). Сигнал становится постоянным по амплитуде синхроимпульсов и, следовательно, по уровню видеосигналов (рис. 2.3.16, е). Система АРУ обратного регулирования охватывает отрицательной ОС усилителя прямого канала 1 и 2, чем повышает стабильность работы. Поскольку канал АРУ открывается для анализа ПТВС на ограниченный интервал строчного синхроимпульса, то все импульсные помехи на участках между интервалами не влияют на работу системы АРУ. Достоинства ключевых систем АРУ в высокой помехозащищенности и большой глубине регулирования ( $D > 100$ ). Однако они требуют существенного усложнения схемы в части каскадов формирования стробирующих импульсов и чувствительны к рассогласованию фаз стробирующих сигналов и синхроимпульсов. Несмотря на это, ключевые системы АРУ широко применяются в ТВ аппаратуре, особенно в телевизорах (рис. 2.3.17).

Входной ВЧ сигнал  $U_{\text{вх}}$  проходит через селектор канала СК, усилитель промежуточной частоты УПЧ, преобразуется в ПТВС, который поступает через резистор R1 в стробирующий каскад, собранный на транзисторе VT1. Резистором R2 устанавливается рабочий режим этого каскада. Дiode VD1 и конденсатор C2 могут выполнять функцию пикового детектора, кото-

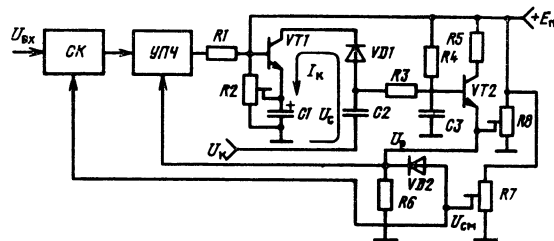


Рис. 2.3.17. Фрагмент структурной схемы ключевой системы АРУ цветного телевизора

рый подключен к коллектору VT1 и базовой цепи усилителя постоянного тока УПТ, собранного на элементах VT2, R3, R4, R5, R6, C3. Режим работы УПТ устанавливается резистором R8. Стробящие импульсы амплитудой около 30 В поступают через конденсатор C2 и диод VD1 на коллектор VT1, являясь для него источником коллекторного питания. Совокупная работа стробирующего каскада и пикового детектора состоит в том, что в моменты совпадения импульсов синхронизации на базе VT1 и стробирующих импульсов  $U_{\kappa}$  на коллекторе транзистора полностью открывается. Импульс коллекторного тока  $I_{\kappa}$  протекает по последовательной цепи C2VD1VT1 и заряжает конденсатор C2. Так как этот импульс прямо пропорционален положительным синхроимпульсам ПТВС, на базе транзистора заряд и напряжение на конденсаторе C2 пропорциональны амплитуде синхросигналов. Постоянная времени емкостной цепи пикового детектора мала, вследствие чего напряжение на конденсаторе  $U_c$  успевает следить за амплитудой синхроимпульсов и может быть использовано в качестве сигнала регулирования. Напряжение  $U_c$ , пройдя через интегрирующую цепь R3C3 и усилитель постоянного тока, создает на резисторе R6 усиленный сигнал регулирования  $U_p$ , который поступает в регулируемые каскады УПТ. Все это в совокупности образует первый, внутренний, контур системы АРУ телевизора. Положительный потенциал  $U_p$  обратно пропорционален амплитуде синхроимпульсов. Поэтому при понижении ПТВС на входе УПЧ сигнал  $U_p$  увеличивается и увеличивает КУ УПЧ для слабого сигнала (и наоборот). Второй, внешний, контур системы АРУ телевизора охватывает весь его тракт от селектора канала до стробирующего каскада. В этом контуре применена нелинейная цепь АРУ. При малом уровне сигнала на входе селектора каналов он регулируется внутренним контуром системы, что обеспечивает максимальное усиление в селекторе каналов и высокое значение ОСШ. Вырабатываемое в первом контуре  $U_p$  в данном случае больше напряжения смещения  $U_{\text{см}}$ , подаваемого на анод порогового диода VD2 от резистора R7. Поэтому  $U_p$  не может пройти в цепь АРУ селектора каналов, что способствует максимальному усилению. При увеличении  $U_{\text{вх}}$  селектора каналов  $U_p < U_{\text{см}}$  для первого контура, пороговый диод VD2 открывается, напряжение на его аноде понижается до уровня  $U_p$ . Это и есть  $U_p$  цепи АРУ селектора каналов. Глубина регулирования по входному сигналу второго контура АРУ  $D = 20$  дБ. Глубина регулирования всей системы АРУ телевизора превышает 40 дБ. Работа внешнего контура системы АРУ с задержкой позволяет сохранять большое значение ОСШ при малых уровнях входного сигнала и предохранять селектор канала от перегрузок при больших уровнях сигналов. В схеме рис. 2.3.17 имеются следующие классификационные признаки: использование в аппаратуре приема на дискретных элементах, импульсная, обратного регулирования, по уровням синхросигналов, двухконтурная, инерционная, нелинейная, режимная. Эти принципы заложены также в систему АРУ унифицированных полупроводниково-интегральных цветных телевизоров. В системе АРУ (рис. 2.3.18) входной ВЧ сигнал прохо-

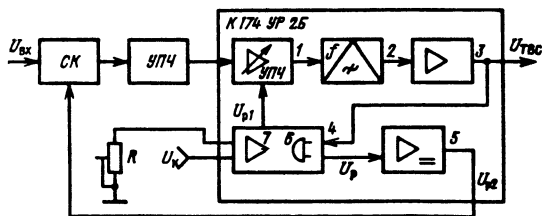


Рис. 2.3.18. Фрагмент структурной схемы двухкантовой системы АРУ, выполненной с использованием микросхемы К 174 УР 2Б

дит через селектор каналов на регулируемые каскады УПЧ, далее на детектор сигнала 2 и усилитель ПТВС 3. С одного из выходов этого усилителя он поступает на ключевую систему АРУ (участок 4—5 ИМС). В блоке 4 ПТВС проходит через стробирующий каскад и детектор 6, усилитель ОС 7 и превращается в сигнал  $U_p$ , который управляет КУ УПЧ. Из блока 4 сигнал  $U_p > U_{пор}$  поступает в усилитель постоянного тока 5 второго контура АРУ, где усиливается перед подачей в селектор каналов. Эффективность работы внутреннего контура АРУ оценивается глубиной регулирования  $D=46$  дБ при изменении уровня ПТВС  $B=3$  дБ, т. е. параметром  $K=43$  дБ. Эффективность работы второго контура АРУ оценивают  $D=20$  дБ. Как видно, данная система АРУ обладает большим диапазоном регулирования при хорошем быстродействии.

Систему АРУ, схема которой дана на рис. 2.3.19,

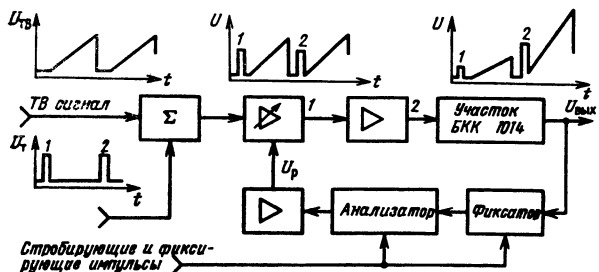


Рис. 2.3.19. Структурная схема системы АРУ, использующей для анализа нестабильности сигнала сигналы теста

применяют для стабилизации усилителей блока камерного канала БКК 1014 в профессиональной студийной ТВ аппаратуре. На данном участке тракта синхросигналы в ПТВС еще не установлены. Поэтому для получения достоверной информации о необходимости регулирования уровня в синхросигнал вводят во время обратного хода по строке калиброванные по уровню импульсы, которые ориентированы в область уровня белого. В результате на выходе сумматора получается композитный видеосигнал с фиксированными уровнями сигналов тестов. Этот сигнал проходит через каскад с регулируемым усилением 1 и усилители блока камерного канала БКК 1014, с выхода которого он возвращается в обратную цепь АРУ. Все нестабильности усиления видеосигнала на этом участке тракта в одинаковой степени проявляются и на уровнях тестовых импульсов. В целях фиксации композитный видеосигнал восстанавливает постоянную составляющую и получает фиксированное значение уровня черного. В анализаторе методом стробирования выделяются тестовые сигналы, несущие информацию об отклонениях уровня видеосигнала. Они становятся основой для выработки сигнала  $U_p$ , который после усиления подается на каскад с регулируемым КУ1, стабилизирует общую передаточную функцию данного участка аппаратуры. Эффективная работа этой системы АРУ позволяет контролировать отклонения уровня сигнала в несколько процентов.

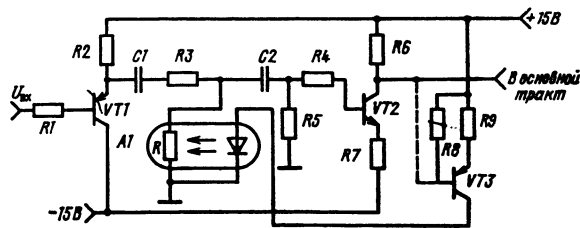


Рис. 2.3.20. Фрагмент принципиальной схемы системы аттенуаторной АРУ обратного регулирования, примененной в усилителе воспроизведения для раздельной коррекции работы видеоманитфона «КадрЗПМ»

Система АРУ содержит следующие признаки классификации: в аппаратуре создания ПТВС, на дискретных элементах,— по уровням сигналов теста, в аппаратуре обратного регулирования — импульсная, линейная, безнерционная, режимная.

На фрагменте принципиальной схемы системы аттенуаторной АРУ обратного регулирования (рис. 2.3.19, 2.3.20) на транзисторе VT1 собран согласующий эмиттерный повторитель на UT2 — усилительный каскад основного тракта на транзисторе на UT3 цепь формирования сигнала управления АРУ, на оптроне A1 и резисторе R3 — регулирующий аттенуатор. Входной ТВ сигнал на частотно-модулированной поднесущей через согласующий эмиттерный повторитель, аттенуатор (в виде делителя напряжения, состоящего из резисторов оптрона и R3), усилитель направляется в основной тракт воспроизводящей части видеоманитфона. С коллектора транзистора VT2 сигнал ответвляется в обратную цепь АРУ. В зависимости от амплитуды сигнала, поданного на базу транзистора VT3 изменяются его коллекторный ток и яркость свечения оптического элемента оптрона A1, включенного в коллекторную цепь транзистора VT3. Сопротивление оптрона R меняется обратно пропорционально яркости свечения оптического элемента (светоизлучателя). Следовательно, коэффициент передачи аттенуатора  $K=R/(R_3+R)$  меняется обратно пропорционально изменению амплитуды сигнала на выходе усилителя VT2 прямой ветви системы АРУ. Этим и достигается постоянство уровня сигнала на выходе при поступлении входного сигнала от разных видеоголовок. Другой особенностью данной системы АРУ является высокое быстродействие, которое объясняется отсутствием реактивных элементов во всей обратной цепи, включая аттенуатор. Аттенуатор (рис. 2.3.21) можно выполнить в виде резисторной матрицы  $R=2R$  и набора электронных ключей. Коэффициент передачи такой матрицы меньше единицы и определяется формулой  $K=AN$ , где  $A$  — постоянная величина, а  $N < 1$  число, представленное двоичным кодом  $N = \sum_{i=1}^n d_i 2^{-i}$ . Если ключи аттенуатора управляются  $n$ -разрядным кодом, то коэффициент его передачи меняется от значения, близкого к  $A$ , до  $A \cdot 2^n$ , что для 8-разрядного кода составит  $A:256$ . Таким образом, диапазон регулировки разбивает на 256 фиксированных позиций, что обеспечивает постоянство уровня выходного сигнала аттенуатора при изменении входного сиг-

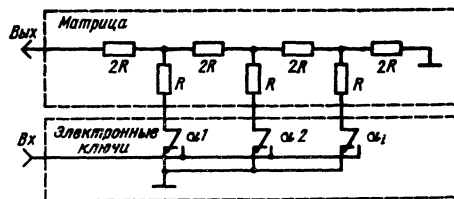


Рис. 2.3.21. Принципиальная схема матричного аттенуатора

нала в 256 раз. Условием применения такого аттенюатора является представление управляющего сигнала АРУ в виде числа или кодовой комбинации, т. е. в цифровой форме. Поэтому матричные аттенюаторы используются в качестве регуляторов в цифровых системах АРУ.

Цифровую АРУ обратного регулирования (рис. 2.3.22) применяют в блоке стабилизирующих усилите-

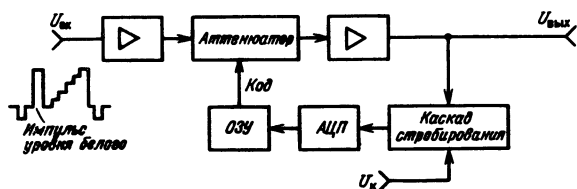


Рис. 2.3.22. Фрагменты структурной схемы цифровой системы АРУ

лей профессиональной студийной ТВ аппаратуры. В ней используются в качестве сигнала теста импульсы уровня белого в сигналах испытательных строк в сочетании с принципом стробирования. Прямой канал прохождения ПТВС состоит из входного усилителя, матричного аттенюатора, выходного усилителя. В состав обратного канала АРУ входят стробирующий каскад, АЦП и устройство памяти, оперативное записывающее устройство (ОЗУ). Сигнал теста испытательной строки, сопровождаемая ПТВС, несет в себе информацию о всех флуктуациях его амплитуды. На стробирующий каскад поступают ПТВС и стробирующие импульсы, которые следуют с частотой полей и по времени совпадают с сигналами уровня белого испытательных строк. Выделенные импульсы поступают в анализатор уровня белого, которым является АЦП. Информация о уровне ПТВС на выходе АЦП представлена параллельным  $n$ -разрядным кодом двоичных сигналов, который поступает в ОЗУ и хранится там в течение длительности полукадра до следующей операции измерения амплитуды импульсов уровня белого сигнала испытательной строки. Кодовая комбинация двоичных сигналов с выхода ОЗУ поступает на коммутационные ключи матричного аттенюатора и управляет его коэффициентом передачи. Цифровая система АРУ построена так, что при увеличении уровня белого сигнала испытательных строк число  $N$  кодовой комбинации на выходе ОЗУ уменьшается, вследствие чего уменьшается и коэффициент передачи аттенюатора. В цифровых системах АРУ можно получить регуляторную характеристику, близкую к идеальной (см. рис. 2.3.13, 5). Недостатком является относительная сложность, преимуществами — высокая точность работы, определяемая разрядной сеткой  $n$  двоичного кода на выходе АЦП, стабильность работы и быстродействие.

Реальная система АРУ имеет режимы быстрой (безынерционной) и медленной (инерционной) стабилизации. При быстрой стабилизации минимальный интервал времени смены коэффициента передачи аттенюатора равен 0,02 с, т. е. периоду следования импульсов уровня белого в сигналах испытательных строк. При медленной стабилизации этот интервал искусственно увеличивают до 1...2 с.

Цифровые системы АРУ могут быть линейными и нелинейными с легко перестраиваемым порогом задержки. Резисторные матрицы, коммутационные ключи и АЦП широко распространены и выпускаются в виде интегральных микросхем. Поэтому цифровую систему АРУ можно исполнить на ИМС, исполняющих уровни синхроимпульсов и сигналы теста, займут свое место в ТВ аппаратуре.

## Список литературы

1. Комплексы цветного телевидения/Под ред. Е. Н. Шулюмова. Киев: Техника, 1977, 160 с.
2. Цыпкин Я. З. Теория линейных импульсных систем. М.: Физматгиз, 1963.— 968 с.
3. Ельяшевич С. А., Кишеневский С. Э. Блоки и модули цветных унифицированных телевизоров. М.: Радио и связь, 1982.— 192 с.
4. Буланов Ю. А., Усов С. Н. Усилители и радиоприемные устройства.— М.: Высшая школа, 1980, 415 с.
5. Палшков В. В. Радиоприемные устройства. М.: Радио и связь, 1984.— 392 с.
6. Балаклай В. Г., Крюк И. П., Лукьянов Л. М. Интегральные схемы АЦП и ЦАП.— М.: Энергия, 1978, 256 с.
7. Радиоприемные устройства/Под ред. Л. Г. Барулина.— М.: Радио и связь, 1984, 272 с.

## 2.4. Характеристики преобразователя сигнал-свет

В массовых телевизорах преобразование сигнала в изображение называют преобразованием сигнал-свет. Осуществляется оно путем изменения тока электронного луча кинескопа напряжением, между управляющим электродом и катодом (модуляция). Действие управляющего электрода (модулятора) в кинескопе подобно действию управляющей сетки в лампе: чем больше отрицательное напряжение между модулятором и катодом, тем меньше ток. Отрицательное напряжение, отталкивая эмиттированные электроны, находящиеся в области прикатодного пространственного заряда, прижимают их обратно к катоду. Напряжение на модуляторе видоизменяет электрическое поле объектива, уменьшая диаметр эмиттирующей поверхности катода. Как видно из рис. 2.4.1, при увеличении отрицательно-

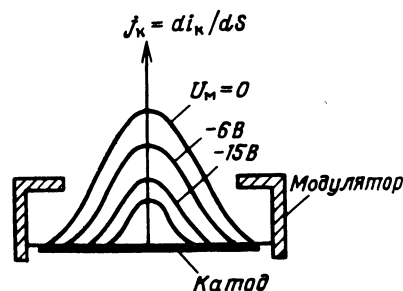


Рис. 2.4.1. Распределение плотности тока у поверхности катода при разных напряжениях на модуляторе

го напряжения на модуляторе  $U_m$  уменьшается плотность тока катода  $j_k = di_k/ds$  и уменьшается действующий диаметр катода  $d_k$ . Зависимость тока катода кинескопа от напряжения на модуляторе — модуляционная характеристика  $i_k = A(U_m - U_a)^\gamma$ , где  $A$  — коэффициент пропорциональности;  $U_m$  — абсолютное значение напряжения на модуляторе (относительно катода);  $U_a$  — напряжение отсечки (запирания), при котором ток луча падает до нуля;  $\gamma = 1,5 \dots 2,5$ , показатель степени, зависящий от геометрических и электрических параметров электронного прожектора. Ток электронного луча  $i_k$ , попадающего на экран, оказывается в несколько раз меньше, чем ток катода  $i_k$ , так как часть электронов задерживается арматурой кинескопа: ускоряющим электродом, фокусирующим электродом и др. Однако при измерении этих токов трудно выделить ток луча. В связи с этим в справочниках приводят зависимость  $i_k = f(U_m)$ . Так как разница между  $i_k$  и  $i_k$  невелика,

можно считать характеристики  $i_k(U_a)$  и  $i_d(U_a)$  практически несовпадающими. Электроны луча, бомбардирующие люминофор, имеют большую энергию (более 10 тыс. эв.). Они вызывают переход на более высокий энергетический уровень. Возвращаясь на свои прежние орбиты, электроны полученную от луча дополнительную энергию излучают в виде квантов света. При бомбардировке электронным лучом люминофора не вся кинетическая энергия луча превращается в световую. Значительная часть преобразуется в тепловую энергию, а также в рентгеновское излучение. В меньшей степени полезная световая энергия составляет не более 10% всей энергии электронного луча. В качестве веществ, обладающих повышенной способностью к катодолюминесценции, используют силикаты, сульфиды, оксиды и фосфаты металлов цинка, кадмия, кальция, магния и бериллия. Значительное увеличение эффекта люминесценции и подбор цвета достигают добавкой в состав люминофора весьма малого количества активаторов (доли процента) — меди, серебра, марганца и др. Вещества, используемые в качестве люминофоров, должны обладать высокой эффективностью преобразования энергии электронного луча в световую; длительным сроком службы; длительностью послесвечения, близкой к длительности передачи одного кадра изображения; необходимым цветом свечения. Зависимости тока луча и яркости свечения экрана от напряжения на модуляторе (рис. 2.4.2) практически совпадают. Сила света,

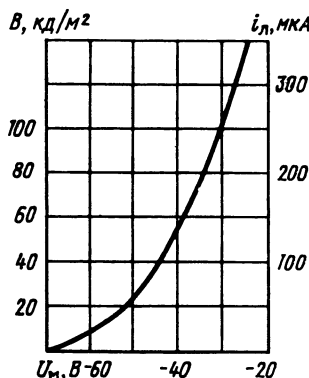


Рис. 2.4.2. Зависимость яркости луча от напряжения на модуляторе

излучаемого экраном кинескопа, связана с мощностью электронного луча  $I = k i_d U_a^n$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $i_d$  — ток электронного луча, А;  $U_a$  — высоковольтное напряжение на главном аноде;  $n$  — показатель степени, определяемый физическими параметрами люминофора (на практике  $n = 1 \dots 2$ ) зависимость рис. 2.4.3 соответствует (2.42) при  $i_d = \text{const} \approx$

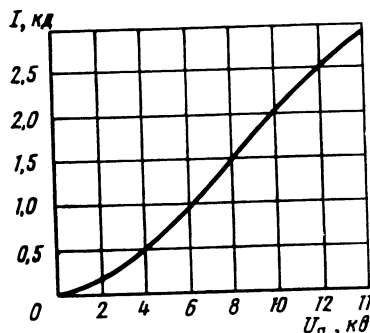


Рис. 2.4.3. Зависимость силы света от высоковольтного напряжения

$\approx 10^{-4} \dots 1,5 \cdot 10^{-4}$  А. На рабочем участке зависимости соответствующей напряжению 6...12 кВ зависимость может быть аппроксимирована выражением для отрезка прямой линии  $I = k i_d (U_a - U_0)$ . Так как для современных кинескопов  $U_0 = 1 \dots 2$  кВ, а  $U_a = 10 \dots 16$  кВ и более, т. е.  $U_a \gg U_0$ , то  $I \approx k i_d U_a = k P_a$ , где  $P_a$  — мощность электронного луча.

В этом случае коэффициент  $k = I/P_a$ , кд/Вт, приобретает практический смысл, определяющий светоотдачу люминесцентного экрана.

Яркость свечения ТВ экрана, кд/м²  $B = I/S_{\text{эк}} = k i_d U_a / S_{\text{эк}}$ , где  $S_{\text{эк}}$  — площадь экрана, м².

Пример. Для кинескопа с диагональю 59 см площадь экрана  $S_{\text{эк}} = \pi r^2 = 0,37 \cdot 0,46 \text{ м}^2 = 0,17 \text{ м}^2$ ,  $U_a = 16$  кВ,  $i_d = 10^{-4}$  А и  $k = 4$  кд/Вт, яркость  $B = k i_d U_a / S_{\text{эк}} = 40$  кд/м². Люминофор, нанесенный на переднее стекло кинескопа, под воздействием электронного пучка излучает свет в обе стороны: наружу (в сторону зрителя) и внутрь колбы. Световые лучи, частично отражаясь от внутреннего покрытия колбы, рассеиваются и вновь попадают на экран кинескопа, где засвечивают темные места изображения (рис. 2.4.4, луч ГВ). Внутренняя подсветка снижает контрастность изображения.

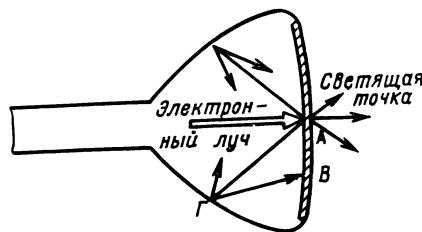


Рис. 2.4.4. Направления лучей в кинескопе

Другим явлением, существенно снижающим контрастность мелких и средних деталей, является ореол (рис. 2.4.5). Электронный луч, попадая на экран кинескопа, например в точку А, возбуждает люминофор. Расходящиеся из этой точки световые лучи частично проходят вперед к зрителю, а частично на границе «стекло—воздух» отражаются обратно, освещая люминофор вокруг точки А. Таким образом, зритель видит ярко светящуюся точку, окруженную менее ярким кольцом — ореолом. Диаметр ореола можно определить, используя известное в оптике явление полного внутреннего отражения. Для кинескопа  $d \approx 3,6 \delta$ . Эту формулу следует считать приближенной, так как ореол не имеет явно выраженных границ. Обычно толщина экрана составляет 5 мм, при этом  $d = 3,6 \cdot 5 = 18$  мм. Если на изображении имеются мелкие детали — темные точки

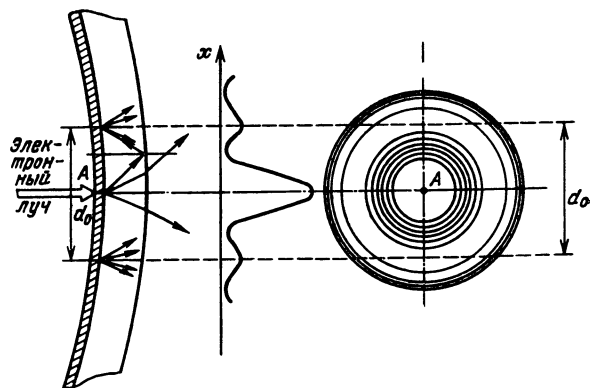


Рис. 2.4.5. К объяснению причин возникновения ореола

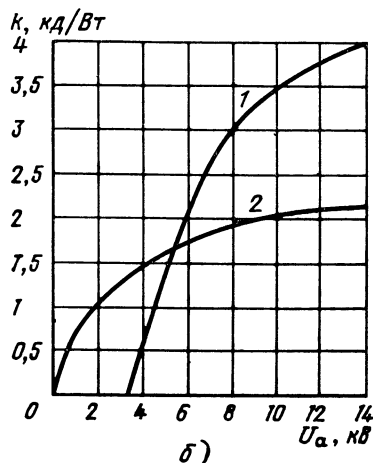
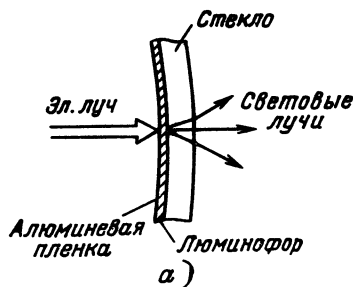


Рис. 2.4.6. К объяснению способов улучшения контрастности и повышения яркости: а — расположение алюминиевой пленки на стекле экрана; б — графики светотдачи экрана с алюминиевой пленкой (1) и без нее (2)

или линии, то при развертке эти элементы будут покрываться ореолом от соседних светлых мест и их контрастность резко снизится. Точно так же ореол снижает на крупных деталях контрастность переходов от светлого к темному. Эффективным средством улучшения контрастности и повышения яркости ТВ изображения является покрытие экрана кинескопа изнутри тонким алюминиевым слоем (рис. 2.4.6, а). Толщина алюминиевого покрытия составляет обычно 0,05...0,5 мкм. Электронный пучок, легко «пробивает» пленку и возбуждает люминофор. Алюминиевая пленка не пропускает световые лучи внутрь колбы, чем существенно улучшается контрастность. Кроме того, она служит своеобразным зеркалом, отражающим обратные световые лучи вперед — к зрителю. Таким образом, яркость изображения практически удваивается. Из рис. 2.4.6, б видно, что при анодном напряжении более 10 кВ алюминированный экран дает вдвое больше света на 1 Вт мощности электронного пучка. Алюминиевой пленкой решается еще одна важная задача: она задерживает массивные отрицательные ионы, препятствуя возникновению ионного пятна на экране. Дело в том, что ионы, имеющие существенно большую массу, чем электроны, не отклоняются магнитным полем на всю площадь экрана и попадают на центральную его часть, вызывая постепенное «выгорание» люминофора. Эта часть экрана имеет существенно меньшую яркость и воспринимается как темное пятно. В ранних конструкциях кинескопов это пятно существенно снижало его срок службы, затем начали применять «ионные ловушки». С применением алюминирования экрана необходимость в ионных ловушках отпала.

Улучшая контрастность крупных деталей при устраниении внутренней подсветки, алюминиевая пленка практически не влияет на ореол. Для его устранения экран

выполняют из дымчатого стекла (нейтральный фильтр), имеющего коэффициент поглощения света существенно больший, чем обычное. Принцип подавления ореола дымчатым стеклом чрезвычайно прост: основные лучи, направляясь к зрителю, проходят через толщу экрана 1 раз и поглощаются незначительно, а лучи, образующие ореол, проходят путь а—б—с—д — существенно больший и поглощаются соответственно, гораздо сильнее. Для преобразователя сигнал—свет важны спектральная и временная характеристики. Спектральная характеристика кинескопа зависит от состава люминофора. Бóльший максимум 1 по сравнению с 2 придает свечению слегка голубой оттенок. Как видно из рис. 2.4.7, характеристика излучения люминофора на-

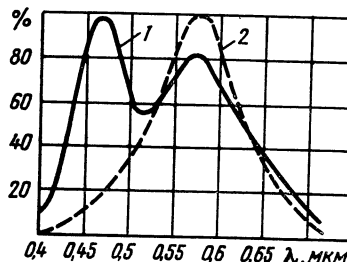


Рис. 2.4.7. Спектральные характеристики люминофора для черно-белых кинескопов БМ [ZnS : Ag+Zn (47%), Cds : Ag (53%)]

ходится в области кривой видности человеческого зрения, что соответствует большей эффективности экрана. Находясь на элементе экрана (рис. 2.4.8), электронный луч за время  $T_{эл}$  вызывает разгорание люминофора (кривая LM). Затем луч перемещается на последующие элементы, а свечение данного элемента постепенно снижается (кривая ML). Интервал  $T_{п.с.}$ , в течение которого яркость снижается до 1% максимума, называют

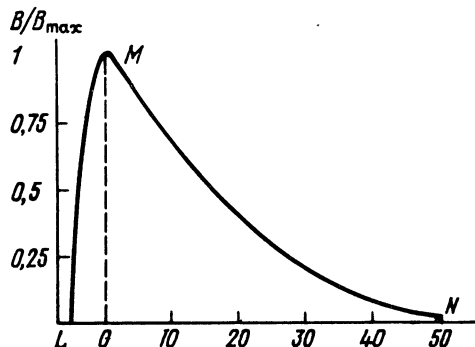


Рис. 2.4.8. Зависимость изменения яркости элемента экрана во времени (люминофор БМ-5)

временем послесвечения экрана. Послесвечение играет положительную роль, снижая заметность мельканий при смене кадров. Слишком длительное послесвечение приводит к смазыванию быстро перемещающихся деталей изображения. Смазывание не заметно, если от предыдущего кадра остаток не превышает 5% яркости передаваемого кадра, что соответствует постоянной времени экспоненты MN порядка  $10^{-2}$  с.

## 2.5. Методы адаптивной обработки телевизионного сигнала

### 2.5.1. Коррекция четкости:

1. Критерий оптимальности. Повышение качества воспроизведения ТВ изображений в процессе коррекции ограничивается главным образом (см.

п. 2.2.2) уменьшением значения ОСШ  $\psi$ . Так как это значение для тонкоструктурных деталей изменяется незначительно, то ограничиваются допустимым его уменьшением на протяженных деталях, при котором заметность помех возрастает  $\psi_{\text{кч. доп}}$ . Поэтому  $\psi_{\text{кч. доп}}$  определяется порогом зрительного восприятия помех  $\delta_\psi$ , и допустимое значение коэффициента помехоустойчивости ТВС в процессе коррекции четкости (КЧ)

$$P_{\text{доп}} < \psi_1 / \psi_{\text{кч. доп}} = 1 / (1 - \delta_\psi).$$

Если учесть, что возрастание помех при КЧ зависит от коэффициента коррекции  $k_{\text{к}} = m_{\text{а.к}} / m_{\text{а}}$ , то критерий оптимальности КЧ

$$k_{\text{к}} = \max(m_{\text{а.к}} / m_{\text{а}}), \quad P_{\text{доп}} \leq 1 / (1 - \delta_\psi). \quad (2.5.1)$$

Коррекция четкости, удовлетворяющая (2.5.1), обеспечивает наибольшую степень при допустимом снижении помехоустойчивости. Значение  $\delta_\psi$  зависит от пространственно-временных (протяженность и время проявления) и светотехнических (яркость, цветность) параметров, фона ОСШ и энергетического спектра помех. Поэтому КЧ, оптимальная по (2.5.1), должна быть адаптивной к указанным параметрам корректируемого изображения. Анализ результатов экспериментальных исследований зависимости порога заметности помех от параметров ТВ изображения показывает, что значение  $\delta_\psi$  изменяется: в 3—4 раза в диапазоне значений  $\psi = 30 \dots 80$ , в 1,7—2 раза для разных значений яркости изображения, в 2,5...2,9 раза в зависимости от цветового тона. Заметность помехи на тонкоструктурных деталях изображения на порядок меньше, чем на протяженных деталях.

2. Принципы работы корректора. Коэффициент КЧ для корректируемой детали должен автоматически устанавливаться таким, чтобы удовлетворялось (2.5.1). Для этого входной ТВ сигнал адаптивного корректора четкости (рис. 2.5.1) поступает на

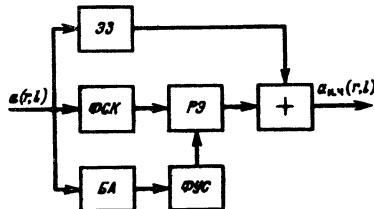


Рис. 2.5.1. Структурная схема аддитивного корректора четкости

формирователь сигнала коррекции ФСК, аналогичный рассмотренному в инвариантных методах, и на блок анализа БА параметров сигнала. Последний оценивает значение параметров адаптации и по результатам формирует управляющий сигнал для регулировки  $K_{\text{к}}$  регулятором. Корректируемый сигнал подается на сумматор через элемент задержки ЭЗ, обеспечивающий временное согласование его с сигналом коррекции. Определить  $\delta_\psi$  для каждой детали ТВ изображения сложно. В § 1.5 для задач обработки изображений обоснована целесообразность множественного описания деталей и соответствующих им сигналов классами эквивалентности. В задачах КЧ выделяют [1] из множества  $A$  класс  $A_1 \subset A$ , содержащий элементы ТВ сигнала от тонкоструктурных деталей изображения, которые и определяют четкость. Элементы  $A_1$  разбивают на подклассы  $A_1^0$  и  $A_1^p$ , объединяющие составляющие сигналы от малоcontrastных тонкоструктурных деталей (текстура изображения), воспринимаемых в процессе обнаружения, и от контрастных деталей, воспринимаемых в процессе различения. В § 1.5 было отмечено, что в зависимости от протяженности тонкоструктурных деталей разностные пороги зрительного восприятия  $\Delta a_1^p = 2 \dots 3 \Delta a_1^0$  и  $\Delta a_1^0 = 1 \dots 3 \sigma_\xi$ , причем  $\Delta a^0 = \sigma_\xi$  от-

носится к одноэлементной детали протяженностью  $1'$ . Системные ограничения и аппаратные искажения таковы, что реально их влияние на передачу протяженных (более  $3'$ ) деталей мало и им можно пренебречь. Приведем множественное описание ТВ сигнала в задачах КЧ

$$A = A_1 \cup A_2; \quad A_1 = A_1^0 \cup A_1^p; \quad A_2 = \overline{A \cap A_1};$$

$$A_1^p = \overline{A_1 \cap A_1^0}; \quad A_1 = \{a; \Delta r(\Delta l) [\Delta a_{\Delta r(\Delta l)} > 1] \leq 3\};$$

$$A_1^0 = \{a; \Delta r(\Delta l) [1 < \Delta a_{\Delta r(\Delta l)} \leq 3] \leq 3\}. \quad (2.5.2)$$

где значения  $a\Delta$  нормированы к  $\sigma_\xi$ , а длительности сигнала  $\Delta r$  и  $\Delta l$ , соответствующие протяженности детали в направлениях  $X$  и  $Y$ , даны в числе периодов  $T_d$  дискретизации ТВ сигнала ( $T_d = 0,5/F_s$ ) и строк развертки соответственно. Выражения (2.5.2) определяют алгоритм классификации элементов сигнала в блоке анализа БА (см. рис. 2.5.1) по длительности перепада и уровню сигнала. Кроме того, в БА оцениваются параметры адаптации  $L_\phi$ ,  $\lambda_\phi$ ,  $\rho_\phi$ ,  $\psi$  и времени проявления детали  $t_d$ . В качестве  $L_\phi$  принимают локальную яркость вблизи корректируемой детали и оценивают разностью между полным уровнем и размахом сигнала от детали:  $L_\phi \rightarrow a_\phi(r, l) = a(r, l) - a_d(r, l)$ . Для оценки  $\lambda_\phi$  и  $\rho_\phi$  используют известные соотношения для сигнала цветности [2]:

$$\lambda_\phi \rightarrow \varphi = \arctg(1,78 E'_{R-Y} / E'_{B-Y}),$$

$$\rho_\phi \rightarrow U_n = (0,78 E'^2_{R-Y} + 0,24 E'^2_{B-Y})^{0,5},$$

где  $E'_{R-Y} = E'_R - E'_Y$  и  $E'_{B-Y} = E'_B - E'_Y$  — узкополосные цветоразностные, а  $E'_R$ ,  $E'_B$  и  $E'_Y$  — цветоделенные сигналы и сигнал яркости после  $\gamma$ -коррекции. При мультипликативных помехах, уровень которых зависит от размаха ТВ сигнала (киноплёнка, магнитная лента),  $\psi$  оценивают по размаху сигнала, при аддитивных помехах (шумы датчика, линии связи и радиотракта приемника) — в отсутствии полезного сигнала (на «темном»). В БА оценивают  $t_d$  на основе сравнения сигнала межкадровой разности  $a_d(r, l, \xi) = a(r, l, \xi) - a(r, l, \xi - 1)$  с пороговым уровнем, соответствующим  $\delta_{t \min}$  (рис. 2.5.2) [3]. Для этого сигнал  $a_d(r, l, \xi)$  подает на пороговый элемент, на выходе которого формируется одnorазрядный сигнал признака превышения порога  $\theta_d(r, l, \xi)$ . На дешифратор (ДШ), кроме этого сигнала, поступают два одnorазрядных с устройства классификации и оценки протяженности детали  $\Delta r$  и  $\Delta l$  по  $X$  и  $Y$ . Дешифратор завершает классификацию с учетом временного параметра  $\Delta \xi$ , что повышает помехоустойчивость обнаружения элементов  $A_1$ . На выходе

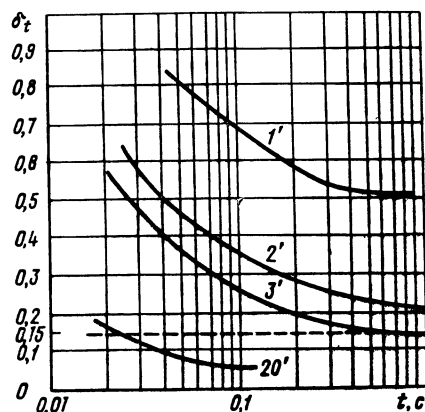


Рис. 2.5.2. Зависимости порога восприятия от времени предъявления  $t$  для разных размеров деталей

БА формируются сигналы признака класса  $\theta_{A1}$  и оценки уровня помех  $\sigma_z$ , яркости  $L_\Phi$ , цветности  $\Phi$  и  $U_\Phi$ . Их используют в формирователе управляющих сигналов ФУС. Алгоритм формирования этих сигналов содержит следующие пункты: 1) зависимости  $\delta_\Phi(\Phi, L_\Phi, \lambda_\Phi)$ ; 2) наличие элементов текстуры  $A_1^0$  и контрастных тонкоструктурных элементов  $A_1^2$ ; 3) зависимость  $P_{K_4}$  ( $K_4$ ) для используемого корректора, обеспечивающего размах выбросов переходной характеристики  $\delta_k \leq 10\%$ . Реализуются цифровые адаптивные корректоры на программируемых постоянных запоминающих устройствах (ППЗУ), а аналоговые — применением перемножителей аналоговых сигналов. Выходной сигнал такого корректора поступает на регулятор автоматической установки  $k_{ч. доп.}$ . В качестве регулятора используют ППЗУ, перемножители или коммутаторы аналоговых сигналов. На рис. 2.5.3 значения  $U_{p.з.}$  и  $U_{фск}$  даны в единицах  $\sigma_1$  ( $\sigma_{z1} = \sigma_1$  и  $\sigma_{z2} = 2\sigma_1$ ), а  $U_{p.з.}$  нормировано относительно  $k_{ч. max} = 5$ . Нелинейный участок характеристик для области  $0 \dots 3\sigma_z$  учитывает нелинейный характер преобразования интенсивности в ощущения в процессе зрительного обнаружения элементов текстуры, который можно описать полиномом шестой степени [4]. Экспериментальные исследования адаптивных корректоров показали, что удовлетворительные результаты дает уже квадратичная зависимость  $U_{p.з.} \sim U_{фск}^2$ . Выбор аппроксимирующей функции  $f_{p.з.}(U_{фск})$  определяет не только точность КЧ, но и помехоустойчивость, так как в области  $\pm 3\sigma_z$  сосредоточена практически вся энергия помех. Элемент  $A = A_1 \cup A_2$  по протяженности в направлениях  $x$  и  $y$  классифицируют в БА устройством классификации УК, алгоритм которого в соответствии с (2.5.3) охватывает оценивание длительности и размаха перепада сигнала и их сравнение с пороговыми уровнями.

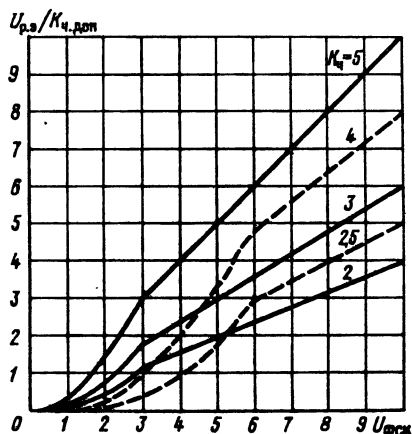


Рис. 2.5.3. Семейство амплитудных характеристик РЭ для различных значений  $K_4$  при  $c = \sigma_1$  (сплошные линии) и  $\delta = 2\delta_1$  (штриховые)

Перепады сигнала выделяют временными или частотными методами классификации. Временные методы используют селекцию импульсных сигналов по длительности и амплитуде [5, 6]: выделяются составляющие ТВ сигнала, длительность которых (измеренная по положению максимумов первой производной сигнала) удовлетворяет неравенству  $\Delta t(\Delta I) \leq 3$ , а амплитуда  $\Delta a_{\Delta t}(\Delta I) > 1$ . В большинстве задач адаптивной обработки достаточна не селекция, а квазиселекция, т. е. обнаружение в сигнале составляющих, соответствующих элементам  $a \in A_1$ .

На структурной схеме (рис. 2.5.4) показана одномерная классификация по  $x$  аналогового ПТВС, использующая преобразование длительности во временное положение (дифференцирование сигнала) и совме-

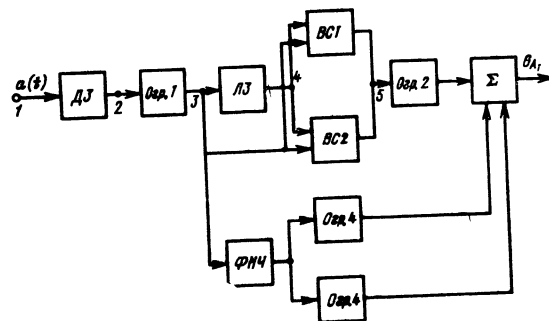


Рис. 2.5.4. Структурная схема СК аналогового ПТВС

щение во времени импульсов от фронта и среза с помощью ЛЗ. Для этого импульс от среза и задержанный импульс от фронта подаются на два временных селектора ВС1 и ВС2 для сигналов на входах СК положительной (светлая деталь на темном фоне) и отрицательной (темная деталь на светлом фоне) полярностей (рис. 2.5.5). Ограничитель по минимуму Огр.1 после

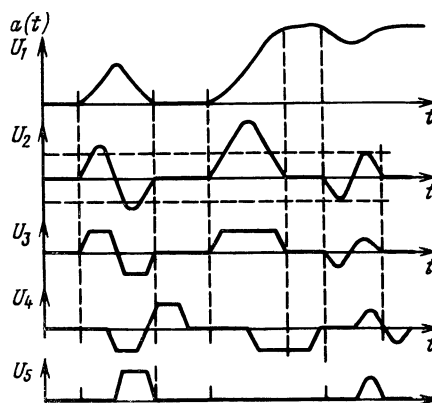


Рис. 2.5.5. Временные диаграммы сигналов в СК

дифференцирующего звена ДЗ уменьшает диапазон изменения размаха сигнала на входах ВС. Время задержки сигнала выбирают равным длительности импульсов от одно- и двухэлементной детали, что обеспечивает для них временное совмещение максимумов импульсов фронта и среза на входах ВС1 и ВС2. Вследствие конечной длительности фронтов импульсов сигнал на выходах ВС1 и ВС2 имеет место для некоторого диапазона длительности  $t_k \leq 3$  (нормировка к  $T_d = 0,5/F_B$ ). Амплитуду сигнала  $\Delta a_{\Delta t} > 1$  оценивают установкой порогов на входах ВС,  $\Delta a_{\Delta t} \leq 3$  — в ограничителе по максимуму Огр.2. Длительность перепада сигнала для протяженных деталей оценивают отдельным каналом селекции длительности либо узкополосной НЧ фильтрацией (ФНЧ) сигнала после Огр.1. Для оценивания размаха перепада  $\Delta a_{\Delta t}$  используют двусторонние ограничители Огр.3 и Огр.4 (см. рис. 2.5.5) для импульсов фронта и среза. В выходном сигнале признаков  $\theta_{A1}$  можно не разделять элементы  $A_1^0$  и  $A_1^2$ , так как в  $\theta_{A1}$  они отличаются по уровню. Разница оказывается достаточной для формирования амплитудной характеристики РЭ в соответствии с рис. 2.5.3. В устройстве одномерной классификации по координате  $x$  цифрового ТВ сигнала (рис. 2.5.6) сигнал подается на звено взятия межотсечечной разности RG1 и (+). Код признака полярности полученной разности поступает на четырехразрядные регистры сдвига RG2 и



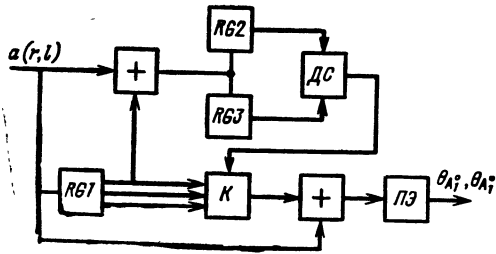


Рис. 2.5.6. Структурная схема СК цифрового ПТВС

РГ3 отдельно для каждой полярности. Дешифратор анализирует содержимое регистров для оценивания длительности сигнала от перепада яркости детали изображения ( $\Delta r < 4$ ). Оценку перепада сигнала  $\Delta a_{\Delta r}$  на интервале  $\Delta r$  получают либо с помощью накопительной ячейки, суммирующей значения межотсечных разностей и управляемой ДС, либо вычислением разности кодовых слов  $a(0)$  и  $a(\Delta r)$ , для чего используют РГ1, коммутатор К и сумматор. Пороговый элемент ПЭ (дешифратор) определяет оценку  $1 < \Delta a_{\Delta r} \leq 3$  и формирует код признака  $\theta_{A1}$  либо  $\theta_{A1}^*$  и  $\theta_{A1}^p$ .

Частотные методы используют разницу между спектральными составляющими ТВ сигнала и  $A_1A_2$ . Сущность этих методов заключается в применении согласованной фильтрации для разных составляющих ТВ сигнала и для снижения вероятности ложного обнаружения. Математическое моделирование согласованной фильтрации для сигнала от тонкоструктурных составляющих изображения — деталь, контрастный перепад от границы протяженной детали, периодическая структура максимальной деятельности — дало следующие значения изменения  $\Delta\psi(\text{дБ}) = \psi_{\text{вых}} - \psi_{\text{вх}}$  на выходе:  $\Delta\psi_d = -0,6$  дБ,  $\Delta\psi_{\text{фр}} = 3,4$  дБ,  $\Delta\psi_{\text{пер}} = 3,8$  дБ. Реализация по частотным характеристикам требует достаточно сложную структуру фильтра. Квазиоптимальные фильтры с симметричной ИХ и коэффициентами, кратными 2, дают следующие результаты:  $\Delta\psi_d = -1,8$  дБ ( $H_d(\omega) = \sin^2 \omega T$ ),  $\Delta\psi_{\text{фр}} = -2,3$  дБ ( $H_{\text{фр}}(\omega) = \sin \omega T \cos^2 \omega T/2$ ) и  $\Delta\psi_{\text{пер}} = -2$  дБ ( $H_{\text{пер}}(\omega) = \sin^2 \omega T/2$ ). Такие фильтры не требуют сложных умножителей, и число отсчетов ИХ (задержек) не превышает 5. Однако во всех случаях применения частотных методов искажения формы выходного сигнала значительны. Поэтому формировать управляющий сигнал в корректоре сложно. В то же время выигрыш в помехоустойчивости при использовании частотных методов невелик. Применять их нужно только, если требуемая помехоустойчивость не обеспечивается другими методами.

Помехоустойчивость временных методов классификации оценивают вероятностью ложного обнаружения  $p_{\text{л.о.}}$ , т. е. отношения выброса помехи к тонкоструктурным элементам изображения [6]. Вероятность появления выбросов заданной длительности зависит от энергетического спектра помех и порогового уровня  $U_0$ , время пребывания над которым и определяет длительность выброса. Учитывая частотные ограничения ТВ канала, можно считать, что минимальная длительность импульса от мелкой детали близка к интервалу корреляции помехи. Кроме того, в соответствии с (2.5.5)  $U_0 > \sigma_{\xi}$ . Тогда для определения плотности вероятности  $W(\tau, U_0, \sigma_{\xi})$  выбросов по длительности справедлив метод некоррелированных импульсов [7], при котором с учетом АЧХ ТВ канала:  $K_1(\omega) = (1 + \omega^2 \tau_b^2)^{-1}$  для  $G_{\xi}(\omega) = G_0$ ,  $K_2(\omega) = \exp(-0,5\beta^2 \omega^2)$  для  $G_{\xi}(\omega) = a_0 + a_2 \omega^2$ , получим

$$\tau_b W(\tau, \theta) = \frac{\exp(-T_1)}{[1 - (1 + T_1) \exp(-2T_1)]^{0,5}} \times$$

$$\times \left\{ (T_1 - 1) - \frac{T_1^2 (1 + T_1) \exp(-2T_1)}{1 - (1 + T_1) \exp(-2T_1)} + \frac{T_1^2 \exp(-T_1) \theta^2}{[1 + (1 + T_1) \exp(-2T_1)]^2} \right\} \times$$

$$\times \exp \left[ -\frac{1 - (1 + T_1) \exp(-T_1)}{1 + (1 + T_1) \exp(-T_1)} \theta^2 \right].$$

$$2\beta W(\tau, \theta) = -\frac{\sqrt{2} \exp(-T_2^2)}{\sqrt{B_1 + 1}} \times$$

$$\times [2B_1 T_2^4 - T_2^2 (5B_1 + 2) + B_1 + 1] \exp(-\theta^2),$$

где  $\theta = U_0/\sigma_{\xi}$ ,  $T_1 = \tau/\tau_b$ ,  $T_2 = \tau/2\beta$ ,  $B_1 = 2a_2/(2a_0\beta^2 + a_2)$ .

Графики на рис. 2.5.7 и 2.5.8 обеспечивают эффективную полосу ТВ канала 6,25 МГц. Для тонкоструктурных составляющих  $4 \leq T_1 \leq 10$  и  $1 \leq T_2 \leq 2,5$ . Тогда вероятность ложного обнаружения  $p_{\text{л.о.}}$ , характеризующая предельную помехоустойчивость классификации при использовании только внутрикадровой обработки, рав-

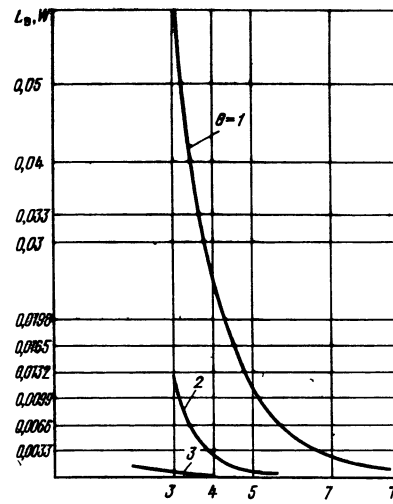


Рис. 2.5.7. Зависимости плотности вероятности распределения выбросов по длительности от  $T_1$

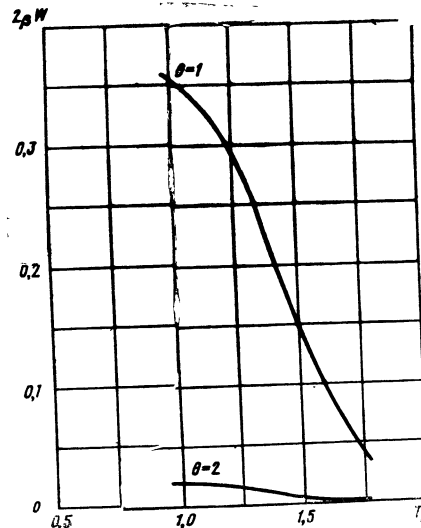


Рис. 2.5.8. Зависимости плотности вероятности распределения выбросов по длительности от  $T_2$

на (в процентах): для равномерного спектра помех  $0,26 < p_{л.о} < 3,15$  и для спектра с подъемом в области верхних частот  $0,73 < p_{л.о} < 12$ , причем наибольшие значения соответствуют  $\theta=1$ , наименьшие —  $\theta=2$ . В устройствах классификации из-за необходимости предварительной линейной обработки ТВ сигнала (например, взятие производной) значения вероятности ложного обнаружения превышают предельные. Применение межкадровой обработки, описанной выше, существенно уменьшает значение  $p_{л.о}$ .

3. Эффективность адаптивной КЧ оценивают коэффициентом относительной помехоустойчивости адаптивного и неадаптивного корректоров  $V_{к.ч} = \Pi_{к.ч} / \Pi_{к.ч}^{(A)} = \psi_{к.ч}^{(A)} / \psi_{к.ч}$  ( $\psi_{к.ч}^{(A)}$  и  $\psi_{к.ч}$  — ОСШ для адаптивного и неадаптивного корректоров при  $k_q^{(A)} = k_q$ ). Коэффициент помехоустойчивости  $\Pi_{к.ч}$  для одномерной и двумерной КЧ задается (2.2.7) — (2.2.8). Для определения  $\Pi_{к.ч}^{(A)}$  учитывают, что АХ каналов коррекции адаптивного и неадаптивного корректоров для области  $|U_{ФСК}| > 3\sigma_{\xi ФСК}$  совпадают ( $\sigma_{\xi ФСК}$  — среднеквадратический уровень помех в выходном сигнале формирователя СК (ФСК)). Тогда разницу между  $\Pi_{к.ч}$  и  $\Pi_{к.ч}^{(A)}$  определяют по нелинейному участку АХ для  $|U_{ФСК}| < 3\sigma_{\xi ФСК}$ , в котором расположена смесь сигнала коррекции для элементов текстуры и помех. Для АХ, описываемой на этом участке квадратичной функцией, имеем

$$\Pi_{к.ч}^{(A)} = \left( \frac{1}{3} \gamma^2 \frac{\sigma_{\xi ФСК}^2}{\sigma_{\xi}^2} + 1 \right)^{0,5},$$

$$V_{к.ч} = \Pi_{к.ч} / \left[ \left( (\Pi_{к.ч}^2 - 1) \frac{1}{3} \gamma^2 + 1 \right)^{0,5} \right],$$

где  $\gamma = k_t/k_q$  — относительный коэффициент КЧ текстуры;  $\sigma_{\xi}^2$  — дисперсия помех на входе адаптивного корректора.

Графики рис. 2.5.9 показывают, что эффективность АКЧ возрастает при увеличении  $k_q$ . Для малых  $\Pi_{к.ч}$  влияние  $\gamma$  слабое. В процессе адаптации  $k_q$  и  $k_t$   $\gamma = 0,1 \dots 1$ . Для  $\gamma = 0,4 \dots 0,5$  и  $k_q = 3 \dots 5$  эффективность адаптивной КЧ в среднем  $5 \dots 9$  дБ. Кроме того, благодаря наличию раздельной автоматической установки  $k_t$  и  $k_q$  в процессе адаптации уменьшается влияние степени КЧ на помехоустойчивость, что приводит к дополнительному увеличению  $k_{ч. доп}$  при адаптивной коррекции.

4. Одномерный аналоговый корректор (рис. 2.5.10) состоит из узлов: формирователя ФСК, блока анализа БА, формирователя управляющих сигналов ФУС и регулятора. Входной ТВ сигнал

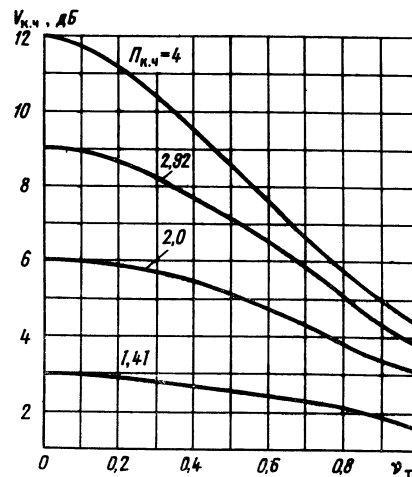


Рис. 2.5.9. Зависимости эффективной адаптивной КЧ от  $\gamma_t$  и  $\Pi_{к.ч}$ .

нал с входа согласующего усилителя поступает на две ЛЗ с временем задержки  $\Delta t \geq 1/2F_{в}$ . Усилительный каскад между линиями компенсирует уменьшение напряжения сигнала в линиях. На входах 1—3 сумматора  $\Sigma 1$  относительные коэффициенты сигналов, определяющие импульсную и пространственную частотные характеристики ФСК, равны соответственно  $-0,25$ ;  $0,5$ ;  $-0,25$ . Сформированный сигнал коррекции поступает на БА и регулятор РЭ. Для уменьшения аппаратных затрат в БА используется выходной сигнал формирователя ФСК, который содержит составляющие сигнала от тонкоструктурных компонент изображения. Для разбивания этих составляющих на подклассы  $A_1^0$  и  $A_1^p$  применены компараторы напряжения КН и временные селекторы ВС1 и ВС2. Опорное напряжение  $U_{оп}$  соответствует уровню помех  $3\sigma_{\xi ФСК}$ . На входе ВС2 с помощью нелинейного преобразователя НП1 сигнал преобразуется от элементов текстуры  $f_{н.п1} = U_{ФСК} |U_{ФСК}|$ . На выходах ВС1 и ВС2 выделяются сигналы коррекции для  $A_1^p$  и  $A_1^0$ . Значения коэффициентов  $k_t$  и  $k_q$  для элементов текстуры и контрастных элементов автоматически изменяются (адаптируются) к уровню сигнала (яркости). Для этого основной сигнал, поступающий на выходной сумматор  $\Sigma 2$  после ЛЗ, которая обеспечивает временное совмещение ОС и сигнала коррекции, подается на  $m$ -ичное ключевое устройство — нелинейный преобразователь НП2. Оно формирует  $m$ -уровневый управляющий сигнал адаптации для  $k_t$  и  $k_q$ . Сформированный сигнал коррекции суммируется с основным в сумматоре  $\Sigma_2$ , на выходе которого получается откорректированный сигнал  $a_{к.ч}(t)$ . Аналогично можно

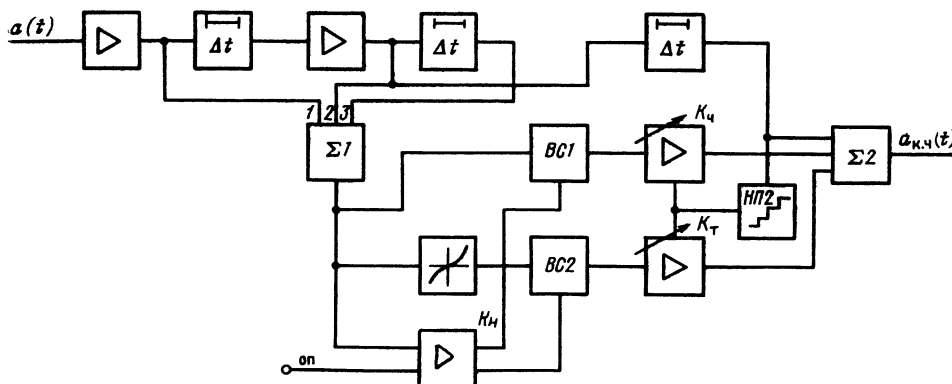


Рис. 2.5.10. Структурная схема одномерного аналогового адаптивного КЧ

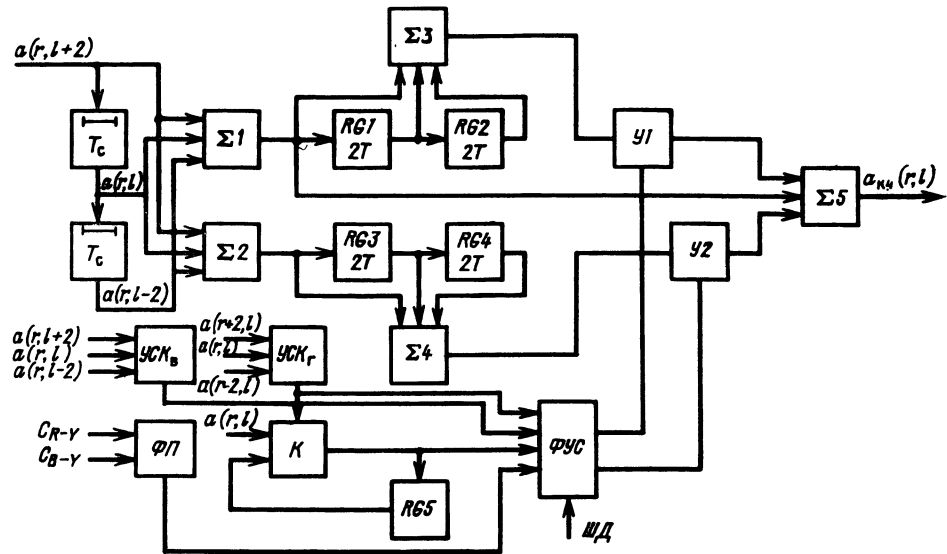


Рис. 2.5.11. Структурная схема двумерного АКЧ

реализовать одномерный адаптивный корректор по вертикали, а также адаптивный двумерный.

5. Двумерный цифровой корректор рис. 2.5.11 построен по методу параллельного формирования с раздельной регулировкой коэффициентов коррекции по вертикали и горизонтали. Отсутствие памяти на поле ТВ кадра и требования круговой симметрии ПЧХ ТВС определили структуру и частотные характеристики формирователя СК: для формирования сигналов коррекции по вертикали и горизонтали применены нерекурсивные фильтры Ф2 и Ф3 с симметричной ИТ и интервалами между отсчетами, равными удвоенному шагу дискретизации ( $2\eta$  и  $2T_k$ ). Для снижения уровня шумов включены фильтры: гребенчатый Ф1, осуществляющий фильтрацию в вертикальном направлении, и Ф4—ФНЧ в канале ФСК<sub>в</sub>. Входной цифровой ТВ сигнал в параллельном коде поступает на блок строчной памяти, задерживающий сигнал на  $2T_c$ . На входы сумматоров Σ1 и Σ2 подаются входной и задержанные сигналы со следующими весовыми коэффициентами  $h_1 = \{1/4; 0; 1/2; 0; 1/4\}$ ,  $h_2 = \{-1/4; 0; 1/2; 0; -1/4\}$ . Тогда ПЧХ этих фильтров  $H_1(u, v) = \cos^2 2\pi u \eta$ ,  $H_2(u, v) = \sin^2 2\pi u \eta$ , и на выходе Ф2 формируется сигнал вертикальной коррекции  $a_v(r, l)$ , который после НЧ фильтрации (RG3, RG4, Σ4) поступает на регулируемый элемент РЭ<sub>в</sub>—умножитель У2. Результирующая ПЧХ канала ФСК<sub>в</sub>  $H_v(u, v) = b_v \sin^2 2\pi u \eta \cos^2 2\pi u \eta$ . В канале ФСК<sub>г</sub> сигнал после гребенчатого фильтра Ф1 поступает на формирующий Ф3 сигнала коррекции по горизонтали и далее на РЭ<sub>г</sub>—У1:  $H_r(u, v) = b_r \sin^2 2\pi u \eta \cos^2 2\pi u \eta$ .

Основной и выходные сигналы У1 и У2 формируют на выходе сумматора Σ5 откорректированный сигнал  $a_{к.ч}(r, l)$ . Тогда ПЧХ двумерного корректора четкости

$$H_{к.ч}(u, v) = 1 + b_v \sin^2 2\pi u \eta \cos^2 2\pi u \eta + b_r \sin^2 2\pi u \eta \cos^2 2\pi u \eta,$$

$$H_{к.ч}(f, \varphi) = 1 + b_v \sin^2 (2\pi f \sin \varphi) \cos^2 (2\pi f \cos \varphi) + b_r \sin^2 (2\pi f \cos \varphi) \cos^2 (2\pi f \sin \varphi)$$

и для  $b_v = b_r = b$  получим (рис. 2.5.12):  $H_{к.ч}(f, 0) = H_{к.ч}(f, \pi/2) = 1 + b \sin^2 2\pi f \eta$ ,  $H_{к.ч}(f, \pi/4) = 1 + 0.5b \sin^2 2\pi f \eta$ . Отсюда следует, что для двумерного корректора в сечениях  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi/2$  ПЧХ одинаковы, а в диагональных не имеют больших подъемов и близки к ПЧХ при  $\varphi = 0$  и  $\pi/2$ . Степенью коррекции управляют вручную по шине данных ШД и автомати-

чески. С блока ФУС на У1 и У2 подаются сигналы управления значениями  $b_r$  и  $b_v$ . Для этого с блока анализа поступают сигналы с выходов устройств классификации УК<sub>г</sub>, УК<sub>в</sub> (аналогичны приведенным на рис. 2.5.12). Сигналы с УК<sub>г</sub> и УК<sub>в</sub>— $\theta_{A1}^\circ$ ,  $\theta_{A1}^\circ$  и  $\theta_{A1}^\circ$ —несут информацию о принадлежности детали изображе-

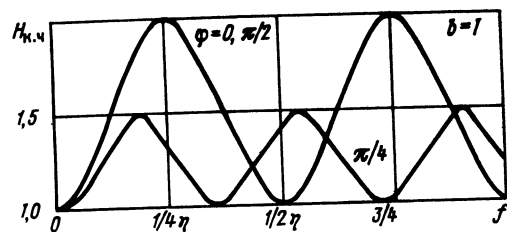


Рис. 2.5.12. Сигналы двумерного корректора четкости

ния к определенному классу. Сигналы, пропорциональные цветовому тону  $\varphi_c$  и локальной яркости фона, ФП и К формируют. Аппаратурно ФП выполняют на ППЗУ. Коммутатор К управляется сигналом  $\theta_{A1} = \theta_{A1}^\circ \cup \theta_{A1}^\circ$ , единичное значение которого подает на вход БФУС предыдущее значение сигнала.

2.5.2. Коррекция градиционных искажений. Коррекция нелинейности звеньев ТВС (кинескоп, киноплёнка и др.) приводит к существенному (на 6...10 дБ) возрастанию помех на различных участках изображения. Для их уменьшения используют метод двухканальной частотно-зависимой коррекции (корректора) градиционных искажений (КГИ) [8, 9]. Каждый цветоделенный сигнал датчика разделяют на НЧ и ВЧ составляющие, что можно рассматривать как разбиение сигнала на два класса  $A_2$  и  $A_1$ , аналогичное используемому в адаптивной КЧ. Высоочастотные составляющие передают по каналу корректора с показателем  $\gamma = 1$ , а низкочастотные — по каналу с  $\gamma_{КГИ} \neq 1$ . Однако достижимое снижение уровня помех по сравнению с одноканальным методом незначительно, так как двухканальная обработка составляющих с разными значениями  $\gamma$  приводит к искажениям границ деталей изображения. В адаптивном КГИ учитывается разница в порогах зрительных обнаружения  $\delta_j^0$  и различения  $\delta_j^p$ , а следовательно, и требуемая точность передачи элементов  $a \in A_1^0$  и  $A_1^p$ . Тогда для уменьшения искажений ТВ изображений передают по каналу КГИ с  $\gamma_{КГИ} \neq 1$  не только элемента

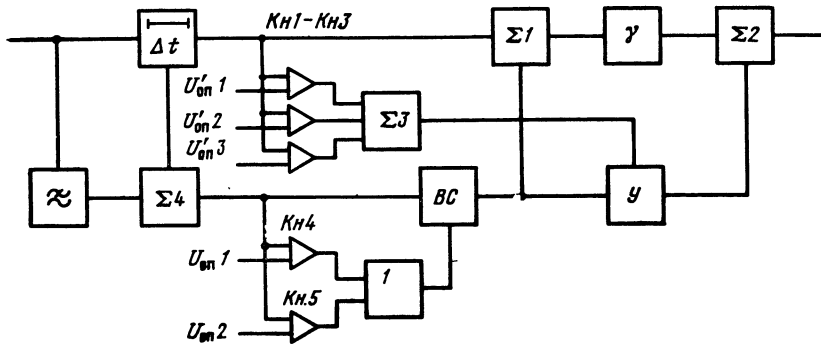


Рис. 2.5.13. Структурная схема адаптивного корректора градационных искажений

$a \in A_2$ , как двухканального частотно-зависимого КГИ, но и элементы  $a \in A_1^p$ . В каналах будут обрабатываться сигналы от следующих деталей ТВ изображения:

при  $\gamma_{\text{КГИ}} \neq 1$   $A_{\gamma \neq 1} = A_2 \cup A_1^p$ ,

при  $\gamma = 1$   $A_{\gamma = 1} = A_1^0$ .

В этом случае искажения в процессе коррекции будут только для деталей текстуры, для которых допуск на искажения, определяемый  $\delta_j^0$ , велик. С учетом зависимости  $\delta^0$  от светотехнических параметров корректируемой детали, времени ее предъявления и уровня помех коррекция, оптимальная по эффективности, должна быть адаптивной к указанным параметрам. Ее эффективность определяется коэффициентом  $V_{\text{КГИ}} = \psi_{\text{КГИ}}^{(A)} / \psi_{\text{КГИ}}$ , характеризующим изменение ОСШ [10]. Адаптивный КГИ (рис. 2.5.13) содержит ФНЧ, ЛЗ на время  $T$  прохождения НЧ составляющих сигнала через ФНЧ и разностный каскад  $\Sigma 4$ , образующие ФВЧ с относительно линейной ФЧХ. Сигнал на выходе ФВЧ представляет собой смесь ВЧ составляющих полезного сигнала от тонкоструктурных элементов  $a \in A_1$  и помех. Этот сигнал подается на устройство классификации УК и временной селектор ВС, аналогичные описанным для адаптивного КГИ. В СК используют компараторы КН4 и КН5 с пороговыми уровнями  $+3\sigma_t$  и  $-3\sigma_t$ ; в нелинейном преобразователе НЧ — усилительные каскады на разнополярных транзисторах. На выходе устройства ИЛИ формируется управляющий сигнал, который подает на ВС. Сигнал от элементов текста с выхода ВС поступает на  $\Sigma 1$ , где он вычитается из исходного сигнала, задержанного в ЛЗ. В результате на выходе  $\Sigma 1$  формируется сигнал от элементов  $A_1^p \cup A_2$ , в котором отсутствуют ВЧ составляющие помех и сигнала текста. С выхода  $\Sigma 1$  сигнал поступает на нелинейный преобразователь  $\gamma \neq 1$ . Составляющие сигнала текста и помех поступают на умножитель  $\gamma$ , на другой вход которого подается сигнал управления коэффициентом передачи сигнала текста  $K_t$  в зависимости от уровня яркости детали. Этот сигнал формируют компараторы КН1—КН3 и  $\Sigma 3$ . Выходные сигналы обоих каналов объединяют в сумматоре  $\Sigma 2$ . Эффективность адаптивного КГИ определяют для области «темного», в котором уровень помех максимален ( $\gamma < 1$ ). Полагая в этой области коэффициент передачи канала КГИ с  $\gamma_{\text{КГИ}} \neq 1$  через  $K_1$ , а относительный коэффициент передачи текстуры  $p = K_t/K$ , получаем

$$V_{\text{КГИ}}^2 = \int_0^{\omega_B} G_{\xi}(\omega) d\omega \left/ \int_0^{\omega_B} G_{\xi}(\omega) Y_{A\gamma}^2(\omega) d\omega \right.,$$

где  $G_{\xi}(\omega) = a_0 + a_2\omega^2$  — энергетический спектр помех;  $Y_{A\gamma}(\omega) = |(1-p)Y(\omega) + p \exp(-i\omega T)|$  — АЧХ адаптивного КГИ, нормированная относительно  $K_1$ ;  $Y(\omega)$  — частотная характеристика ФНЧ;  $T$  — время задержки сигнала. Для типовых структур ФНЧ в виде нерекурсив-

ных фильтров НРФ с симметричными ИХ ( $T_d = \pi/\omega_B$ ):

$$h_1(r) = \{0.2; 0.2; 0.2; 0.2; 0.2\},$$

$$Y_1(\omega) = 0.4 (\cos 2\omega T_d + \cos \omega T_d + 0.5);$$

$$h_2(r) = \{0.0625; 0.25; 0.375; 0.25; 0.0625\},$$

$$Y_2(\omega) = \cos^4 \omega T_d / 2; V_{\text{КГИ}}^2 = 1 / [\kappa_0 (g_0 - g_2) + g_2],$$

где  $\kappa_0 = a_0\omega_B / (a_0\omega_B + \frac{1}{2}a_2\omega_B^3)$ ;  $g_0 = 0.8p^2 + 0.2$ ;  $g_2 = p^2 - 0.024p + 0.034$  (для  $Y_1(\omega)$ );  $g_0 = 0.524p^2 + 0.202p + 0.274$ ;  $g_2 = 0.718p^2 + 0.246p + 0.036$  (для  $Y_2(\omega)$ ) — коэффициенты, зависящие от АЧХ фильтров и значения  $p$ .

Зависимости рис. 2.5.14 и 2.5.15 показывают, что

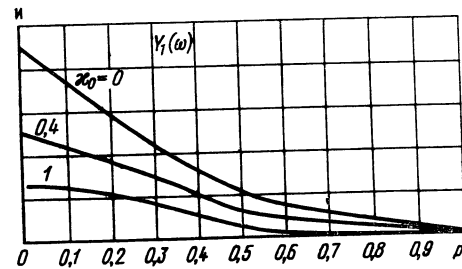


Рис. 2.5.14. Зависимости критерия эффективной адаптивной КГИ от  $p$  для разных  $\kappa_0$

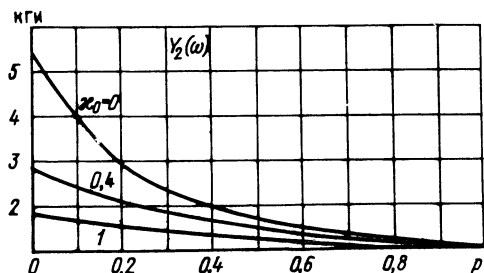


Рис. 2.5.15. Зависимости критерия эффективной адаптивной КГИ от  $p$  для различных  $\kappa_0$

применение адаптивного КГИ уменьшает уровень помех на 6...8 дБ по сравнению с неадаптивным. Неравномерность  $G_{\xi}(\omega)$  ( $\kappa_0 < 1$ ) и относительный коэффициент передачи текстуры ( $p < 0.3$ ) существенно влияют на эффективность адаптивной коррекции.

### 2.5.3. Фильтрация телевизионного сигнала

1. Оптимальная адаптивная фильтрация. Неадаптивная фильтрация обладает низкой эффективностью (см. п. 2.2.6). Эффективность зависит от допустимых искажений деталей ТВ изображения  $\varepsilon_{\text{доп}}$ , которые определяются порогами зрительного вос-

приятия. На основе критерия верности передачи ТВ изображений (см § 1.5) установлен критерий качества фильтрации [11]

$$\rho(\alpha_i, \alpha_i^*) = \max_{j=1, n} (\kappa_j |c_{j,i} - c_{j,i}^*|) = \quad (2.5.3)$$

$$= \max(\kappa_L |L_i - L_i^*|) \leq \varepsilon_{\text{доп}} = \delta_L,$$

где  $L_i, L_i^*$  — эффективные значения яркости  $i$ -е элементы исходного и фильтрованного изображений;  $\delta_i$  — порог зрительного восприятия изменения яркости. С учетом зависимости  $\delta_L$  от параметров изображения фильтрация, обеспечивающая наибольшую эффективность подавления помех  $V_\Phi$  при уровне систематических искажений, удовлетворяющем критерию (2.5.3), должна быть адаптивной. Тогда критерий оптимальной адаптивной фильтрации

$$V_\Phi = \max(\sigma_\varepsilon^2 / \sigma_{\varepsilon\Phi}^2, \varepsilon_{\text{доп}} \leq \delta_L, \quad (2.5.4)$$

где  $\sigma_\varepsilon^2$  и  $\sigma_{\varepsilon\Phi}^2$  — дисперсии помех в исходном и фильтрованном изображениях.

Выполнить (2.5.4) для каждого элемента изображения невозможно, так как точные значения  $\delta_L$  неизвестны. Поэтому и для адаптивной фильтрации множество элементов изображения разбивают на классы эквивалентности. В один класс объединяют элементы с близкими значениями  $\delta_i$  и для него принимают  $\delta_i = \delta_{i \min}$ . С увеличением числа классов фильтрация в пределе будет приближаться к оптимальной для каждого элемента изображения. Высокая эффективность обеспечивается при представлении множества элементов изображения, аналогичном использованному в задачах адаптивной коррекции:  $A = A_1 \cup A_2 \cup A_3$ .

Оптимальные АФ должны удовлетворять критерию (2.5.4), а также следующим условиям: линейности ФЧХ (симметричности ИХ) для всех режимов адаптации, что необходимо для обеспечения малых переходных искажений изображения; безусловной устойчивости. Этим требованиям удовлетворяют *нерекursивные фильтры* (НРФ) с симметричной ИХ. Адаптивный фильтр на основе НРФ (рис. 2.5.16) состоит из следующих звеньев:

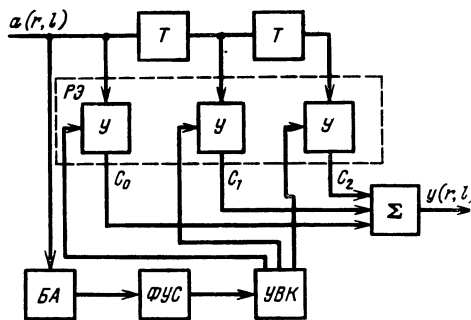


Рис. 2.5.16. Структурная схема нерекурсивного АФ с перестраиваемыми весовыми коэффициентами

ев: блоков НРФ (временная задержка, формирование весовых коэффициентов ИХ  $C_n$  и суммирование  $\Sigma$ ), БА, ФУС и блока управления весовыми коэффициентами БУВК, осуществляющего автоматическое изменение импульсной (частотной) характеристики фильтра [12]. Блок анализа аналогичен рассмотренному для устройств адаптивной коррекции, БФУС и БУВК в соответствии с (2.5.4) формируют АЧХ оптимального фильтра для того класса  $A_\Phi$ , к которому принадлежит передаваемый элемент изображения.

Адаптивный фильтр (АФ) предназначен для внутрикадровой (пространственной) фильтрации. Для межкадровой (временной) фильтрации из-за сложности реа-

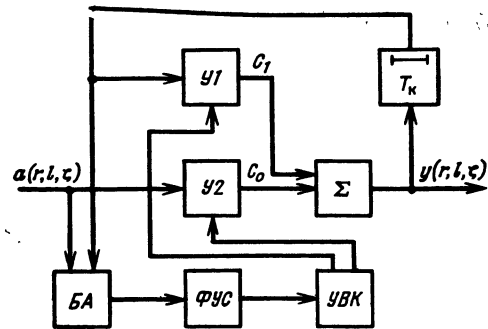


Рис. 2.5.17. Структурная схема рекурсивного АФ с перестраиваемыми коэффициентами на основе прямого синтеза

лизации временной задержки ТВ сигнала на несколько кадров применяют *рекурсивный фильтр* (РФ) с перестраиваемыми коэффициентами  $C_0$  и  $C_1$  (рис. 2.5.17)  $y(r, l, \zeta) = C_0 a(r, l, \zeta) + C_1 y(r, l, \zeta - 1)$ , несмотря на то, что он не удовлетворяет условиям линейности ФЧХ и абсолютной устойчивости.

Детектор движения в БА, использующий межкадровые разности сигналов и межэлементные в плоскости изображения (см. п. 2.5.1), формирует сигналы признаков движения для элементов из  $A_1^0$  и  $A_1^p$  и значения их межкадровых разностей. Учитывая зависимости порогов зрительного восприятия тонкоструктурных деталей от уровня помех  $\delta(\psi)$  и времени предъявления  $\delta_i(t)$ , а также заметности помех  $\delta_\psi(\psi)$ , для  $A_1^0$  (сигналы текста), как и для  $A_2$ , устанавливается максимальная степень межкадровой фильтрации, а для  $A_1^p$  степень фильтрации уменьшается с увеличением размаха межкадровой разности. В результате перестает снижаться четкость («смазывание») на границах движущихся объектов. Для сокращения числа регулируемых коэффициентов в адаптивном РФ используют каноническую структуру межкадрового усреднения [13] в соответствии с [14]:

$$y(r, l, \zeta) = a(r, l, \zeta) + k_\Phi [y(r, l, \zeta - 1) - a(r, l, \zeta)] = (1 - k_\Phi) a(r, l, \zeta) + k_\Phi y(r, l, \zeta - 1),$$

где  $0 \leq k_\Phi < 1$  — коэффициент межкадрового усреднения (рис. 2.5.18), регулируемый управляющим сигналом

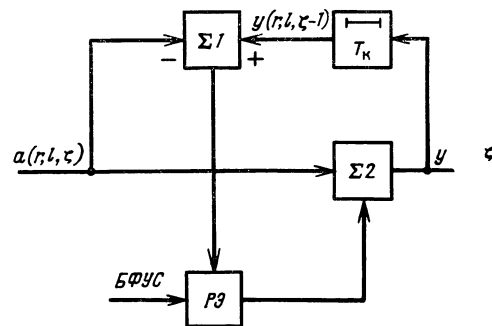


Рис. 2.5.18. Структурная схема рекурсивного АФ с одним перестраиваемым коэффициентом усреднения

БФУС (в этом случае БУВК не используют). Сокращение числа перестраиваемых коэффициентов достигают при использовании структуры НРФ с регулируемым коэффициентом усреднения  $k_\Phi$  (рис. 2.5.19) и АЧХ  $H_\Phi(f) = 1 - k_\Phi [1 - H_1(f)]$ , где  $H_1(f) = H_\Phi(f)$  при  $k_\Phi = 1$  — АЧХ неадаптивного НРФ.

Применение АФ с регулируемым  $k_\Phi$  снижает сложность реализации. Исходя из экономики аппаратных

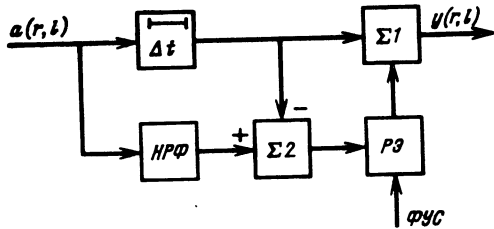


Рис. 2.5.19. Структурная схема нерекурсивного АФ с перестраиваемым коэффициентом усреднения

затрат, используют разделимые фильтры по пространственным и временной координатам  $h(r, l, \xi) = h(r)h(l)h(\xi)$ , что при определенных условиях [14, 15] справедливо для ТВС. Тогда трехмерная фильтрация разделима на пространственную по  $x$  и  $y$  и временную (межкадровую) по  $T$  одномерные фильтрации  $G_{u, \phi}(u, v, \nu) = G_x(u, v, \nu)H_{x, \phi}(u)H_{y, \phi}(v)H_{T, \phi}(\nu)$  где  $H_{x, \phi}(u)$ ,  $H_{y, \phi}(v)$ ,  $H_{T, \phi}(\nu)$  — одномерных фильтров;  $G_u(u, v, \nu) = G_{u, x}(u), G_{u, y}(v), G_{u, T}(\nu)$  — многомерная спектральная плотность изображения для разделимого представления изображения.

2. Оценка эффективности. Для трехмерной разделимой фильтрации по  $x$ ,  $y$  и  $T$   $V_{\phi, x, y, T} = V_{\phi, x}V_{\phi, y}V_{\phi, T}$ . Средняя эффективность одномерной фильтрации зависит от значений  $V_{\phi}$  каждого класса и вероятностей появления элементов:  $V_{\phi 1} = p_0 V_{\phi 0} + p_p V_{\phi, p} + (1 - p_0 - p_p) V_{\phi A_2}$ , где  $p_0$  и  $p_p$  — вероятности появления составляющих от элементов  $A_1^0$  и  $A_1^p$ , причем для сигнала в горизонтальном и вертикальном направлениях значения вероятностей могут быть приняты одинаковыми (изотропность изображения):  $p_0 = 30 \dots 50\%$  и  $p_p = 1 \dots 5\%$ . Допуски на искажения элементов из  $A_1^0$ ,  $A_1^p$  и  $A_2$ , определенные по значениям порогов зрительного восприятия, выбраны:  $e_{0, \text{доп}} = 1$ ,  $e_{p, \text{доп}} = 0,15$  и  $e_{2, \text{доп}} = 0,02$ . Низкая заметность шума на тонкоструктурных элементах изображения ( $\delta_{\phi} > 1$ ) и малая вероятность их появления позволят снизить  $k_{\phi}$  для  $a \in A_1^p$ . Тогда

$$V_{\phi, x, y, T} = V_{\phi, 3} = [p_0 V_{\phi, 0} + p_p V_{\phi, p} + (1 - p_0 - p_p) V_{\phi A_2}] V_{\phi T}.$$

Определим значения  $V_{\phi A_2}$ ,  $V_{\phi, p}$ ,  $V_{\phi, 0}$  и  $V_{\phi T}$ . Наиболее заметные искажения элементов  $a \in A_2$ , вносимые фильтром, будут для периодических структур с периодом  $T_2 = 8$  ( $T_{1, \text{max}} = 6$  для  $a \in A_1$ ). Эти искажения, соответствующие спаду АЧХ фильтра, должны удовлетворять условию:  $e = 1 - H(2\pi/T_2) < e_{p, \text{доп}} = 0,15$ . Это условие с учетом (2.5.27) и равномерного распределения спектра помех  $G_{\xi}(\omega) = a_0$  приводит к структуре НРФ с равномерной симметричной ИХ, максимизирующей значение

$$V_{\phi} = \sigma_{\xi} / \sigma_{\xi \phi} : V_{\phi \text{ max}} = \left[ \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} h_n^2 \right]^{-0,5} = \sqrt{N}.$$

Протяженность ИХ уравнения ( $f_2 = 1/T_2$ )  $H(f_2) = \sin \pi f_2 T / N \sin \pi f_2 T = 0,85$ , откуда  $N_{\phi} = N = 3(V_{\phi}^2 = 3)$ . Аналогично для НРФ с симметричной синусоидальной ИХ решение уравнения  $H(f_2) = \cos^{N-1} 2\pi f_2 T = 0,85$  дает  $N_{\phi} = 3$ , а  $V_{\phi}^2 \approx 2,7$ . Таким образом, оба фильтра обеспечивают примерно одинаковую эффективность. Определим  $V_{\phi}$  для АФ с перестраиваемым коэффициентом усреднения  $k_{\phi}$  (рис. 2.5.19) на основе НРФ с синусоидальной ИХ, который реализуется значительно проще, чем фильтр с равномерной ИХ. Для двумерного пространственного АФ ИХ  $h_{x, y, \phi}(r, l) = h_{x, \phi}(r, l) * h_{y, \phi}(l, r)$ . При  $k_{\phi x} = k_{\phi y} = k_{\phi}$  она имеет следующие значения отсчетов в узлах пространственной решетки (изображения ИХ):

$h(-1, -1) = h(-1, 1) = h(1, -1) = h(1, 1) = k_{\phi}^2/16$ ,  $h(0, -1) = h(-1, 0) = h(0, 1) = h(1, 0) = 0,25k_{\phi}(1 - 0,5k_{\phi})$ ,  $h(0, 0) = (1 - 0,5k_{\phi})^2$ . Для пространственного АФ АЧХ

$$H_{\phi}(u, v) = (1 - k_{\phi} \sin^2 \pi u \eta)(1 - k_{\phi} \sin^2 \pi v \eta),$$

или в полярных координатах

$$H_{\phi}(f, \varphi) = (1 - k_{\phi} \sin^2 \pi f \sin \varphi)(1 - k_{\phi} \sin^2 \pi f \cos \varphi),$$

$$H_{\phi}(f, 0) = H_{\phi x}(f, \varphi) = 1 - K_{\phi} \sin^2 \pi f, \quad (2.5.5)$$

$$H_{\phi}(f, \pi/2) = H_{\phi y}(f, \varphi) = 1 - k_{\phi} \sin^2 \pi f,$$

$$H_{\phi}(f, \pi/4) = \left(1 - k_{\phi} \sin^2 \pi f \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2.$$

Из (2.5.5) следует, что ПЧХ в направлениях  $x$  и  $y$  одинаковы, а в диагональном отличается от  $H_{\phi x}$  и  $H_{\phi y}$  (рис. 2.5.20), причем в полосе видеотракта  $1/2\eta$

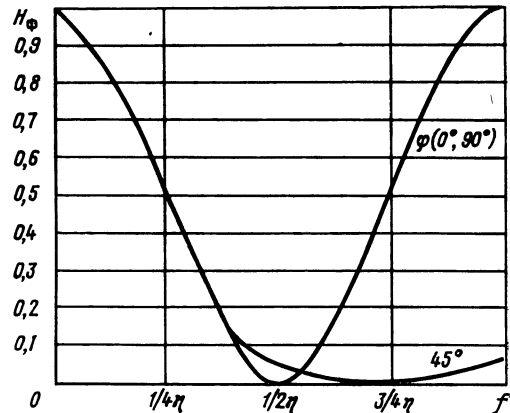


Рис. 2.5.20. АЧХ пространственного адаптивного фильтра

указанные характеристики близки друг другу. Эффективность пространственной (внутрикадровой) адаптивной фильтрации для элементов  $a \in A_1^p$ .

$$V_{\phi, p} = \left[ \sum_{l_1=-(N_{\phi}-1)/2}^{(N_{\phi}-1)/2} \sum_{r=-(N_{\phi}-1)/2}^{(N_{\phi}-1)/2} h^2(r_1, l_1) \right]^{-0,5}. \quad (2.5.6)$$

Подставляя в (2.5.5), получаем (рис. 2.5.21)

$$V_{\phi, p} = \left(1 - 2k_{\phi} + \frac{7}{4}k_{\phi}^2 - \frac{3}{4}k_{\phi}^3 + \frac{9}{64}k_{\phi}^4\right)^{-0,5}. \quad (2.5.7)$$

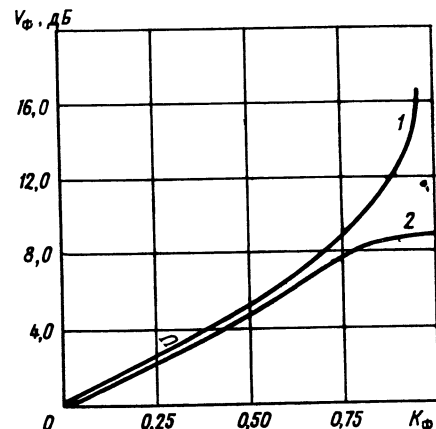


Рис. 2.5.21. Зависимости эффективности  $V_{\phi}$  от  $K_{\phi}$  для временной межкадровой 1 и пространственной 2 фильтраций

Тогда эффективность фильтрации элементов  $a \in A_2$   
 $V_{\phi, A_2} = V_{\phi, P} (k_{\phi} = 1) = 2,7$  (8,65 дБ).

Эффективность пространственной фильтрации сигнала (степень полинома, описывающего характеристику РЭ, принята равной 2)

$$V_{\phi 0}^2 = 3V_{\phi, A_2}/3 + v_{\phi}^2 (V_{\phi, A_2} - 1). \quad (2.5.8)$$

Результаты экспериментальных испытаний показали, что для ТВ изображений коэффициент передачи текстуры  $v_{\phi} = 0,5 \dots 0,6$ . Подставляя  $v_{\phi} V_{\phi, A_2} = 2,7$  в (2.5.7), получаем  $V_{\phi 0} \approx 2,3$  (7,24 дБ). Для определения  $V_{\phi, x, y, t}$  найдем эффективность временной (межкадровой) фильтрации  $V_{\phi t}$ . Импульсная и временная частотные характеристики адаптивного РФ (см. рис. 2.5.18) имеют вид:

$$\begin{aligned} h_n &= \sum_{k=1}^n g_k h_{n-k}; \quad g_k = g_1 = k_{\phi, T}; \\ g_0 &= 0 \quad \text{при } k \neq 1, \quad h_0 = 1 - k_{\phi, T}, \\ H(f) &= h_0 \left( 1 - \sum_{k=1}^N g_k \exp(-i2\pi f k) \right) = \\ &= (1 - K_{\phi, T}) / (1 - k_{\phi, T} \exp(-i2\pi f / 2F)), \end{aligned}$$

где  $F$  — частота кадров. Тогда

$$V_{\phi, T} = \left( \sum_{n=1}^{\infty} h_n^2 \right)^{-0,5} = \left( h_0^2 \frac{1}{1 - g_1^2} \right)^{-0,5},$$

и после подстановки  $h_0$  и  $g_1$

$$V_{\phi, T} = \sqrt{(1 + k_{\phi, T}) / (1 - k_{\phi, T})}. \quad (2.5.9)$$

Зависимость  $V_{\phi, T}(k_{\phi})$  (рис. 2.5.21) показывает, что для  $k_{\phi, T} < 0,8$  эффективность временной и пространственной фильтрации ТВ изображений практически одинакова. При  $k_{\phi, T} > 0,8$   $V_{\phi, T} > V_{\phi, x, y}$ , однако, заметно увеличивается «смазывание» границ движущихся объектов [13]. Поэтому целесообразно выбрать  $k_{\phi, \max} < 0,8$ , тогда  $0 \leq k_{\phi, T} < 0,8$ . Используя соотношения, приведенные выше, можно определить эффективность адаптивной трехмерной фильтрации ТВ изображений для равномерного спектра помех. Если

принять  $\rho_0 = 0,5$  (изображение высокого качества) и  $k_{\phi, T} = 0,5$ , то  $V_{\phi, x, y, T} = 14,6$  дБ, причем на долю межкадровой фильтрации приходится 4,7 дБ. Отсюда следует вывод о необходимости совместного использования пространственной и временной фильтрации.

## Список литературы

1. Шерайзин С. М. Адаптивная коррекция и фильтрация телевизионных изображений // Труды НИИР.— 1981.— № 1.— С. 98—103.
2. Новаковский С. В. Стандартные системы цветного телевидения.— М.: Связь, 1976.— 368 с.
3. Сакрисон Д. Д. Использование моделей зрения при кодировании изображений // В кн.: Методы передачи изображений. М.: Радио и связь, 1983, С. 26—67.
4. А. С. 305599 (СССР). Нелинейный корректор четкости телевизионного (фототелеграфного) изображения/С. М. Шерайзин.
5. Шерайзин С. М. Селекция импульсных сигналов и повышение четкости изображений // Техника кино и телевидения.— 1973.— № 2.— С. 37—42.
6. Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов.— М.: Наука, 1970.— 318 с.
7. Берлин Б. А. Гамма-коррекция в цветном телевидении // Техника средств связи, сер. Техника телевидения.— 1976.— Вып. 2.— С. 18—28.
8. Техника телевизионного вещания. Справочник.— Киев: Техника, 1980.— 144 с.
9. Шерайзин С. М. Адаптивная коррекция и фильтрация телевизионного сигнала.— М.: Радио и связь, 1988.
10. Оптимальная фильтрация цифрового ТВ сигнала / Л. Н. Крыммер, И. Б. Семиреченский, А. В. Цырганович и др. // Техника кино и телевидения.— 1980.— № 9.— С. 38—41.
11. Takahashi Hiroshi. Улучшение качества изображений. Подавитель шумов // Тэрэбидзен гаккайси. J. Inst. Telev. Eng. Jap.— 1979.— Vol. 33, № 4.— Р. 296—300.
12. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений.— М.: Сов. радио, 1979.— 312 с.
13. Рогачев В. А., Фантиков О. И. Специфика оптимальной фильтрации сигналов телевизионного изображения // Техника средств связи. Серия Техника телевидения.— 1984.— Вып. 5.— С. 83—89.

## ЧАСТЬ 3.

# АППАРАТУРА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРОГРАММ

### 3.1. Телевизионные центры

**3.1.1. Определение, назначение, состав.** Телевизионный центр (телецентр) — предприятие по производству и выпуску ТВ программ. В России все телецентры, как правило, административно объединены с радиодомами в радиотелецентры (РТЦ). Радиопередающие станции, излучающие сигналы ТВ программ в эфир, не входят в состав РТЦ и принадлежат Министерству связи России. Редакции программ, обычно размещаемые в зданиях телецентра, в его состав также не входят.

По назначению, объему производства программ, а также по числу и размерам студий телецентра в России разделяют на пять классов: *внеклассные* — в Москве и Санкт-Петербурге.

**1-го класса** — в столицах союзных республик, для создания республиканской программы, передаваемой по отдельному каналу ТВ вещания, с объемом местного вещания до 16 ч в сутки, в том числе собственного вещания — до 8 ч в сутки (эти данные планируются достичь к 2005 г.). К местному вещанию помимо собственного вещания (т. е. передач, создаваемых данным телецентром) относят передачи, полученные с других телецентров, записанные на видеоманитроны и включаемые в состав местной программы;

**2-го класса** — в крупнейших промышленно-культурных центрах страны, с объемом местного вещания до 3 ч и собственного — до 2 ч в сутки;

**3-го класса** — в столицах АР, краев и крупных областей, с объемом местного вещания до 1,5—2 ч и собственного — до 1—1,2 ч в сутки;

**4-го класса** — в малых областных центрах, с объемом местного вещания до 1 и собственного — до 0,8 ч в сутки. Свои передачи телецентры 2—4-го классов ведут по одному каналу со 2-й программой центральной ТВ в РСФСР и с республиканской программой — в других союзных республиках. Телецентры 1- и 2-го классов могут создавать передачи всех форм, жанров и категорий сложности, но для 2-го класса оговаривается малый удельный вес сложнопостановочных передач. Телецентры 3- и 4-го классов предназначены в основном для создания информационных и общественно-политических передач.

Основная часть телецентра — *аппаратно-студийный комплекс* (АСК) — включает основные и вспомогательные технологические службы, предназначенные для производства и выпуска ТВ программ. Выходом АСК как звена тракта ТВ вещания является выход соединительной линии, подающей ТВ сигналы готовых программ на радиопередающую станцию или в аппаратную междугородных каналов связи.

Кроме АСК в состав крупного телецентра могут входить: *база или цех передвижных технических средств ТВ* (на телецентрах 2—4-го классов их заменяют боксы на 1—2 передвижные ТВС (ПТС) при гараже); *кинопроизводственный комплекс*, включающий цех (или участки) съемочной техники, звукозаписи, об-

работки пленки, монтажа; *комплекс энергетики*, включающий цехи или участки) энергоснабжения; *спеосвещения*; *сантехники, вентиляции и отопления*; *электросвязи и сигнализации*; *комплекс декорационно-постановочных работ*, включающий цех (или участки) подготовки и обеспечения передач и киносъемок; *декорационных работ, реквизита и бутафории*; *костюмерных и гримерных работ*; *отдел технического контроля*; *производственная лаборатория*; *аппаратная внутренней ТВ сети* (для контроля и наблюдения передач и репетиций в служебных помещениях телецентра) и т. п. Структура каждого телецентра определяется местными условиями и технологией производства ТВ программ. Основные структурные единицы АСК: *аппаратно-студийный блок* (АСБ), *аппаратно-программный блок* (АПБ); *видеомагнитонная аппаратная* (АВМ), *телекинопроекционная аппаратная* (ТКА), *центральная аппаратная* (АЦ), *коммутационно-распределительная аппаратная* (КРА).

Типовые составы телецентров 1—4-го класса приведены в табл. 3.1.1.

*Телецентр в Москве* — крупнейший в Европе и один из самых больших в мире. Он имеет три АСК, два из которых осуществляют производство, а третий (АСК-2 на базе Олимпийского телерадиокомплекса) — выпуск ТВ программ; АСК-1 и АСК-3 имеют две АЦ, 12 АСБ, четыре АПБ, четыре АСБ для телекинопроизводства; АСК-2 имеет АЦ, 14 АПБ, 20 АВМ. Общий парк видеоманитронов составляет около 300 шт. (все данные — на 1988 г.).

В состав АСК *Санкт-Петербургского телецентра* входят АЦ, пять АСБ, две АПБ, четыре ТКП, цех видеозаписи из 14 аппаратных с общим парком 36 видеоманитронов.

**3.1.2. Этапы и тенденции развития телецентров**  
В СССР на первом этапе существования число телецентров росло быстрыми темпами, так как тогда еще отсутствовала разветвленная сеть междугородных ТВ каналов и потребности населения в ТВ вещании могли удовлетворяться лишь местными телецентрами. Если в 1954 г. в стране было четыре телецентра (Москва, Ленинград, Киев, Рига), то в 1960 г. их стало 84, а в 1970 г. — 131. Но к этому времени с помощью наземных и спутниковых каналов связи была организована трансляция программы центрального ТВ на основную часть территории страны, что привело к прекращению роста числа телецентров, а затем — и к некоторому его сокращению (в 1980 г. — 121, в 1986 г. — 115). В последние годы рост числа телецентров возобновился, ими намечено оснастить еще многие областные центры и к 2000 г. планируется довести их число до 180.

В стране было последовательно создано четыре поколения ТВ аппаратуры [3.1.1, 3.1.2].

*Аппаратура 1-го поколения* была радиоламповой, только для черно-белого ТВ. Первая модель, разработанная в 1950—1951 гг. в качестве типового телецентра, представляла собой АСБ с тремя студийными камерами и двумя телекинопроекторами. Камеры работали на трубах: супериконоскоп и суперортикон. Видеотракт



Таблица 3.1.1. Примерные составы аппаратных на телецентрах 1—4-го классов

Аппаратная (в скобках — площадь студии)	Площадь технической аппаратной, м <sup>2</sup>	Число аппаратных на телецентре (по номерам классов телецентра)			
		1-го	2-го	3-го	4-го
АСБ малый (150 м <sup>2</sup> )	72	2	—	—	1
АСБ средний (300 м <sup>2</sup> )	72	2	1	1	—
АСБ большой (450 м <sup>2</sup> )	90	2	1	—	—
АПБ (80 м <sup>2</sup> )	72	1	—	—	—
Центральная аппаратная	90	1	—	—	—
Коммутационно-распределительная аппаратная	36	—	1	1	—
Кроссовая	36	1	1	—	—
	или 24				
ТКА двухпостовая с цветокорректором	72	1	—	—	—
ТКА двухпостовая	48	3	1	1	—
ТКА однопостовая	48	—	—	—	1
Блок видеозаписи, воспроизведения и монтажа:					
универсальная аппаратная на три видеоманитофона (ВМ)	54	—	1	1	1
аппаратная записи-воспроизведения на два ВМ	36	7	1	1	—
аппаратная воспроизведения на два ВМ	36	1	—	—	—
аппаратная монтажа:					
на три ВМ	54	6	1	—	—
на шесть ВМ	72	1	—	—	—
блок озвучивания	36	1	—	—	—
Общее число (парк) ВМ	—	40	8	5	3
Аппаратная монтажных систем тележурналистики	18	4	2	1	1
Парк комплектов тележурналистики	—	10	5	3	2
Парк ПТС	—	4	1	—	—
Парк РТС	—	5	2	1	1
Аппаратная РРЛ	12	—	—	1	1
	или 18				
Аппаратная техконтроля	24	1	1	—	—
Аппаратная внутренней видеозвуковой сети	24	1	—	—	—

позволял осуществлять плавное микширование и быстрое переключение изображений. Аппаратура размещалась в основном в пультах. Вторая модель (1954—1956 гг.) имела две модификации — на 4 и 8 камерных каналов; ее конструкция стала стоечной (и таковой остается в основном до настоящего времени). В третьей модели (1958 г.) была создана новая типовая аппаратура телецентров «Город» и «Район». В ней впервые

были разделены режиссерская и техническая аппаратные. Технология телепроизводства использовала только прямую передачу в эфир из АСБ. Телекинопроекторы при этом входили в состав АСБ. Аппаратура 1-го поколения серийно выпускалась вплоть до 1966 г.

Аппаратура 2-го поколения была транзисторной, на печатных платах; первая модель, для черно-белого ТВ, была разработана в 1963—1966 гг. Она содержала камеры на суперортиконах (для студий) и на видиконах (для телекинопроекторов). В его составе впервые появились видеоманитофоны, что существенно повлияло на технологию телепроизводства и структуру АСК — началось разделение процессов производства и выпуска ТВ программ; в составе телецентров помимо АСБ появились АПБ. В первую очередь этой аппаратурой был оснащен введенный в строй в 1967—1970 гг. новый Общесоюзный телецентр в Москве (ныне ТТЦ), далее был освоен серийный выпуск типовых аппаратных — АСБ, АПБ, ТКА и АЦ для телецентров страны. Это была последняя разработка аппаратуры черно-белого ТВ вещания (производство прекращено с 1976 г.). Аппаратура 2-го поколения для цветного ТВ была создана в 1966—1969 гг. после принятия Советским Союзом в 1965 г. системы СЕКАМ. Серийный выпуск положил начало переходу всех телецентров страны на цветное ТВ вещание, завершено в 1985 г. В состав аппаратных входили АСБ, АПБ, ТКА, АВМ, аппаратные техконтроля. Были разработаны передающие цветные ТВ камеры на видиконах с полупроводниковой мишенью — плюмбиконах или глетиконах, дающих высокое качество изображения (эти типы трубок используются и в современных камерах). Серийный выпуск аппаратуры продолжался до 1977 г.

Аппаратура 3-го поколения (модель «Перспектива ЦТ»), разработана в 1974—1978 г. на интегральных микросхемах (ИМС) в новой унифицированной базовой конструкции; ее отличали также более широкие функциональные возможности и улучшенные качественные показатели. В состав аппаратных входили АСБ, АПБ, АВМ, которыми был оснащен в 1979 г. Олимпийский телерадиокomплекс (ОТРК), затем серийное оборудование стало поступать на телецентры страны. К настоящему времени все телецентры оснащены аппаратурой 3-го поколения. В 1985 г. эта аппаратура подверглась существенной модернизации; к этому же времени были разработаны комплексы АЦ. Была усилена тенденция разделения этапов производства и выпуска ТВ программ, в связи с чем видеоманитофоны и телекинопроекторы на крупных телецентрах, в первую очередь на ОТРК, были централизованы и сведены в специализированные аппаратные. Это позволило сократить объем однотипных средств за счет более эффективного их использования, улучшить их взаимозаменяемость, повысить уровень эксплуатации, сократить переносы видеокассет (рулонов) и катушек с кинолентой.

Аппаратура 4-го поколения в настоящее время (1988 г.) находится еще в стадии опытно-конструкторских разработок; ее отличает использование цифровой техники в видеотракте и системе управления, применение ряда ИМС 4-го уровня интеграции (т. е. имеющих от 1 тыс. до 10 тыс. элементов в корпусе), наличие систем автоматизации работы и контроля. Значительно расширены изобразительные и технические возможности оборудования, улучшены качественные показатели благодаря использованию аналого-цифрового компонентного видеотракта, повышению точности настройки и стабильности поддержания параметров.

Основными тенденциями мировой техники в развитии оборудования телецентров являются:

1. Выделение производства программ новостей в самостоятельные службы или специализированные телецентры новостей, что объясняется быстрым развитием их технической базы и резким отличием технологии создания этих программ от передач других жанров. Художественные, научно-популярные, социологические

передачи требуют длительных периодов подготовки и съемки (записи), тогда как для информационных программ новостей главное — оперативность, сиюминутность их выпуска. В службах новостей производство осуществляется путем видеозаписей главным образом во внестудийных условиях с применением носимых комплектов видеожурналистики и компоновки в аппаратных видеомонтажа либо путем прямых репортажей с мест событий.

2. Развитие систем *спутникового сбора новостей*, с помощью которых можно, используя наземные передающие комплекты быстрого развертывания, оперативно передавать видеосюжеты практически из любой точки земного шара на спутники связи, а с них — непосредственно на телецентры, подключенные к этим системам.

3. Быстрое развитие *средств видеожурналистики*, в том числе носимых видеокамер (камер, конструктивно сопряженных с записывающим видеомагнитофоном).

4. Широкое внедрение в производство новостей систем автоматизации подготовки, производства и выпуска ТВ передач. Эти системы позволяют хранить в банке данных разнообразную информацию, в том числе и ранее выпущенные передачи, иметь оперативный доступ к рабочим местам в банк данных, составлять и редактировать на экране текущие сообщения, затем, по мере потребности, автоматически вводить в передачу подготовленные сообщения в заданном порядке. Системы автоматизации выпуска программ позволяют по заранее составленному расписанию выдавать в эфир записанные передачи или их фрагменты, обеспечивая заданный режим переходов (микширование, спецэффекты), наложение предусмотренных титров и т. п. Системы автоматизации позволяют значительно снижать затраты времени на подготовку и проведение передач, уменьшать число ошибок. Крупные вещательные корпорации организуют единые банки данных, к которым имеют доступ по линиям связи все местные телецентры этих корпораций.

5. Автоматизация с помощью ЭВМ перспективного и текущего планирования загрузки технических средств и составления расписаний их работы, позволяющая повышать эффективность использования оборудования, обходиться меньшим числом ВМ и телекинопостов, снижать трудоемкость разработки расписаний.

6. Внедрение унифицированных систем дистанционного управления с общей шиной передачи данных и локальными интерфейсами, позволяющими сопрягать ТВ оборудование различных фирм (принятые международные стандарты на такую систему — Документ 3425 Европейского Союза Вещания и ОИРТ, Рек. 126).

7. Внедрение средств *цифровой ТВ техники* — синхронизаторов не синхронных сигналов, шумоподавителей, блоков видеоэффектов (БВЭ), устройств видеогеографии, накопителей неподвижных изображений (НИИ), цифровых соединительных линий, цифровых генераторов эталонных сигналов и таблиц и т. п. От автономного использования отдельных видов аппаратуры переходят к построению полностью цифровых аппаратных, предназначенных для создания передач, насыщенных триковыми изобразительными эффектами. Принятые международные стандарты (МККР, Рек. 601 и 656), определяющие параметры цифрового кодирования на телецентрах. Цифровые аппараты созданы фирмами «Томсон» (Франция), «Ампекс», «Грасс Велли» и «Квонтел» (США), «Сони» (Япония), вещательной корпорацией ИТСА (Великобритания). В СССР комплекс опытных цифровых аппаратных (АСБ и АЦ) поставлен на испытания в 1987 г. на Ленинградском телецентре. Особенно большие перспективы открываются в использовании цифровых аппаратных после освоения выпуска цифровых ВМ, поскольку последние допускают многократную перезапись без потери качества. Первые опытные модели цифровых ВМ выпущены фирмами «Сони», «Ампекс» и «Бош».

3.1.3. **Технология телепроизводства и структура телецентров.** Телевизионная программа — совокупность передач, транслируемых в определенной последовательности, согласно расписанию, по одному частотному каналу или по линиям связи. Структура технических средств телецентра во многом определена технологией производства ТВ программ.

На первом этапе существования телецентров — до середины 1960-х годов использовалась только прямая передача в эфир, при этом основной структурной единицей служил АСБ, из которого после детальной репетиционной подготовки велась прямая передача с подачей сигналов на радиопередатчик непосредственно либо через КРА. Процесс производства программ состоял из двух ступеней — подготовки и собственно производства, совмещенного с выпуском в эфир. На втором этапе на базе средств видеозаписи началось разделение процессов производства и выпуска программ. Наряду с АСБ появились АПБ, предназначенные для выдачи заранее записанных передач, а также кинофильмов. Сложилось три этапа создания программ — подготовка, запись и выпуск.

В последние годы на базе роста числа ВМ и освоения средств электронного монтажа видеозаписей выделился процесс компоновки передач, аналогичный процессу монтажа кинофильмов. На этом этапе режиссер компоует передачу из заранее записанных материалов, отпустив актеров и работая в аппаратной видеомонтажа или в АПБ. При такой технологии снижается стоимость производства, сокращается число АСБ, часть их заменяется более компактными и дешевыми аппаратными видеомонтажа. Таким образом, современная технология ТВ вещания предусматривает следующие последовательно осуществляемые процессы.

1. Телевизионное производство — творческий и технический процесс создания *ТВ передач*, т. е. самостоятельных, сюжетно-законченных частей ТВ программы, который может быть разделен на три этапа:

1.1. Подготовка телепередачи — первый этап ТВ производства до начала использования ТВ оборудования, а для прямых передач — до начала передачи. К процессу подготовки относят изготовление декорационно-постановочного оформления, его монтаж в студиях или на других объектах съемки, установку художественного освещения и т. п.

1.2. Запись телепередачи — основной этап телепроизводства (кроме прямых передач в эфир), на котором проводят трактовые репетиции (т. е. репетиции, снимаемые по ТВ) и запись отдельных фрагментов передачи или передачи в целом. Обычно записывают избыточное число фрагментов, включающее дубли и варианты сцен.

1.3. Компоновка или монтаж телепередачи — заключительный этап, в процессе которого из заранее подготовленных видео-, кино- и фото-материалов монтируют и записывают готовую телепередачу. В ходе компоновки могут производиться микширование, введение спецэффектов, видеоэффектов, наложение титров и озвучивание.

2. Выпуск ТВ программы — выдача в сеть ТВ вещания заранее подготовленных и прямых передач с короткими вставками дикторов или комментаторов в соответствии с расписанием (программой передач).

3. Распределение ТВ программ, т. е. ее передача по сети ТВ вещания. Этот этап реализуется уже за пределами телецентра. В соответствии с этой технологией процессы производства и выпуска программ разделены, и на наиболее крупных телецентрах, в частности на ТТЦ, осуществляются разными службами. В составе ТТЦ образован на базе бывшего ОТРК комплекс выпуска программ, который осуществляет 12-программное вещание (с учетом раздельной передачи программы центрального ТВ на различные регионы страны — см. часть 4).

Основной структурной единицей в службе производства является АСБ, а в службе выпуска — АПБ,

причем число АПБ превышает (с учетом резерва) число выпускаемых ТВ программ. Процессы съемки и компоновки телепередач также могут быть переданы разным службам, т. е. на телецентре 1-го класса и внеклассном может существовать цех компоновки, объединяющий аппаратные видеомонтажа. Аппаратные видеозаписи при такой структуре должны располагаться при АСБ, аппаратные воспроизведения — при АПБ, т. е. средства видеозаписи децентрализуются. Для крупных телецентров из-за преимуществ централизованной структуры (см. п. 3.1.2) она остается основной, но в последние годы в связи со значительным усложнением оборудования, ростом объема телецентров и повышением требований к качеству выходных видеосигналов выявился и ряд ее недостатков: более протяженные и часто изменяемые сквозные видеотракты; сложность коммутаций любого ВМ и телекинопроектора на любую АСБ (АПБ) по видео, звуку, управлению, сигнализации, контролю и служебной связи; большая нагрузка коммутаторов АЦ. Поэтому обсуждается целесообразность возврата к децентрализованной структуре крупного телецентра [3.1.3, 3.1.4].

Широкое внедрение цифровой техники, видимо, снова делает централизованную структуру наиболее оптимальной, учитывая следующие факторы: отсутствие искажений в относительно коротких цифровых трактах телецентров; нечувствительность сигналов к изменениям структуры и длины трактов; стабильная бесподстроечная работа цифровой аппаратуры, наличие локальных систем автоподстройки параметров; внедрение цифровой системы телеуправления с единой для всего телецентра «общей шиной», позволяющей с любого пульта управлять любым исполнительным устройством и получать ответную сигнализацию.

Централизованная структура может дать оптимальные результаты, когда на нее рассчитана объемно-компоновочная планировка здания телецентра, например, использована концентрическая планировка, при которой во внешнем кольце располагаются студии, во внутреннем — режиссерские аппаратные, а в центре (в смежных этажах) — АЦ и централизованные технические аппаратные [3.1.3, 3.1.5].

**3.1.4. Технические требования.** При проектировании телецентров и оборудования необходимо выполнить ряд технических требований, в том числе и относящихся к ТВ комплексу. Телецентры должны питаться от электрических сетей энергосистем; электроприемники АСК относятся ко 2-й, а на внеклассных телецентрах — к 1-й категории надежности. Питание технологического оборудования должно подаваться по 3-проводной сети 220 В с изолированной нейтралью; остальные электро-

противлением не более 0,5 Ом (для сухих грунтов допускается увеличение этого значения до 10 раз). К заземлителю отдельными сетями проводников подключаются сети заземления технологического оборудования и электроустановок. Сеть заземления технологического оборудования разделяют на изолированные сети защитного заземления, технологического заземления видео и технологического заземления звука, каждая из которых подключена к наружному заземляющему устройству в непосредственной близости от его ввода в здание (внутри здания). Суммарное сопротивление заземляющих проводников от заземлителя до источника ТВ или звукового сигнала должно быть не более 0,05 Ом для телецентров 1-го класса и не более 0,1 Ом для телецентров 2—4-го классов.

Согласно Правилам технической эксплуатации телецентров ПТЭ-02-88 все корпуса технологического оборудования, кроме щитов и шкафов питания, должны быть изолированы от металлоконструкций телецентра и присоединены к технологическому заземлению, а корпуса щитов и шкафов питания подсоединены к защитному заземлению. Возможна и другая схема заземления, предусмотренная в оборудовании 4-го поколения: все корпуса (блоки, устройства, шкафы) подсоединяют к сети защитного заземления, а все цепи «общий» изолируют от корпусов и подключают к сети технологического заземления.

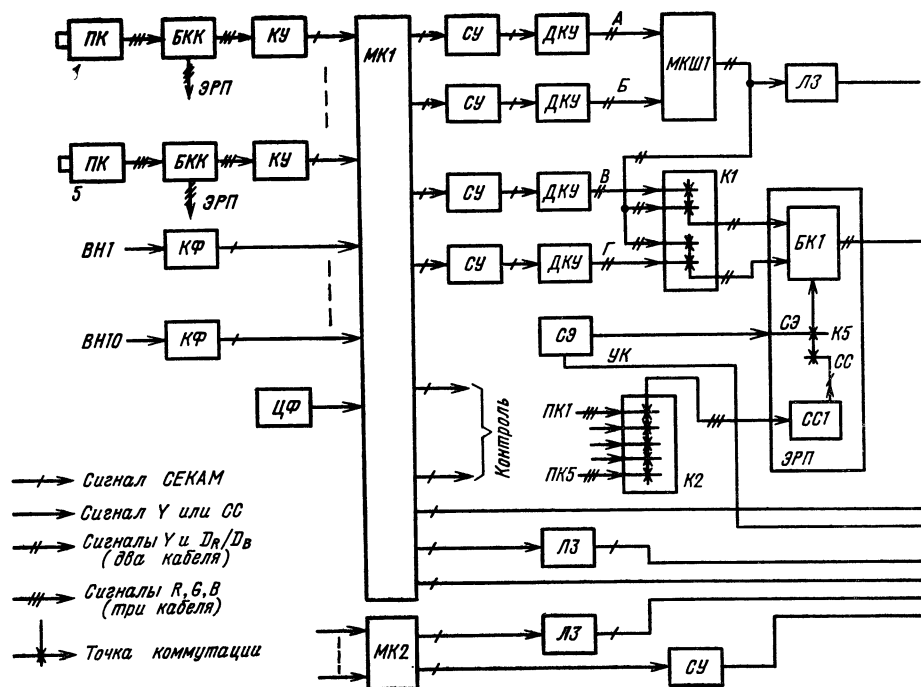
Полы в студиях и аппаратных не должны накапливать статическое электричество, их объемное удельное сопротивление должно быть менее чем  $10^6—10^9 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Кабели видео, звука и управления нельзя прокладывать вместе с силовыми кабелями. Звуковые цепи низкого и высокого уровней следует прокладывать раздельно. Все микрофонные кабели из студий в аппаратные должны находиться в стальных трубах или металлорукавах с общим заземлением на стороне аппаратной. Работающее ТВ оборудование не должно создавать значительного шума в аппаратных. Допустимые уровни шума на рабочих местах установлены стандартом ГОСТ 12.1.003-83 [3.1.6]. Нормируют уровни звукового давления  $L$  в восьми октавных полосах со среднегеометрическими частотами  $f_{cp}$ , измеряемые в децибелах относительно исходного значения звукового давления  $P_0=2 \cdot 10^{-5}$  Па. Для ориентировочного оценивания шума во всей полосе частот нормируют уровень звука  $L_A$ , также измеряемый в децибелах относительно  $P_0$ . В ГОСТ 12.1.003-83 не приведены нормы для ТВ аппаратных. Типы рабочих мест, наиболее близкие по функциональному назначению к режиссерским и техническим аппаратным телецентра, и нормы для них приведены в табл. 3.1.2. ГОСТ содержит также указа-

Таблица 3.1.2. Нормы на уровни акустических шумов (извлечение из ГОСТ 12.1.003-83)

Типы рабочих мест	Уровень звукового давления $L$ , дБ, в октавных полосах со средними частотами $f_{cp}$ , Гц								Уровень звука $L_A$ , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Помещения конструкторских бюро, лаборатории для теоретических работ и т. п.	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	68	63	55	52	50	49	60
3. Кабины наблюдений и дистанционного управления с речевой связью по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65

приемники должны питаться от сети 380/220 с глухозаземленной нейтралью. Расчетный коэффициент мощности технологического оборудования АСК равен 0,85. Это оборудование питается через линейные стабилизаторы, дающие напряжение  $(220 \pm 11)$  В. Обязательно используют устройства автоматического включения резерва (АВР) и стабилизаторы резервируют. Телецентр должен иметь наружное заземляющее устройство с со-

нием, что для «умственной работы, выполняемой с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, и работы, требующей постоянного слухового контроля», нормируется уровень  $L_A=60$  дБ. Можно рекомендовать нормы, указанные в таблице: для звукорежиссерских аппаратных — п. 1, для аппаратных видеорежиссера в том числе и совмещенных со звукорежиссером — п. 2, для технических аппаратных — п. 3.



Аппаратура телецентра не должна создавать заметных паразитных электромагнитных излучений. Нормы на эти излучения регламентируются документом Международного электротехнического комитета (МЭК) «Допустимые значения и методы измерения радиопомех, создаваемых оборудованием информационной техники, C.I.S.P.R\*, Публ. 22; 1985 г. «Согласно им напряженность поля радиопомех (квазипиковое значение, измеренное на расстоянии 30 м от источника помех) не должна превышать 30 и 37 дБ (мкВ/м) в диапазонах частот 30...230 и 230...1000 МГц соответственно.

#### Список литературы

1. Росселевич И. А., Фарбер Е. И., Харчикян Р. С. Развитие технических средств студийного и внестудийного ТВ вещания в СССР // Техника кино и телевидения. — 1977. — № 10. — С. 49—60.
2. Четыре поколения телевизионной аппаратуры / Г. И. Власов, Б. М. Певзнер, В. Т. Есин, С. А. Шерман // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. — 1981. — Вып. 5. — С. 8—16.
3. Эельйне Н. К. О некоторых принципах организации работы в АСК республиканского телецентра // Техника кино и телевидения. — 1987. — № 2. — С. 56—61.
4. Мусатов И. А., Солодов В. И. Пути совершенствования технологии и комплекса выдачи программ Центрального телевидения // Техника кино и телевидения. — 1988. — № 6. — С. 43—47.
5. Певзнер Б. М. Вещательное телевидение 2000-го года // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. — 1981. — Вып. 5. — С. 47—26.
6. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

### 3.2. Аппаратно-студийный комплекс

3.2.1. Аппаратно-студийный блок — комплекс помещений и оборудования для производства ТВ передач или их фрагментов с использованием сигналов, главным

образом, от собственных источников — передающих камер, а также от внешних источников. Продукцией АСБ являются видеозаписи, а в отдельных случаях прямые передачи в эфир. В состав АСБ входят студия, аппаратные видео- и звукорежиссеров (или общая режиссерская аппаратная) и техническая аппаратная, а также могут входить комната шеф-осветителя и камерный парк (помещение для хранения камер и их принадлежностей). В аппаратной видеорежиссера размещен стеллаж с мониторами, пульт управления видеотрактом АСБ, позволяющий также предварительно набирать сигналы из других аппаратных и управлять телекинопроекторами, и ВМ, работающими на данную АСБ. В аппаратной звукорежиссера имеются пульт, магнитофоны, контрольные агрегаты. В технической аппаратной располагается остальное оборудование АСБ, в том числе пульт и стеллаж видеоинженера. Студия оборудована системой спецосвещения, аппаратурой озвучивания, в ней установлены камеры, микрофоны, выносные мониторы, может быть размещен дикторский пульт. Шеф-осветитель имеет свой пульт управления, позволяющий регулировать высоту подвеса, повороты и яркость каждого из светильников студии.

#### Площадь типовых студий м<sup>2</sup>

Большие студии на пять—восемь камер для литературно-драматических и музыкальных передач со сложным декорационным оформлением	450...600
Средняя студия на пять камер для литературно-драматических и музыкальных передач средних форм с несложным декорационным оформлением	300
Малая студия на 3 камеры для литературно-драматических научно-познавательных и других ТВ передач малых форм	150

Помимо указанного числа студийных камер в студиях могут использоваться носимые репортажные камеры, сигналы которых вводят в видеотракт АСБ через входы внешних программ.

Оборудование АСБ выполняет следующие функции:

\* C.I.S.P.R (франц.) — Специальный международный комитет по радиопомехам.

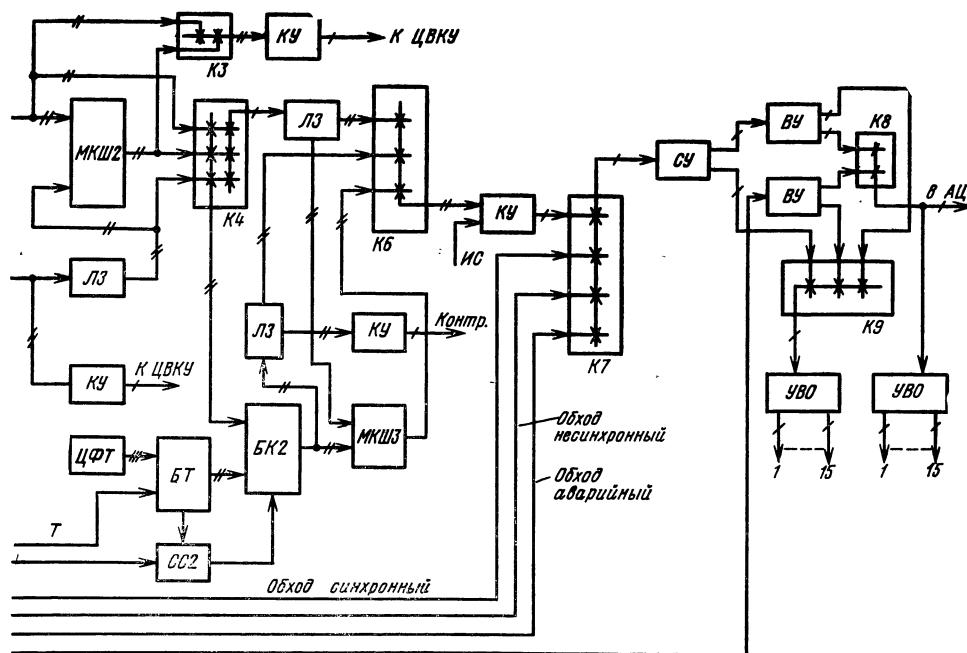


Рис. 3.2.1. Структурная схема АСБ СЕКАМ модели «Перспектива ЦТ» (ПК — передающая камера, БКК — блок камерного канала, ЭРП — электронная рир-проекция, КУ — кодирующее устройство СЕКАМ, ВП — сигнал внешней программы, КФ — корректор-фазокомпаратор, ЦФ — генератор цветного фона, МК — матричный коммутатор, СУ — стабилизирующий усилитель, ДКУ — декодирующее устройство, СЭ — спецэффекты, ЛЗ — линия задержки, МКШ — микшер, К1—К9 — коммутаторы, БК1 — быстродействующий коммутатор ЭРП, БК2 — то же титров, СС1 — блок выделения силуэтного сигнала ЭРП, СС2 — то же, титров, ЦФТ — генератор цветного фона титров, УК — сигнал указки, БТ — блок формирования титров, Т — сигнал титров, ИС — испытательный сигнал, ВУ — выходной усилитель, УВО — усилитель внутреннего обслуживания)

формирование сигналов электрически-создаваемых изображений (текстовой и графической информации от устройств ТВ буквопечати, разноцветных фонов, заставок, занавеса, испытательных таблиц и т. п.);

обработка видеосигналов от собственных передающих камер средствами электронной рир-проекции (ЭРП) с выделением изображений переднего плана («актера») и силуэтных сигналов, определяющих контуры актера;

коммутация и распределение видеосигналов с целью их предварительного набора на микшер, набора на выходы АСБ и на контроль со всех основных точек структурной схемы АСБ;

формирование программы, т. е. управляемое режиссером формирование готового комбинированного изображения из изображений от источников с применением разнообразных художественных эффектов и средств перехода от одного изображения к другому;

контроль изображений и сигналов, в том числе автоматизированный; автоматическая подстройка отдельных параметров оборудования.

Кроме функций, относящихся к формированию, преобразованию и контролю изображений, в АСБ осуществляется телеуправление работой оборудования, (в том числе автоматическое) формирование и контроль звуковой программы, служебная связь между абонентами внутри АСБ и с абонентами других аппаратных, совместно с которыми работает данный АСБ.

При построении видеотракта АСБ возникает проблема, связанная с тем, что комбинированные сигналы СЕКАМ непригодны для формирования сигнала комбинированного изображения. Ввиду наличия в них ЧМ поднесущей они не поддаются плавному микшированию, а их быстрое переключение, требуемое для введения титров, спецэффектов (шторок) или ЭРП, привело бы к скачкам фазы поднесущей на границах врезаемой фигуры, т. е. к сильным искажениям типа «дифференциальная фаза» и «факелы». По этим причинам для микширования и формирования комбинированных изображений используют компонентные видеосигналы (как правило,  $E_y$ ,  $E_{R-y}$  и  $E_{B-y}$ ). Таким образом, возможны четыре варианта построения АСБ системы СЕКАМ: композитный, компонентный, смешанный компонентный и композитный.

АСБ с композитным видеотрактом СЕКАМ (рис.

3.2.1). По этому варианту были построены все АСБ 2-го и 3-го поколения. В нем сигналы СЕКАМ формируются на выходах камерных каналов, поступают от всех внешних входов АСБ, действуют во всех контрольных и рабочих цепях, за исключением микшера. Сигналы от всех собственных и внешних источников подаются параллельно на входы двух матричных коммутаторов МК. Четыре сигнала, предварительно набранные на микшер, декодируются до видеосигналов  $E_y$  и  $E_{BR}/E_{BV}$ . Стабилизирующие усилители СУ автоматически поддерживают номинальный уровень видеосигналов (по опорному импульсу белого в испытательной строке), а также вычеркивают ССП. Разветвленная структура микшерного тракта позволяет выбирать различные пути прохождения сигналов для осуществления различных операций над ними (время прохождения сигналов по альтернативным путям уравнивается с помощью линий задержек ЛЗ). Быстродействующий коммутатор БК1 в блоке электронной рир-проекции, управляемый силуэтным сигналом СС, «сшивает» сигналы переднего и заднего планов ЭРП. Силуэтный сигнал формируется блоком СС1 из сигналов R, G, B той передающей камеры, которая дает изображение переднего плана. Вместо ЭРП с помощью БК1 можно вводить спецэффекты — для этого на управление им подается через коммутатор К5 сигнал СЭ от генератора.

Быстродействующий коммутатор БК2 вводит титры; выделитель СС2 формирует силуэтный сигнал титров из сигнала указки УК или из сигнала титров, подготовленного блоком титров БТ из сигнала Т титровой камеры. Микшерный усилитель МКШ3 позволяет вводить титры плавно (через нижний ключ коммутатора К6); через средний ключ титры вводятся мгновенно. На выходе микшерного тракта, а также на четырех контрольных выходах с промежуточных точек тракта происходит повторное кодирование по системе СЕКАМ. Непосредственный (минуя микшер) ввод источников в программу, а также аварийный обход коммутационно-микшерного тракта осуществляются коммутатором К7. Дополнительную возможность резервирования дает подача сигнала с МК2 на выходной усилитель ВУ.

Достоинством описанного варианта являются отно-

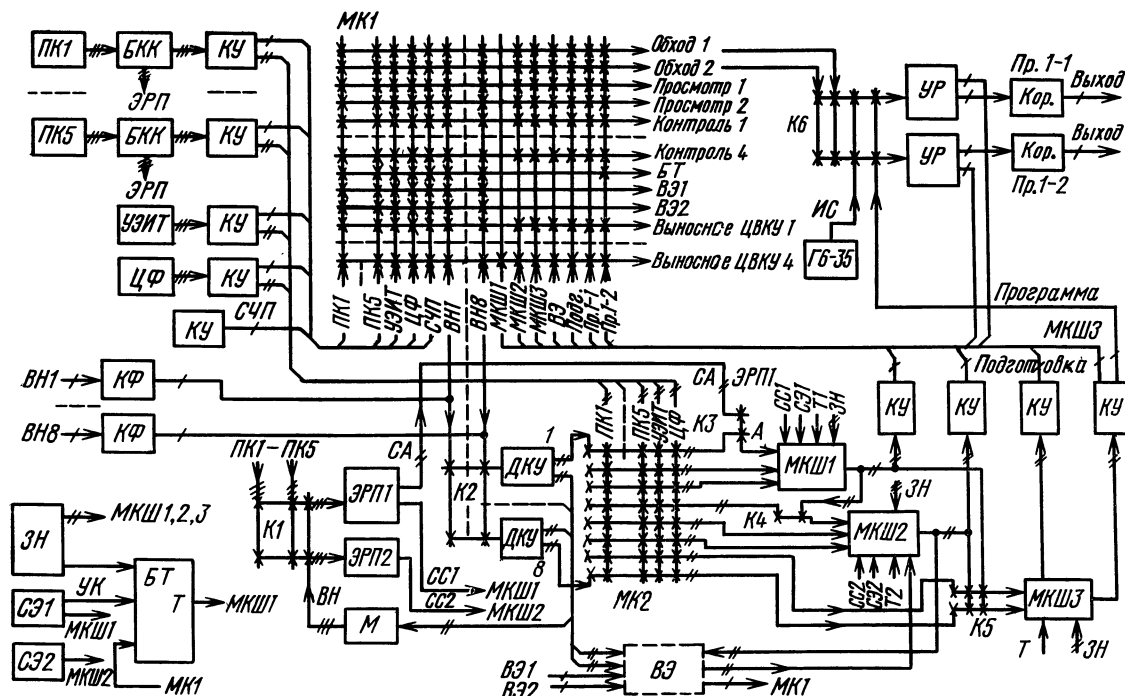


Рис 3.2.2. Структурная схема АСБ модели «Перспектива-85» (УЭИТ — генератор универсальной электронной испытательной таблицы, СЧП — сигнал черного поля, ЗН — знакогенератор, сигнал знаков, М — пересчетная матрица, Пр. — программа, ВЭ — видеоэффекты, УР — усилитель-распределитель, Кор. — корректор, остальные обозначения — как на рис. 3.2.1)

сительно простой — односигнальный — тракт АСБ и АСК в целом, простота приема большого числа внешних программ, совместимость с ВМ системы СЕКАМ. Его недостатком является некоторое ухудшение качества изображений от собственных источников, вызванное декодированием и повторным кодированием сигналов СЕКАМ.

**АСБ со смешанным видеотрактом.** По этому варианту построен АСБ модели «Перспектива-85» (рис. 3.2.2). (В отличие от предыдущего варианта (см. рис. 3.2.1) на рис. 3.2.2 раскрыты структуры матричных коммутаторов МК1 и МК2, а ЛЗ не показаны). Помимо камер и генератора цветного фона здесь появились новые датчики сигналов — знакогенератор ЗН и генератор таблицы УЭИТ. Все датчики выдают не только сигналы СЕКАМ, но и  $E_Y$  и  $E_{DR}/E_{DV}$ ; первые поступают на МК1 для обхода микшера, подачи на цепи контроля, выносные мониторы и блоки титров и видеоэффектов; вторые поступают на МК2 для набора на микшеры. Сигналы внешних программ также поступают на МК1 и через декодеры ДКУ на МК2. Сигналы R, G, B из камерных каналов через коммутатор К1 подаются на два блока электронной рир-проекции (ЭРП). С выходов МК2 сигналы подаются на два 3-входных микшера, каждый из которых осуществляет микширование, введение ЭРП, СЭ, титров и знаков. Выход МКШ1 может быть подан на вход МКШ2. В системе имеется также третий микшер для переходов между изображениями «подготовка» и «программа» и для наложения титров и знаков на готовое изображение. Блоки ЭРП формируют служебные сигналы для подачи на МКШ1 и МКШ2. Блок ЭРП1, кроме того, формирует сигнал актера СА (переднего плана), подаваемый через коммутатор К3 на вход 1-го микшера. Это позволяет значительно улучшить качество комбинированного изображения (см. п. 3.8). Сигналы с выходов трех микшеров, а также со входа «подготовка» третьего микшера, кодируются по системе СЕКАМ и подаются на коммутатор МК1. Сигнал с выхода третьего микшера подается

также на выходные усилители-распределители УР в качестве готовой программы.

В АСБ предусмотрена возможность включения 2-входного блока ВЭ (показан штриховой линией); его совместная работа с МКШ2 по «кольцевой схеме» (с подачей сигналов  $E_Y$ ,  $E_{DR}/E_{DV}$  с ВЭ на МКШ2 и обратно) обеспечивает создание более сложных эффектов, например типа «галерея» и т. п. В состав блока ВЭ входят преобразователи СЕКАМ — Цифра и Цифра — СЕКАМ для входного и выходного сигналов, а также цифровые декодеры и кодеры для компонентных входных и выходных сигналов.

Преимуществом описанного варианта АСБ является сохранение качества изображения от собственных источников при формировании программы, недостатком — громоздкость, в частности наличие двух больших матричных коммутаторов, а также использование 2-сигнального микшера, что ухудшает совместимость с 3-компонентными сигналами и с сигналами системы ПАЛ.

**АСБ с компонентным аналоговым видеотрактом.** В этом варианте используют 3-компонентный видеотракт, включая матричный коммутатор и микшер. Для этого сигналы СЕКАМ внешних программ прямо на входах АСБ декодируются до составляющих  $E_Y$ ,  $E_{SR}$ ,  $E_{SV}$ , такие же сигналы формируют и все собственные источники. Кодеры СЕКАМ ставят лишь на выходах АСБ. Этот вариант подобен предыдущему варианту АСБ (см. рис. 3.2.2) и отличается отсутствием кодеров КУ на выходах источников и в промежуточных точках микшера, отсутствием или значительно меньшим объемом матричного коммутатора СЕКАМ КМ1, наличием выходов компонентных видеосигналов. Недостатком 3-компонентного АСБ является необходимость передавать между аппаратными телецентра и коммутаторами в АЦ по три сигнала вместо каждого сигнала СЕКАМ. Для этой цели разработаны цифровые соединительные линии с передачей в одном коаксиальном или световодном кабеле 3-х компонентных видеосигналов цифровым потоком 243 Мб/с, которые могут быть

использованы для связей не только между цифровыми, но и между компонентными аналоговыми аппаратами. Наиболее предпочтителен данный вариант аппаратной для небольших замкнутых комплексов (ПТС, малый АСК), где нет проблемы связей между аппаратными, число внешних программ СЕКАМ относительно мало и может быть использована видеозапись на аппараты типа «Бетакам», установленные непосредственно в составе комплекса.

АСБ с компонентным цифровым видеотрактом. В этом варианте АСБ видеосигналы на выходах камерных каналов кодируются в цифровую форму согласно Рек. 601 и Рек. 656 МККР (стандарт 4:2:2 — 8-разрядное кодирование с частотой дискретизации 13,5 МГц для сигнала  $E_y$  и 6,75 МГц для сигналов  $E_r$  и  $E_b$  и временное уплотнение трех сигналов в каждом разряде кода с тактовой частотой 27 МГц). В других датчиках видеосигналы преобразуются в цифровой код уже на ранней стадии обработки (телекино- и диапроекторы) либо формируются прямо в цифровом виде (накопители неподвижных изображений, генераторы УЭИТ и ЦФ, устройства видеозаписи). Сигналы внешних программ СЕКАМ на входах АСБ преобразуются в цифровой код, при этом несинхронная программа проходит через синхронизатор. Далее все операции по обработке и контролю сигналов выполняются в цифровой форме, например, плавное микширование производится путем умножения 8-разрядного кода каждого отсчета сигнала на 8-разрядный изменяемый код уровня.

Особенностью цифрового видеотракта (рис. 3.2.3) является отсутствие стабилизирующих усилителей, дополнительных коммутаторов (например, КЗ—К5 на

рис. 3.2.2) и ЛЗ. Сигнал с выхода каждого из микшеров и блока ВЭ возвращается на вход МПК, так что источником готового сигнала является программный коммутатор; структура видеотракта заметно упрощается и становится более гибкой. Это возможно благодаря использованию на входах микшеров автоматических цифровых фазированных устройств ФУ, в которых входной сигнал записывается в ОЗУ, а затем считывается из него (с задержкой до нескольких микросекунд) в фиксированной фазе. В сложном АСБ, где будет, например, три микшера, значение этой фазы может автоматически изменяться в зависимости от того, набран ли данный микшер первым, вторым или третьим по тракту. Трехходовый микшер МКШ1 содержит три перемножителя и один сумматор, а в каналах В и С имеются также быстродействующие коммутаторы БК для «врезания» окантовок фигур спецэффектов. Управляющие сигналы (коэффициенты) К1—К5, на которые осуществляется умножение видеосигналов и которые переключают БК, формируются в блоке БФК из сигналов фигур СЭ и силуэтных сигналов ЭРП, титров и светового пера. Второй микшер служит для плавного заведения надписей от знакогенератора: АСБ формирует две программы — рабочую и резервную, которые снимаются с МПК1 и МПК2 соответственно. Коммутатор МПК2 имеет входы тех же сигналов, что и МПК1 (кроме сигнала ЭРП). Использование на линиях выходных программ, как и на входах микшеров, блоков ФУ, позволяет не заботиться о синфазности сигналов на входах МПК. Каждая программа выдается в соответствии с Рек. 656 последовательным цифровым кодом 243 Мбит/с по коаксиальному или световодному кабелю, а также в форме СЕКАМ.

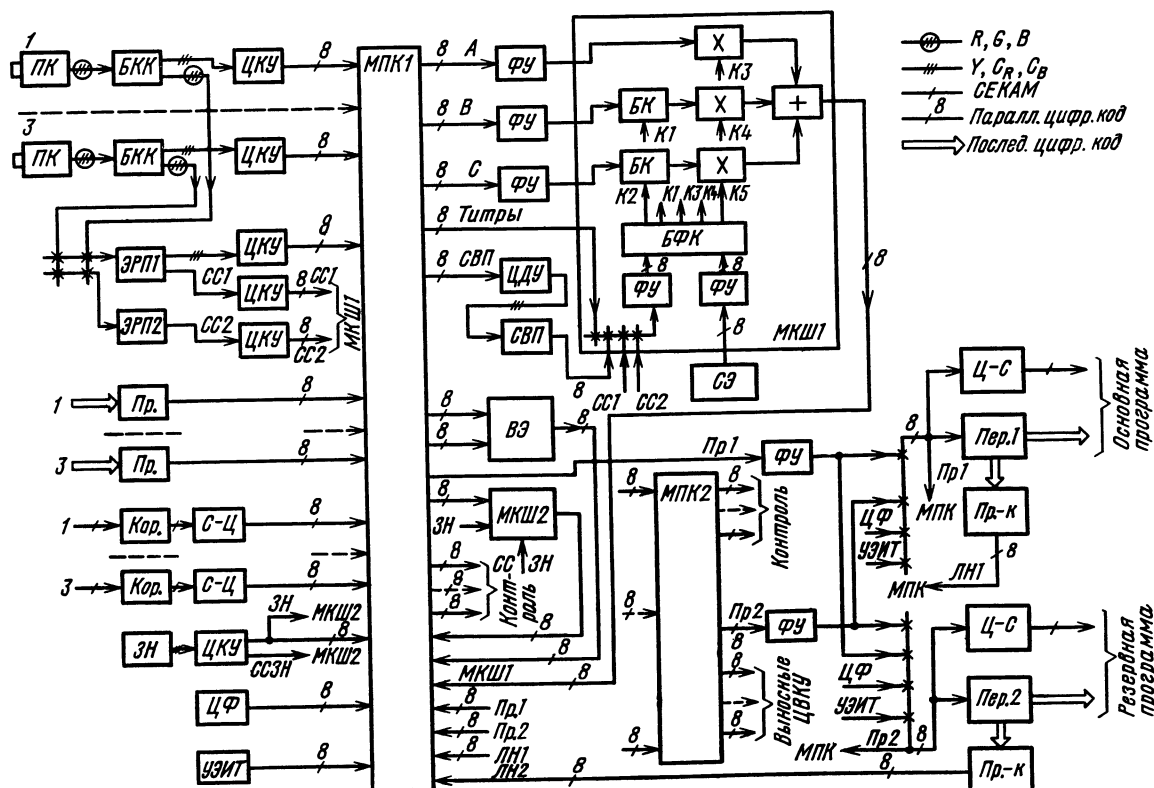


Рис. 3.2.3. Структурная схема цифрового АСБ, экспериментальный образец (ЦКУ — цифровое кодирующее устройство, СС — силуэтный сигнал, ПР — приемник цифровой соединительной линии, Кор. — корректор кабеля, С-Ц — преобразователь СЕКАМ — цифра, ФУ — фазировочное устройство, ЦДУ — цифровое декодирующее устройство, СВП — блок светового пера, БК — быстродействующий коммутатор, «Х» — перемножитель 8×8 разрядов, «+» — сумматор, БФК — блок формирования коэффициентов, К1—К5 — коэффициенты, Ц-С — преобразователь Цифра-СЕКАМ, ПЕР — передатчик цифровой соединительной линии, ЧФ — черный фон, остальные обозначения как на рис. 3.2.1 и 3.2.2)



Преимущества цифровых комплексов — обеспечение высоких показателей, не достижимых для протяженных и часто перестраиваемых трактов современного ТЦ, если их выполнить аналоговыми; стабильная бесподстроечная работа; отсутствие потребности в ежедневном контроле и поддержании многочисленных параметров аналоговых сигналов и трактов (уровни, линейные и нелинейные искажения и т. п.). С другой стороны, цифровая аппаратура имеет на порядок большее число контактов в видеотракте, требует тщательной отработки схем и конструкций, имеет большие объем и энергопотребление ряда устройств. Цифровые АСБ предпочтительны для производства передач, насыщенных изобразительными эффектами, т. е. требующих использования цифровых устройств ВЭ и видеоживописи. Программы компонентных аппаратурных, как аналоговой, так и цифровой, могут записываться на компонентные ВМ, например, по типу аппаратов «Бетакам-SP». После серийного освоения цифровых ВМ, позволяющих многократно увеличивать допустимое число перезаписей, цифровые АСБ получают широкое распространение, и начнут создаваться цифровые АСК.

**3.2.2. Аппаратно-программный блок** — комплекс помещений и оборудования, предназначенный для создания ТВ программ, главным образом, из заранее подготовленных и записанных передач, со вставками (диктора, комментатора и т. п.) от собственных источников и выдачи этих программ на радиопередатчик или аппаратную междугородных трансляций в соответствии с расписанием. Используют АПБ только на телецентрах, выпускающих собственные программы, т. е. на телецентрах 1-го класса и внеклассных. Число АПБ должно быть не менее числа программ. По структуре и составу аппаратуры АПБ близок к АСБ и отличается следующим: небольшая студия на 2—3 камеры, меньшие изобразительные возможности создания передач, наличие аппаратуры автоматического формирования программы с управлением от ЭВМ, другой комплект звукового оборудования (магнитофоны только для воспроизведения, пульт звукорежиссера, рассчитанный на небольшое число внешних и собственных источников и т. п.). Существуют и АПБ без камер — коммутационные, которые предназначены для автоматизированной выдачи заранее записанных передач, включая и дикторские вставки. Телецентры страны оборудованы АПБ 3-го поколения модели «Перспектива ЦТ»; структурная схема такого АПБ аналогична схеме АСБ рис. 3.2.1.

**3.2.3. Центральная аппаратная (АЦ)** есть главный коммутационно-распределительный узел телецентра, предназначена для взаимного соединения аппаратных, входящих в состав АСК, и содержит коммутационную, усилительную, синхронизирующую, контрольно-измерительную и связную аппаратуру. Используют АЦ только на телецентрах 1-го класса и внеклассных, на телецентрах 2-го и 3-го класса ее функции выполняет КРА. На 1988 г. на телецентрах страны имеются в основном АЦ 2-го поколения типа АЦ-1; разработана и осваивается серийным производством АЦ 3-го поколения типа АЦ-М и АЦ-3М.

**Аппаратная АЦ-1** выдает две готовые программы из сигналов 15 внешних источников, а также транслирует один из трех приходящих в АСК междугородных сигналов в качестве сигнала третьей программы. На крупных телецентрах АЦ состоит из двух комплектов оборудования АЦ-1, что позволяет выдавать до шести программ.

В АЦ-1 осуществляются следующие функции: прием 15 видеосигналов СЕКАМ от источников и коррекция входных кабелей длиной до 1,2 км; регенерация ССП на пяти входных линиях; формирование собственных сигналов электронной испытательной таблицы (ЭИТ) и часов от стенда показа времени; подача принятых и собственных сигналов на два матричных коммутатора объемом 20×10 каждый; оконечное усиление

выходных сигналов коммутаторов и выдача их на выходные линии — по четыре выхода каждого сигнала; прием, коммутация и распределение сигналов звукового сопровождения; коммутация трех выходных программ (видео и звук) на три радиопередатчика и три междугородные линии, а также на девять выносных мониторов; контроль сигналов изображения и звука на пульте видеонинженера и в двух кабинках программных режиссеров (каждая из которых имеет 2-секционный пульт, цветной и черно-белый мониторы); синхронизация всех входящих устройств, ведение общего синхрогенератора сигналом двойного строчной частоты.

Основная аппаратура АЦ-1 размещена в 18 приборных шкафах и 3-секционном пульте видеонинженера. Кроме того, в состав АЦ-1 входят две кабинки программных режиссеров, каждая из которых оборудована 2-секционным пультом и цветным монитором.

**Аппаратная 3-го поколения АЦ-М** является коммутационной и не формирует выходных программ. Она принимает и корректирует 20 входных сигналов и имеет коммутационное поле 20×40. В ней нет стенда показа времени; имеется генератор универсальной электронной испытательной таблицы (УЭИТ). Все оборудование размещено в пяти приборных шкафах и одним 2-секционным пультом.

**Аппаратная АЦ-3М** рассчитана, как и АЦ-1, на формирование и контроль трех выходных программ. Она принимает и корректирует 50 входных сигналов и имеет коммутационное поле 50×80. В число собственных датчиков, наряду с генератором УЭИТ, входят блоки электронных часов (с цифровым отображением времени) и «электронного раскорда» (сигнала черного фона). Оборудование размещено в семи приборных шкафах и одним 2-секционным пультом.

**Аппаратные АЦ большого объема** создаются для крупных многопрограммных телецентров. Примером может служить АЦ Олимпийского телерадиокомплекса в Москве, ныне используемого как комплекс выпуска программ ТТЦ. Оно формирует 20 выходных программ и имеет коммутационное поле 150×288. В матрице такого объема потребовалось бы 43 200 ключей, поэтому коммутатор построен по 3-ступенчатой схеме (см. п. 3.8.1), содержащей вдвое меньше ключей. Первая ступень выполняет коммутацию 150×20 (в ней 20 коммутаторов 8×20 с учетом резервных ключей). Вторая ступень имеет 20 блоков 20×30, что позволяет выбирать 20 вариантов прохождения сигналов со входа на выход. Третья ступень имеет 30 коммутаторов 20×20. Поиск свободной трассы и установление нужного соединения, а также автоматический обход неисправного ключа обеспечиваются микропроцессорной системой управления. В аппаратуру встроена быстродействующая система проверки появления на выходе матрицы набранного видеосигнала, которая работает по кодам опознавания источника («этикеткам»). Этикетки замешиваются на входах АЦ в каждый входной видеосигнал, в его 16-ю и 329-ю строки, а на выходах АЦ вычеркиваются. Неисправная точка коммутатора отображается на экране дисплея. Одновременно с видеосигналом в АЦ автоматически коммутируются звуковой сигнал, канал дуплексной служебной связи, цепи дистанционного управления и сигнализации. Дистанционное управление коммутатором ведется как из аппаратных — потребителей, так и с пульта управления и контроля АЦ. Видеооборудование этой АЦ размещено в 62 приборных шкафах, в том числе коммутационная матрица 150×288 занимает 24 шкафа.

**3.2.4. Телекинопроекционная аппаратная (ТКА)** предназначена для демонстрации по ТВ кинофильмов и обеспечивает совместную работу двух или более телекинополюсов (ТКП), коммутацию и контроль сигналов видео и звука, коррекцию качества изображений, управление работой ТКП с пульта. Описание аппаратной дается на примере освоенной производством с 1989 г. отечественной ТКА 4-го поколения типа



Площадь, занимаемая ТКА4-2/0, не менее 35 м<sup>2</sup>, потребляемая мощность не более 8 кВт. Предустановлена возможность наращивания аппаратуры третьим ТКД. Обслуживающий персонал ТКА4-2/0, состоит из кино-механика, выполняющего все подготовительные операции по демонстрации киноматериала, и оператора кино, который работает за пультом и отвечает за техническое качество формируемой кинопрограммы или киновставки.

ТКД формирует сигналы СЕКАМ  $E_6$  и основных цветов  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ , а также чередующиеся по строкам сигналы  $E_R - E_G E_B$  для контроля на осциллографе соотношения их размахов. Коммутатор КОМ сигналов СЕКАМ осуществляет переход с поста на пост (в том числе автоматический, по сигналу от станиолевой метки на киноплёнке), а также набор сигналов на контроль. Он работает совместно с коммутатором звука. С панели выходов (ручного коммутатора) можно подать на выходные кабели аппаратной сигналы от ТКД в обход коммутатора. Две линии обратного контроля позволяют наблюдать ТВ программу из АСБ (АПВ)-потребителя, т. е. контролировать момент ввода кино-материала в программу и результирующее качество показа. Сигнал обратного контроля  $I$  проходит через

Оператор кино имеет двустороннюю 4-проводную громкоговорящую связь с кинемехаником, видеорежиссерами, звуорежиссерами и видеоинженерами двух АСБ (АПБ), а также с АЦ. В аппаратной ТКА4-2/2 планируется автоматизированная коррекция кинофильма в процессе передачи: предварительный подбор оптимальной цветокоррекции каждой однородной группы кадров с запоминанием положений органов регулирования и ввод заданных положений по командам ЭВМ в процессе демонстрации фильма, что позволит существенно улучшить качество кинопоказа.

**Электронный монтаж** ТВ программ ВМ заметно отличается от монтажа кинофильмов. Лента не разрезается, а участками переписывается заново, причем при переписи необходимо с высокой точностью сохранять временные соотношения в сигнале и избегать наложения. Для электронного монтажа профессиональные ВМ оборудуются встроенными устройствами, позволяющими осуществлять электронную «склейку». С помощью пульта дистанционного управления (ПДУ) и контроля несколько постов объединяют в систему монтажа, которая позволяет производить различные технологические операции. Различают следующие режимы работы при электронном монтаже: *продолжение* — когда второй фрагмент программы записывают за первым без сбоя синхронизации и щелчков в звуковом сопровождении; *сборка* — когда последующая запись по чистой ленте продолжает предыдущую с автоматической предустановкой (возвратом) перед местом склейки и между записями не возникают разрывы; *вставка* — когда фрагмент второй программы вставляют между фрагментами первой; *озвучивание* — когда в готовую телепрограмму вписывают заранее

Таблица 3.2.1. Структура продольного адресно-временного кода МРТЕ для кодирования кадров в аппаратных видеозаписи

Номер бит кода	Назначение бит внутри слова	Тип бит
0—3	Единицы кадров	ВБ
4—7	Используются потребителем	БП-1
8—9	Десятки кадров	ВБ
10	Корректирующий бит	—
11	Нуль	—
12—15	Используются потребителем	БП-2
16—19	Единицы секунд	ВБ
20—23	Используются потребителем	БП-3
24—26	Десятки секунд	ВБ
27	Не используется	—
28—31	Используются потребителем	БП-4
32—35	Единицы минут	ВБ
36—39	Используются потребителем	БП-5
40—42	Десятки минут	ВБ
43	Не используется	—
44—47	Используются потребителем	БП-6
48—51	Единицы часов	ВБ
52—55	Используются потребителем	БП-7
56—57	Десятки часов	ВБ
58	Не используется	—
59	Нуль	—
60—63	Используются потребителем	БП-8
64—79	Синхронизирующее слово	—
64—65	Нуль	—
66—77	Единицы	—
78	Нуль	—
79	Единица	—

Примечания: 1. ВБ — временные биты; БП-1, БП-2 и т. д. — первая, вторая и т. д. группы бит потребителя. 2. ВБП-1 — БП-8 передаются сведения о магнитной ленте, записанной программе и системе цветного ТВ. 3. Для определения последовательности четырех полей принято, чтобы в четвертом поле СЕКАМ сумма номера кадра и значения секунд была нечетной. В системе PAL — чтобы в первом и втором полях она была нечетной, а в третьем и четвертом — четной.

смонтированное звуковое сопровождение, причем необходимо обеспечить совпадение изображения и звуковой фразы; *подготовка длительности фрагмента* — когда длительность программы незаметно для телезрителя меняют в пределах  $\pm 10\%$ , чтобы совместить с программой телепередач. Монтаж бывает ручной и автоматический.

При *ручном монтаже* все технологические операции в аппаратной (режиссерская разметка, поиск требуемых фрагментов и мест «склеек», введение спецэффектов, микширование и запись) осуществляются при подаче команд вручную. При *автоматическом монтаже* те же операции осуществляются при подаче соответствующих команд от ЭВМ, в которую предварительно вводят программу в виде листа монтажных решений (ЛМР). Для этого на продольных дорожках видеолент с программами записывают временной код (ВК), который вырабатывается в реальном масштабе времени и поэтому хорошо согласуется с восприятием режиссера. Кодирование осуществляется кодом SMPTE (табл. 3.2.1). Отдельным кадрам изображения присваивают адреса непрерывно в течение 24 ч. Для обеспечения считывания в режимах замедления или стоп-кадра ВК (80 бит) предкодируют в «вертикальный» ВК (90 бит), который замешивают в видеосигнал во время передачи кадрового гасящего импульса, для чего в ВМ встраивается устройство, осуществляющее автоматический переход с одного вида ВК на другой в зависимости от режима работы ВМ. Для проведения электронного монтажа ВМ — источник программы — и ВМ — «мастер», на котором записывается монтируемая программа, должны запускаться и работать синхронно, так, чтобы к точкам «Начало» и «Конец» они подходили одновременно. Для этого ВМ или пульта оборудуют системами «синхронной работы», а во всей аппаратной обеспечивается режим синхронизации от одного синхрокомплекта. Чем быстрее ВМ входят в синхронизм, тем удобнее на них монтировать программы. Видеомагнитофоны КАДР-ЗП и КАДР-ЗПМ входят в синхронизм за 5 с. Для осуществления на них монтажа выпущены пульта и системы, ПАМ-III и СЭМ для ручного и полуавтоматического монтажа по звуковым меткам, АСМ и ПЭМ-1 для автоматического монтажа по ВК на ВМ КАДР-ЗПМ и САЭМ для автоматического монтажа по ВК на ВМ КАДР-5, имеющих время входа в синхронизм 0,5 с. В состав систем монтажа для аппаратных, укомплектованных 4-головочными ВМ (табл. 3.2.2), входят звуковые и видеомикшеры, устройства спецэффектов, звуковые магнитофоны и контрольно-измерительная аппаратура. Так как стоимость 1 ч монтажа высока, то используют и более простые системы *монтажа по копиям*, записанным на дешевых кассетных ВМ. Предварительный монтаж по копиям позволяет творческому персоналу подготавливаться к монтажу сложных художественных видеофильмов на автоматических монтажных системах. При этом составляют ЛМР, который записывают на гибких магнитных дисках, магнитофонных компакт-

Таблица 3.2.2. Характеристики систем монтажа для аппаратных с 4-головочными ВМ

Характеристика	АСМ	САЭМ	ПЭМ-1	ЕДМ
Число ВМ	4	3	3	4
Тип ВМ	КАДР-ЗПМ	КАДР-5	КАДР-ЗПМ	АВР-1
Система электронного монтажа	ЦИС	МикроЭВМ	ЦИС	МикроЭВМ
Число звуковых каналов	1	1	1	1
Адресно-временной код	SMPTE	SMPTE	SMPTE	SMPTE
Наличие приборов:				
видеомикшера	Нет	Нет	Нет	Есть
звукового микшера	Есть	Нет	Есть	Есть
устройства спецэффектов	Есть	Есть	Есть	Есть
Долговременного ЗУ монтажных переходов (или возможности подключения):	Нет	Нет	Нет	Есть
кадровой памяти	Нет	Нет	Нет	Есть
дополнительных источников видеосигналов	Есть	Нет	Нет	Нет

Таблица 3.2.3. Состав и назначение аппаратных видеозаписи для наклонно-строчных ВМ

Характеристика назначения	ВМА-1	ВМА-2	Агат-1	ВМА-4	ВМА-5	Агат-2
Тип аппаратной	Ун	Вз	Мр	Пр	Оз	Ун
Число ВМ в составе ВМА	2	2	До 16	2	1	3
Число звуковых каналов	2*	2*	2*	2	2*	3
Вид системы монтажа	ЦИС	ЦИС	ЭВМ	МП	МП	ЭВМ, микроЭВМ
Наличие блоков и эффектов:						Внешний
видеомикшера	Нет	Нет	Есть	Есть	Нет	То же
звукового микшера	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	»
блока спецэффектов	Нет	Нет	Есть	Есть	Нет	»
долговременного ЗУ монтажных переходов	Нет	Нет	Есть	Нет	Есть	»
коммутаторов внешних линий	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	»
дистанционного управления режимами воспроизведения	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
электронной коррекции монтажных переходов	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
дополнительных источников сигналов	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Внешний

В таблице введены следующие сокращения: Ун — универсальная; Вз — воспроизводящая; Мт — монтажная; Оз — озвучивающая; ЦИС — цифровая ИС; МП — микропроцессоры.  
\*Stereo.

кассетах или на буквопечатающем устройстве. Затем ЛМР вводят в память ЭВМ большой системы и производят монтаж по оригиналам видеозаписей. В ходе монтажа все операции, указанные в ЛМР, выводятся на дисплей ЭВМ, по которому можно окончательно проверить ЛМР и отрепетировать. Все вспомогательные операции (поиск, перемотки и пр.) выполняются по стандартным заранее разработанным подпрограммам.

Новые творческие возможности для подготовки программ в монтажных аппаратных дали ВМ форматов С и В, работающие на ленте шириной 25,4 мм. Эту ленту с записанной программой можно останавливать в любом месте, не теряя изображения, наблюдать за ним при перемотках и т. д. Так как монтаж становится «видимым», то снимается эмоциональная нагрузка с режиссеров. В сочетании с дисковыми ВМ, имеющими быстрый поиск кадров, они позволяют менять местами отдельные короткие фрагменты программ. Поэтому в состав монтажных аппаратных вводят дисковые ВМ для промежуточной записи кадров изображения либо цифровую память на кадр. Для промежуточной записи звуковых фрагментов в аппаратных тонирования и озвучивания используют магнитофоны: синхронные звуковые с быстрым поиском, многодорожечные звуковые, позволяющие переписывать фрагменты программ с одной дорожки на другую, или кассетные с ленточным носителем внутри кассеты в виде петли.

Для работы с ВМ формата С создано несколько типов аппаратных видеозаписи (табл. 3.2.3). Аппаратная ВМА-1 предназначена для небольших телецентров, в которых не предполагается расделение технологических процессов подготовки программ, а объем собственных передач относительно мал. В ней имеется два ВМ для записи оригиналов программ, монтажа ВК (без спецэффектов и микширования) и выдачи программ в эфир. Пульт ПЭМ-2 с помощью системы уплотнения команд дистанционного управления обеспечивает управление двумя ВМ, коммутаторами входных и выходных линий. В аппаратной имеется контрольно-измерительная аппаратура с генераторами испытательных сигналов, синхрогенераторами и кодирующими устройствами, осциллографом, звуковыми контрольными агрегатами, индикаторами уровня и адресно-временного кода, видеоконтрольными устройствами. В состав ПЭМ-2 включен звуковой микшер, позволяющий

микшировать стереофоническое или двуязычное звуковое сопровождение.

В режимах «синхронная запись» и «синхронное воспроизведение» управление двумя ВМ ведется параллельно, а в режиме монтажа — последовательно (сначала источником, затем «мастером», затем и тем, и другим). Монтажные переходы можно различать при замедленном воспроизведении, скорость которого изменяется дистанционно, что повышает точность. Контроль осуществляется с помощью двух индикаторов ВК, размещенных на пульте. Поиск монтажных точек и реализация монтажных режимов ведутся встроенными системами монтажа ВМ.

Аппаратная ВМА-2 используется для передач в эфир готовых программ. Входящие в нее ВМ отличаются от обычных тем, что не имеют режима «запись». Это исключает ошибки операторов при передаче.

Аппаратная «Агат-1» (рис. 3.2.5) предназначена для сложного монтажа художественных программ и

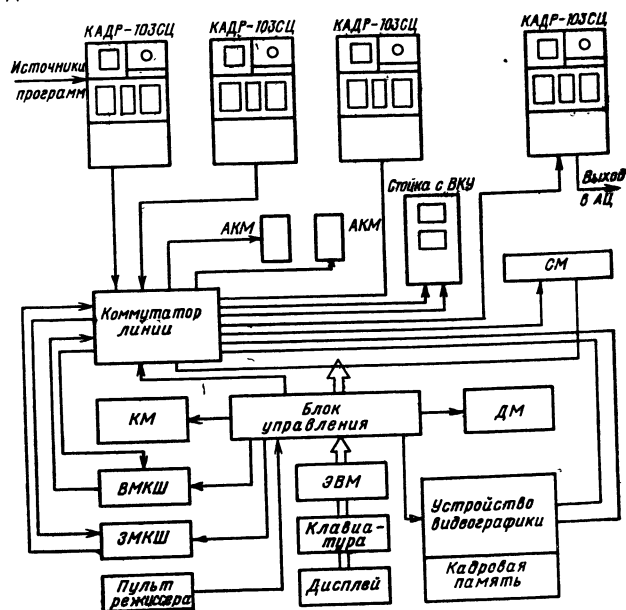


Рис. 3.2.5. Структурная схема видеомонтажной аппаратной

рассчитана на крупные телецентры. Помимо основной программы монтажа, вводимой по ЛМР, ЭВМ имеет ряд подпрограмм для реализации режимов поиска, репетиции и т. д. (табл. 3.2.4), причем программы

**Таблица 3.2.4. Назначение и характеристики монтажных аппаратных, управляемых ЭВМ**

Характеристика	Агат-1 (СССР)	ACE-200 (США)	ВУЕ-5000 (Япония)
Число постов	До 15	До 16	6
Тип видеоманитрофонов	КАДР-103СЦ ЭВМ	УРР-3 ЭВМ	ВУН-2000 МП
Способ управления монтажными операциями			
Общее число монтажных операций	Неограниченное		128
Наличие блоков и эффектов:			
устройства спецэффектов	Есть	Есть	Есть <sup>1</sup>
коммутаторов внешних и внутренних сигналов	Есть	Есть	Есть <sup>1</sup>
звуковых и видеомикшеров	Есть	Есть	Нет
буквопечатающего устройства для фиксации ЛМР	Есть	Есть	Есть
дополнительных источников сигналов	Есть	Есть	Есть <sup>1</sup>
дисплея для общения с оператором	Есть	Есть	Есть <sup>1</sup>
программирования по листу монтажных решений:	Есть <sup>2</sup>	Есть <sup>2</sup>	Есть <sup>3</sup>
управления спецрежимами воспроизведения на видеоманитрофонах	Есть	Есть	Есть
генераторов дешифраторов АВК и выбора вида кода	Есть <sup>4</sup>	Есть <sup>5</sup>	Есть <sup>5</sup>
ввода устройства видеогрaфики и кадровой памяти	Есть	Есть	Есть

Примечания: <sup>1</sup> Внешнее устройство. <sup>2</sup> Автоматический ввод. <sup>3</sup> Ручной ввод. <sup>4</sup> Продольный код. <sup>5</sup> Продольный и вертикальный код.

могут наращиваться. Пульт управления, снабженный дисплеем и клавиатурой, позволяет корректировать монтаж, микшировать сигналы с разной скоростью, вводить спецрежимы воспроизведения и спецэффекты.

Подключение к аппаратной видеогрaфики и кадровой памяти позволяет менять масштабы раstra, ракурс, делать наложения и т. д. Синхронные магнитофоны предназначены для озвучивания программ в процессе подготовки. Так как аппаратная имеет дополнительные ЗУ, можно параллельно документировать результаты.

Аппаратная ВМА-4 имеет вспомогательное значение и служит для просмотра и предварительного монтажа художественных программ создания ЛМР, который затем используется в аппаратной «Агат-1», используются и кассетные ВМ, снабженные встроенными системами монтажа. Предварительно монтировать и составлять ЛМР можно по копиям, что позволяет сокращать общий объем работ по монтажу в дорогостоящих программируемых аппаратных.

Аппаратная ВМА-5 служит для озвучивания видеофильмов и монтажа звукового сопровождения.

Звуковое сопровождение оригиналов вместе с ВК переписывают на отдельную ленту с помощью синхронных магнитофонов. Звукорежиссер отдельно монтирует звуковую программу, вводит звуковые эффекты, вводит или изымает отдельные фрагменты, но исходный временной масштаб, задаваемый кодом, сохраняется. Ввиду того что временной код (ВК) для изображения и звука одинаков, синхронность на большей части программы сохраняется. При озвучивании добавляются сведения смонтированных участков. Хотя аппаратная работает по ВК, для уточнения временного положения стыков межкадровый интервал можно дополнительно делить на ряд более мелких интервалов. Для лучшей оценки качества совмещение звука и изображения в состав аппаратной можно ввести проекционный телевизор с большим размером экрана.

Универсальный пульт электронного монтажа с наращиваемой структурой «Агат-2» предназначен для управления ВМ и электронным коммутатором линий в аппаратных видеозаписи, передвижных ПТВС и корпунктах, ЭВМ дистанционно управляет 3—8 ВМ по ВК, позволяет размечать до 500 монтажных событий. В системе предусмотрены вывод монтажных точек склеек для записи на магнитный диск или кассету с магнитной лентой, управление микшером, устройствами видеогрaфики, коммутатором и т. д. В зависимости от числа управляемых ВМ программы, вводимые в ЭВМ, могут меняться. Они записываются на сменных гибких магнитных дисках. Так как все команды передаются по шине данных и интерфейсу, соответствующему международному протоколу обмена командами (ОИРТ, Рек. 126), систему можно наращивать. При этом способ передачи команд и структура программ будет сохраняться.

В связи с широким применением на телецентрах профессиональных кассетных ВМ форматов Betacam SP, M11, YHS и Super YHS для них выпускают монтажные аппаратные двух типов для работы: с полным (компонентным) сигналом и с компонентными сигналами Y, R—Y и B—Y. Монтажные аппаратные формата Super YHS в основном не отличаются от аппаратных формата С. Обычно пульта функционально значительно упрощают и делают переносными. Монтажные аппаратные для ВМ форматов Betacam SP и M11 значительно сложнее, так как требуют специальных компонентных микшеров, коммутаторов и устройств спецэффектов. Однако применение компонентных сигналов позволяет увеличивать число перезаписей до 5—7 раз и поднимать качество смонтированных программ, так как компонентные микшеры не понижают четкость изображения.

### 3.3. Внестудийные средства телевизионного вещания

**3.3.1. Определения.** Внестудийные средства ТВ вещания служат для формирования ТВ программ или их фрагментов на местах событий путем записи или прямой передачи на телецентр. Различают два класса внестудийных средств ТВ вещания — стационарные и передвижные.

К *стационарным трансляционным пунктам* (СТТП) относят аппаратные, сооруженные в местах событий, откуда заведомо часто осуществляются ТВ трансляции — стадионы, театры и т. д. *Полустационарные трансляционные пункты* (ПСТТП) предназначены для подключения передвижных ТВ станций к электро-, телефонной и кабельной сетям объектов. В ПСТТП входят средства контроля, электросчетчики и другое вспомогательное оборудование. По действующим правилам ПСТТП должны быть предусмотрены при проектировании театров, спортивных сооружений и т. п.

К передвижным ТВ средствам относят: *передвиж-*

ные ТВ станции (ПТС), репортажные ТВ станции (РТС), ТВ журналистские комплексы (ТЖК).

Передвижные станции предназначены для трансляций с места: РТС — в движении, ТЖК — для съемки с рук. В данных определениях велика степень условности: РТС могут вести трансляцию с места, а ТЖК использоваться не только для журналистики. Передвижные ТВ станции бывают большие, малые и «сверхбольшие». До сих пор в эксплуатации находятся передвижные видеозаписывающие станции (ПТВС) и видеомagneтофонные станции (ПВС). Поскольку благодаря успехам микроминиатюризации, каждая ПТС может оснащаться двумя или более ВМ, ПТВС и ПВС перестали разрабатывать и выпускать.

### 3.3.2. Передвижные ТВС

1. Транспортные средства. Аппаратуру ПТС монтируют в специальных автомобилях, выполненных, как правило, на шасси серийных автобусов или грузовиков (ЛИАЗ, КамАЗ, ПАЗ и др.) и имеющих габариты: 4...6 м — для малых, 9...11 м — для больших, 11...15 м — для сверхбольших ПТС.

В отечественных телецентрах используют ПТС, выполненные на основном и вспомогательном спецавтомобилях, причем в кузове основного монтируют всю необходимую для проведения передач аппаратуру (стойки, стеллажи и т. п.). В багажных отсеках устанавливают стабилизаторы электросети, разделительные трансформаторы, щиты внешних соединений и др. Там же размещают силовые и часть камерных кабелей, что позволяет «разворачивать» ПТС (готовить ее к передаче), не дожидаясь подхода вспомогательного спецавтомобиля. В последнем перевозят вспомогательное и выносное оборудование ПТС, выносные мониторы, пульта комментаторов, штативы, барабаны с кабелями, там же находится рабочее место для ремонта аппаратуры и сидения для перевозки персонала ПТС. Спецавтомобили, как правило, имеют двери по числу отсеков, расположенные справа по ходу и сзади. Кондиционеры установлены на крыше или в багажных отсеках. Крыши спецавтомобилей изготавливают так, чтобы на них можно было разместить две ТВ камеры с операторами или антенны радиорелейной линии. Для подъема тяжелого оборудования на крышу имеется лебедка. Ходовые части и двигатели основного и вспомогательного спецавтомобилей желательно иметь однотипными.

2. Технологические и творческие возможности ПТС. Возможности ПТС определяются составом оборудования. Большая ПТС по технологическим и творческим возможностям мало отличается от стационарных аппаратур телецентров (АПБ, АСБ), а в некоторых отношениях даже превосходит их. Она содержит 4—5 ТВ камер, стационарных или переносных, в произвольном сочетании. К камерам ПТС предъявляют более жесткие требования, чем к камерам ТВ студий, так как работают они под открытым небом.

Вариообъективы должны иметь большую кратность фокусных расстояний (обычно 35—42), так как приходится вести трансляцию и из небольших помещений и с открытых пространств. Некоторые передачи требуют удаления камер от спецавтомобиля на большие расстояния (демонстрации, парады, марафонский бег, гребные соревнования и т. д.). Поэтому для связи с камерами используют триаксальные кабели длиной до 1,5 км. В ближайшее время будут использовать волоконно-оптические линии связи длиной до 5 км.

При работе ТВ камеры устанавливают на штатив-треноги (например, МСЗ-4), снабженные подвижной каталкой и устройством закрепления камеры у земли (штатив «лягушка»). В больших ПТС число источников программы 12—16, в малых 4—8. Источниками программы могут быть сигналы, поступающие как от ТВ камер, так и от внешних устройств (совместно работающих ПТС, РТС, аппаратуры повтора событий (АПС), видеогенераторов табло и хронометров на спортобъектах, внешних ВМ). Эти сигналы с по-

мощью программного коммутатора режиссер передает на вход микшера, после обработки в котором они поступают на выход ПТС.

Для больших ПТС используют двух- и трехступенчатые микшеры, несколько генераторов цветного фона, два блока электронной рир-проекции, один-два блока титров, блоки спецэффектов, электронные секундомеры, генераторы сигналов указок и знаков «повторов», знакогенератор, а также цифровые устройства: блоки видеоэффектов, накопители неподвижных изображений, кадровые синхронизаторы. Для малых ПТС используют одноступенчатый микшер с небольшим набором спецэффектов, со знакогенератором, блоком титров, генератором цветного фона и указок.

Видеотракт ПТС обычно резервируют, для чего вводят «аварийный обход», т. е. независимый тракт набора сигналов с независимыми источниками питания и органами управления. При прямых передачах с записью программы на телецентре сформированная в ПТС программа передается по РРЛ. Программу можно записать и непосредственно в ПТС, для чего в состав оборудования включают один или два ВМ наклонно-строчной записи (например, «Кадр-103А»).

Ранее в ПТС располагали либо ВМ студийного класса («Кадр-3ПМ»), либо радиорелейные линии (основную и резервную). В зависимости от этого станцию называли ПТВС или ПТС соответственно. Сейчас размещают и ВМ, и радиорелейные линии (такие станции называют ПТС).

Отечественная промышленность выпускала цветные ПТС «Лотос» (II поколения), «Магнолия», «Магнолия-80», «Магнолия-83» (III поколения) и ПТВС-2ЦТ (II поколения), ПТВС-3ЦТ и «Этюж» (III поколения). Для записи программы на месте событий рядом с ПТС размещали видеомagneтофонную станцию (ПВС) с аппаратом «Кадр-3ПМ», смонтированную в спецавтомобиле. На базе двух видеомagneтофонов «Кадр-3ПМ» отечественная промышленность выпускала также передвижные видеомagneтофонные аппараты (ПВМА), имеющие систему электронного монтажа. Электронный монтаж может осуществляться и большой ПТС.

3. Система электропитания. Аппаратура ПТС питается либо от сети 380/220 В, либо от автономного агрегата питания. Иногда агрегаты питания включают в состав ПТС и встраивают их в спецавтомобили. Наличие автономных агрегатов питания позволяет организовывать работу ПТС в любом месте, что особенно важно для малых ПТС. При встраивании таких агрегатов в ПТС должны быть приняты меры для подавления шумов и вибраций. Для этого агрегаты размещают в отсеках ПТС на основаниях, конструктивно не связанных с основанием электронного оборудования, либо на прицепах.

К сети переменного тока ПТС подключают двумя фидерами — основным и резервным, причем для перехода с одной сети на другую имеется ручная переключатель. Для основного оборудования применяют стабилизаторы напряжения, для вспомогательного — разделительный трансформатор. В последних моделях ПТС электронную часть стабилизаторов резервируют.

Энергопотребление основного оборудования больших ПТС достигает 10 кВ·А, общее — 25 кВ·А, а у малых ПТС — 2...15 кВ·А.

4. Система синхронизации ПТС такая же, как в аппаратных телецентрах (АПБ, АСБ). В нее включены основной и резервный синхрогенераторы и устройства для распределения сигналов. Для фазирования используют блоки задержки. Во избежание набора несинхронных сигналов на микшер применяют фазокомпараторы. Система должна обеспечивать ведение совместно работающих средств (других ПТС, РТС, видеогенераторов табло и хронометров, АПС или ВМ вне ПТС), а также синфазность собственного сигнала, поступающего на вход АЦ телецентра с местными сигналами АЦ. Отечественные ПТС снабжены генерато-

рами сигналов ССЦ-2, содержащих информацию о фазе полей, строк и цвета. С помощью этих сигналов можно вести 2—3 источника. Иногда для ведения источников используют сигнал ПЦТВ, для ведения титровых источников — сигнал ССП.

Источники сигналов, удаленные от ПТС на значительные расстояния, ведутся с помощью системы внешней синхронизации (например, блоков ОМ-46 и ОМ-47), которая формирует и передает кодированный сигнал фазовой ошибки по узкополосному (телефонному) каналу связи. Точно так же сама ПТС ведется сигналом телецентра, для чего используют арендованный на время передачи телефонный канал городской или междугородней связи. До недавнего времени задача синхронизации и фазирования сигналов, поступающих от средств, работающих в движении, была неразрешима. Теперь она решается с помощью цифровых кадровых синхронизаторов, которые вводятся в состав ПТС, вытесняя все другие способы внешней синхронизации.

5. Система управления и сигнализации. Видеоотраком ПТС управляют с пультом видеорежиссера и видеоинженера, причем в малых ПТС они часто совмещены. На пульте видеорежиссера (он трех-четырехместный) размещают органы управления набором в программу, предварительным набором сигналов на микшер, микшированием, введением спецэффектов, титров, электронной рир-проекции и т. д.

С пульта видеоинженера производится набор сигналов на контрольные мониторы и осциллограф, ведущих сигналов — на систему внешней синхронизации, дистанционное управление камерами и т. п. Предусмотрена световая сигнализация о наборе любых сигналов в программу: на пультах видеорежиссера и видеоинженера, на мониторах, размещенных в стеллажах, на камерах, как собственных, так и совместно работающих ПТС. Управление осуществляется с помощью системы кодов.

6. Система контроля. Эта система предназначена для получения персоналом ПТС объективной оперативной информации о функционировании комплекса и его устройств. Для этого в состав ПТС вводят цветные и черно-белые мониторы (общим числом до 25), ТВ осциллографы (например, С1-81), секамоскоп, генераторы испытательных сигналов и т. п. С места видеорежиссера контролируют сигналы источников (собственных и внешних), сигналы, набираемые в программу, и готовые программы. В малых ПТС видеорежиссер и видеоинженер контролируют изображение с помощью одних и тех же мониторов, число которых 3—8. При подготовке к передаче или проведении профилактических работ с помощью осциллографа и испытательных сигналов видеоинженер проверяет АЧХ тракта, переходную и импульсную характеристики, равномерность плоской части импульсов строк и полей, нелинейные искажения, диффузление и другие параметры тракта, а с помощью секамоскопа — уровневые и частотные параметры ТВ сигнала программы и кодирующих устройств.

С помощью монитора и осциллографа проверяют параметры камер и камерных каналов (используя сигналы градиционного клина и испытательной таблицы). Во время передачи и в ходе подготовки к ней контролируют размах видеосигналов, баланс, уровень черного, управляют диафрагмой. Для проверки качества сигнала, а значит и тракта от выхода камерного канала ПТС до входа АЦ телецентра, используют сигналы испытательных строк от генератора Г6-35 или аналогичного. Они замешиваются в 17, 18, 330 и 331-й строках в кодирующих устройствах. Для проверки отношения сигнал-шум (ОСШ), растровых искажений, точности совмещения растров в камерах в состав ПТС вводят переносные приборы.

7. Звуковое оборудование и служебная связь. Для формирования сигнала звукового сопровождения в составе ПТС имеется пульт звуко-

режиссера, контрольные акустические агрегаты, магнитофоны, микрофоны, микрофонные кабели, микрофонные штативы и вспомогательное оборудование. Пульт звукоорежиссера содержит микрофонные и групповые кассеты, обеспечивающие усиление и регулировку уровня входных сигналов и сигналов на программных выходах, а также коммутаторы набора источников на вход групповой (выходной) кассеты, источники питания, звуковой испытательный генератор. Пульт звукоорежиссера большой ПТС имеет 16—24 входа и формирует по две основные и резервные программы моно или по одной стерео. Пульт звукоорежиссера малых ПТС имеет 8—12 входов. На всех кассетах пульта расположены индикаторы уровней, во всех отсеках ПТС установлены акустические контрольные агрегаты. Имеется 1—2 магнитофона, выносные акустические агрегаты мощностью примерно 50 Вт, выносные пульта комментаторов, комплект микрофонов и радиомикрофонов. В больших ПТС звуковое оборудование размещают в отдельных отсеках. Отсек располагают так, чтобы звукоорежиссер со своего рабочего места видел через специальное окно мониторы в стеллаже видеорежиссера. В малых ПТС пульта видео- и звукоорежиссера либо совмещены, либо установлены в общем отсеке.

Система служебной связи ПТС должна обеспечивать громкоговорящую связь: между всеми отсеками ПТС; между операторами камер, видеорежиссером и инженером (у операторов, естественно, микротелефонная гарнитура); с центральной аппаратной телецентра, а также подачу команды на сценическую площадку, связь звукоорежиссера с микрофонными операторами, телефонную связь с совместно работающими средствами (система МБ) и выход через аппарат центральной батареи (ЦБ) в местную или общегородскую сеть АТС.

Ручной или электронный коммутаторы обеспечивают набор нескольких абонентов на каждый аппарат местной батареи (МБ) имеющийся во всех отсеках ПТС.

В ПТС имеется радиостанция (например, «Гранит»), питающаяся от аккумулятора спецавтомобиля, что позволяет устанавливать прямую оперативную связь с телецентром до подачи на ПТС электроэнергии. С ее помощью юстируют антенны, а в отсутствие других видов связи проводят оперативные переговоры.

8. Микшерно-коммутационный тракт. В ПТС системы СЕКАМ III поколения используют одно- и двухсигнальные схемы построения микшерно-коммутационного тракта. В ПТС II поколения «Лотос», имевшей четырехтрубные камеры, был четырехсигнальный микшерно-коммутационный тракт и только на выходе ПТС формировался сигнал СЕКАМ. Такая система микширует сигналы без потери четкости, но она возможна только при числе внешних программ не более одной — двух. По мере возрастания функциональных возможностей ПТС, их микшерно-линейный тракт становится одноканальным (ПТС III поколения «Магнолия» и «Магнолия-80»). Внешние и внутренние источники такого тракта имеют на выходе сигналы СЕКАМ. Число внешних входов ПТС достигает 9, поле программного коммутатора  $16 \times 11$ . Сигналы СЕКАМ нельзя микшировать, поэтому на входе микшера установлены декодирующие устройства, и вся дальнейшая обработка (плавная смена изображений, спецэффекты, рирпроекция) осуществляется сигналами  $E_{\gamma}$ ,  $E_{\text{DR}}/E_{\text{DB}}$ , с последующим их кодированием в сигналы СЕКАМ. При этом полоса частот сигнала яркости ограничивается до 3,5 МГц, из-за чего снижается четкость изображения.

Благодаря наличию тракта обхода микшера прямая коммутация происходит без потери четкости. Сигналы микшера и тракта прямой коммутации фазированы с помощью блоков задержек. На выходе тракта в сигналах источников регенерируют ССП.

В ПТС «Магнолия», «Магнолия-80» осуществляется

одноступенчатое микширование, вводятся спецэффекты, рир-проекция, титры от внешних источников или от собственных камер или синтезатора знаков, указок или электронных часов. Для резервирования микшерно-коммутационного тракта в состав ПТС вводят тракт аварийного обхода с независимым коммутатором и органами управления. Для набора источников на внешние ВМ ПТС «Магнолия-80» имеет два дополнительных тракта (Программа-2 и Программа-3), выполненные так же, как и тракт прямой коммутации. На дополнительные тракты набирают сигналы основной программы ПТС с выхода микшера и от источников.

Стремление сохранить четкость изображения после микширования привело к применению в ПТС двухсигнальной (точнее, комбинированной) схемы. Так построен, например, микшерно-коммутационный тракт ПТС III поколения «Магнолия-83» (рис. 3.3.1). Сигналы

коммутатор аварийного обхода, обеспечивающий набор в программу сигналов источников при выходе из строя основного тракта. В ПТС «Магнолия-83» имеется ручной коммутатор, что существенно повышает удобство эксплуатации. Контакты соединителей ручного коммутатора обозначены на рис. 3.3.1 кружками. Микшерно-коммутационные тракты малых ПТС работают по тем же принципам, но имеют меньшие функциональные возможности. Их микшер одноступенчатый, объем программного коммутатора меньше, отсутствуют сложные и дорогие устройства ЭРП, упрощен блок спецэффектов.

Дальнейшее развитие микроэлектроники приведет к применению компонентных аналоговых и цифровых систем, обеспечивающих сохранение исходного качества изображения в любом случае.

### 3.3.3. Репортажные ТВС

#### 1. Транспортные средства. Аппаратуру

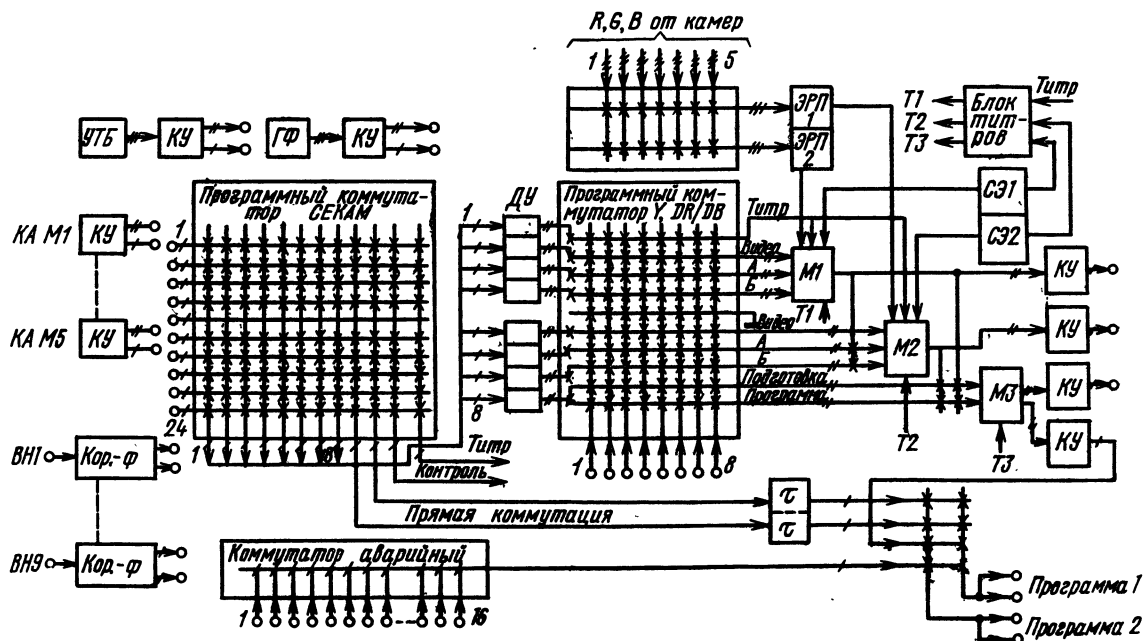


Рис. 3.3.1. Структурная схема микшерно-коммутационного тракта ПТС «Магнолия-83»: УТБ — знакгенератор, ГФ — генератор цветного фона, Кор.-Ф — корректор-фазокомпаратор, т — линия задержки сигнал СЕКАМ, сигналы Y, DR/DV, сигналы R, G, B)

внутренних источников микшируют по компонентам  $E_Y$ ,  $E_{DR}/E_{DV}$ , а в режиме прямой коммутации — по сигналам СЕКАМ. Один программный коммутатор подключает сигналы СЕКАМ, другой —  $E_Y$ ,  $E_{DR}/E_{DV}$ . На выходах внутренних источников программы КА М1 — КА М5 присутствуют и те, и другие сигналы, формируемые кодерами КУ. Сигналы внешних источников ВН1—ВН9 набираются на микшер после декодеров (ДУ) 1—8, установленных перед программным коммутатором. Микшеры тракта выполнены на основе устройств микшер — спецэффект (М-СЭ), объединяющих функции микшера и коммутатора спецэффектов.

В первой и второй ступенях М1 и М2 можно вводить сигналы титров, осуществлять спецэффекты, рир-проекцию и микширование сигналов. Сигналы «титр» и «видео» на входах микшеров предназначены для использования в качестве сигналов переднего плана (заполнение черно-белого или цветного «ключей»). Сигналы А—Б используют в качестве сигналов заднего плана. Последняя ступень тракта (М3) выполнена по принципу «подготовка — программа», позволяющему подготавливать сложное комбинированное изображение с последующим вводом его в программу простым микшированием. На выходах микшера установлены кодирующие устройства СЕКАМ (КУ). Тракт содержит

ПТС монтируют в малогабаритных спецавтомобилях высокой проходимости, имеющих на крыше люк для работы оператора с камерой, а иногда и откидную платформу. Обязательное требование к РТС — наличие встроенного источника питания, работающего от двигателя автомобиля или агрегата питания на прицепе. Когда недопустимо наличие выхлопных газов (показ бега, спортивной ходьбы и т. д.), РТС расположена в электромобилях.

В салоне спецавтомобиля предусмотрены рабочие места режиссера и инженера, а если нужно, то коммутатора и оператора. Длина спецавтомобиля 3...4 м.

2. Технологические возможности РТС. Обычно РТС содержит 1—3 ТВ камеры, одна или два ВМ, простейший микшерный тракт. Вместо одного из ВМ можно устанавливать радиоприемник. Внешних входов у РТС нет. Микшерный тракт выполняют по одноили двухсигнальной схеме; программный коммутатор представляет собой матрицу объемом примерно  $4 \times 4$ , одноступенчатый микшер ведет монтаж наплывом и одним — двумя спецэффектами типа «шторок». Укомплектовывается РТС ручным коммутатором видеосигналов, позволяющим подключать камеры к ВМ в обход микшерного тракта.

В РТС можно применять камеры двух типов — пор-



тативную в моноблочном исполнении и разделенную на камерную головку и блок канала, устанавливаемый в салоне. Содержит РТС также простой звуковой тракт на 3—5 микрофонных входов, компактные акустические агрегаты. Служебная связь обеспечивает переговоры операторов камер и комментаторов с персоналом, размещенным в салоне спецавтомобиля.

2. Система синхронизации, управления и контроля. Система синхронизации РТС включает два синхрогенератора — основной и резервный и должна обеспечивать ведомый режим при совместной работе с другими внестудийными средствами. При работе в движении синхронизация и фазирование сигналов РТС осуществляются с помощью кадровых синхронизаторов, установленных в месте приема. Камерами, видео- и звуковыми трактами управляют с совмещенного пульта видеорежиссера и инженера, причем видеорежиссер выполняет функции и звуорежиссера. Видеомагнитофонами управляют с того же пульта или непосредственно с лицевых панелей аппаратов. В систему контроля РТС включены осциллограф, секамоскоп, малогабаритные цветные мониторы на трубах 23...25 см.

### 3.3.4. Средства телевизионной журналистики (видеожурналистики)

1. Переносная аппаратура. Первое поколение аппаратуры тележурналистских комплексов (ТЖК) использовало трехтрубчатые переносные ТВ камеры массой 10...12 кг и переносные записывающие ВМ массой до 15 кг, питающиеся от аккумуляторов. Быстрое развитие микроэлектроники привело к резкому снижению массы и габаритов аппаратуры: масса ТВ камер 4,5 кг, а записывающих ВМ — 3,5 кг. Это позволило конструктивно объединить ТВ камеру и ВМ. Масса такого аналога кинокамеры — моноблока с аккумулятором и микрофоном — примерно 11 кг.

Аппаратура ТЖК состоит из переносной и стационарной частей. В переносную часть входит носимый моноблок (камера — ВМ, переносной ВМ для контрольного воспроизведения и ЦВКУ, а также комплект микрофонов). Каждое из этих устройств питается от собственных аккумуляторов, для заряда которых предусмотрено специальное устройство. Компонентные сигналы Y, R—Y, B—Y с камеры ТЖК записывают на ВМ. Использование этих сигналов в ТЖК позволило устранить многие недостатки, присущие композитным ТВ сигналам. Камерой и ВМ управляет оператор. Предусмотрен ряд автоматических регулировок — баланс белого, чёрного, сведение и т. п. Камера комплектуется 10—15-кратным объективом, малогабаритным видискателем (например, на трубке 4ЛК) и остроуправленным микрофоном. У портативного ВМ сменные кассеты. Время записи около 20 мин. Время работы моноблока с одной аккумуляторной батареей 45 мин. Портативный ВМ обеспечивает запись яркостного сигнала в полосе 4...6 МГц, цветоразностных сигналов в полосе 1,5 МГц и двух сигналов звукового сопровождения. Все устройства, входящие в переносную часть ТЖК, укомплектованы чехлами и чемоданами для транспортирования. Записанные с помощью переносной части ТЖК кассеты передают на телецентр для монтажа и воспроизведения.

2. Форматы записи в современной аппаратуре ТЖК. В аппаратуре ТЖК 1-го поколения использовали переносные ВМ форматов В, С и U-matic (см. п. 3.9). В малоформатных ТЖК 2-го поколения используют небольшие видеокассеты с магнитной лентой 12,7 или 6,25 мм. Применяют три несовместимых формата записи Betacam, M и Liperlex.

В широкополосном канале U-matic применен метод записи, по которому после частотной модуляции сигнала яркости спектр сигнала цветности переносится в область низких частот. В этом формате ТВ сигнал записывают с помощью двух вращающихся видеоголовок, каждая из которых рассчитана на полное поле

изображения. Два сигнала звукового сопровождения и сигнал адресно-временного кода записывают на продольных дорожках ленты, специальная дорожка отведена для канала управления.

В аппаратуре ТЖК 2-го поколения принят компонентный способ записи, сигналы записывают по методу частотной модуляции параллельно в двух каналах: в одном — сигнал E<sub>Y</sub>, в другом — сигналы R—Y, B—Y. Нужно обеспечить полное использование полосы частот каждого канала, т. е. каналы должны иметь одинаковую информационную емкость. Для этого их следует уплотнить. В форматах Betacam и Liperlex сигналы уплотнены по времени, при этом в формате Betacam подвергают временному сжатию цветоразностные сигналы, а в формате Liperlex — все три сигнала. Формат Betacam обеспечивает запись такой же дополнительной информации, как и формат U-matic. Полоса частот канала яркости данного формата примерно 4 МГц, цветности 1,5 МГц, звукового сопровождения 50...15 000 Гц. Формат Liperlex (ФРГ) используют в комплексе ТЖК Quatercam. Здесь сигнал яркости растянут во времени в 1,5 раза, а сигналы цветности сжаты в 2 раза, так что шесть исходных строк сигнала яркости занимают девять строк, а сигналов цветности три строки. Эти 12 строк записывают на двух дорожках по шесть строк в каждой. При этом полоса частот записанного сигнала 2,4 МГц, а полосы частот сигналов, восстановленных при воспроизведении, 3,6 МГц для яркости и 1,2 МГц для цветности.

Формат М (японские и американские фирмы) основан на методе двойной частотно-модулированной записи цветоразностных сигналов, в котором в пределах одной дорожки цветности записывают цветоразностные сигналы на двух ЧМ поднесущих. Полоса частот яркостного сигнала 3,6 МГц, сигналов цветности 1 МГц. Полоса частот каналов звукового сопровождения и способ записи дополнительной информации те же, что и в формате Betacam. Сигнал адресно-временного кода (ABK), записываемый во всех форматах, обеспечивает автоматизированный электронный монтаж видеофонограмм в студийных условиях.

3. Стационарная аппаратура ТЖК. Стационарная часть ТЖК обеспечивает электронный монтаж и воспроизведение видеофонограмм; она содержит три стационарных ВМ, три видеопросмотровых устройства и аппаратуру электронного монтажа. Питание аппаратуры — от сети 220 В частоты 50 Гц. Стационарные ВМ содержат встроенный КВИ с компенсатором выпадений, имеют дистанционное управление от аппаратуры электронного монтажа и формируют на выходе как компонентные сигналы Y, R—Y, B—Y, так и сигналы СЕКАМ.

Аппаратура электронного монтажа состоит из видео- и звукового коммутатора и пульта электронного монтажа. Пульт выполнен на основе МП и обеспечивает монтаж видеофонограмм в режимах «продолжение» и «вставка». Число монтажных операций («склеек») достигает 128. Аппаратура электронного монтажа обеспечивает либо комплексный монтаж видеофонограмм, либо раздельный (по выбору оператора) монтаж видео и звука. Процесс монтажа обеспечивает перезапись видеофонограмм с двух ВМ на третий в указанных режимах. После подготовки отдельных «склеек», просмотра всего смонтированного материала и внесения необходимых корректив видеофонограммы перезаписывают. Записанный сюжет используют в качестве фрагмента передачи.

## 3.4. Системы синхронизации

3.4.1. Основные определения. Синхронизация — это временное согласование процессов анализа и синтеза ТВ изображений, т. е. установление и поддержание одинакового координатного положения соответственных



элементов изображения на растрах датчика и приемника. Система ТВ синхронизации — совокупность технических средств, обеспечивающих синхронность и синфазность этих процессов. Синхронизация осуществляется с помощью импульсов и сигналов синхронизации. В вещательном ТВ используют следующие импульсы и сигналы: основные синхронизирующие импульсы частоты строк (С) и частоты полей (П), сигнал синхронизации приемников (ССП) и дополнительные — сигнал гашения передающей трубки, сигнал гашения приемной трубки (Г), импульсы фиксации, импульсы коммутации цвета ( $F_c/2$ ), сигнал централизованной синхронизации (ССЦ) и др. Параметры сигналов Г и ССП должны соответствовать ГОСТ 7845—79.

Сигнал синхронизации приемников (см. рис. 1.7.1) состоит из трех компонентов: синхрои́мпульсов строк и полей и уравнивающих импульсов. Синхрои́мпульсы полей образуют последовательность из пяти импульсов общей длительностью 2,5 Н (Н — период строки); интервалы между соседними импульсами, называемые *врезками*, введены для сохранения синхронизации по строкам в зоне синхрои́мпульсов полей. В большинстве телевизоров для селекции синхрои́мпульсов полей используют интегрирующие схемы; наличие в ССП двух групп уравнивающих импульсов обеспечивает одинаковые начальные условия интегрирования синхрои́мпульсов четного и нечетного полей и, следовательно, сохранение четкости по вертикали.

### 3.4.2. Синхронизация АСБ, АПБ, ПТС

1. Система синхронизации аналоговых АСБ и АПБ. В состав системы синхронизации аппаратной входят синхрокомплект (СК), синхрогенераторы датчиков ТВ сигнала (ГСд), устройства фазирования импульсов и кабельная распределительная сеть. Единую скорость и начальную фазу работы задает основной синхрогенератор (ГС) синхрокомплекта, формирующий опорную частоту и всю номенклатуру основных сигналов синхронизации. Дополнительные сигналы, необходимые для работы датчиков, формирует ГСд. В АСБ (АПБ) используется многозвенная параллельно-последовательная система синхронизации датчиков и приемников. Датчики ТВ сигналов в реальных условиях удалены от СК и микшера (М) на разные расстояния. Для обеспечения синхронности и

синфазности их ТВ сигналов на входах М каждый из датчиков работает от собственного ведомого ГСд, а все ГСд ведутся от СК сигналами ССП и  $F_c/2$ , содержащими информацию о частоте и начальной фазе строчных, полевых и цветовых компонентов.

Синфазность ТВ сигналов на входах микшера, точнее, в точке формирования комбинированного изображения достигается ручной установкой фазы в ГСд. Для синхронизации устройств, не влияющих прямо на процесс синтеза комбинированного изображения, осуществляется распределение импульсов С, П, Г, ССП по кабельным линиям от СК до потребителя. К таким устройствам относятся блоки управления, контроля, измерений и т. п.

Существуют системы синхронизации аппаратных с распределением к каждому датчику или приемнику по одной линии связи комбинированного сигнала синхронизации. Этот сигнал формируют линейным сложением или кодированием группы основных синхросигналов (ССП, С, П,  $F_c/2$ , Г) в одну последовательность. Такие системы позволяют сокращать число кабелей и соединителей в линиях синхронизации аппаратных, однако они не нашли широкого применения при внутриаппаратном распределении по следующим причинам: требуются специальные кодирующие устройства на выходах СК и декодирующие — на входе каждого потребителя; усложняются устройства задержки; в датчиках ТВ сигналов отсутствуют ведомые ГСд или аналогичные им формователи синхрои́мпульсов; в мире не принят единый стандарт кодирования комбинированного синхросигнала.

Исходя из требований унификации в отечественной аппаратуре телецентров III поколения использован один и тот же синхрокомплект для АСБ, АПБ, АЦ, ТКА, АВЗ и с небольшими отличиями для ПТС и ПТВС. Состав синхрокомплекта ПБ-134 (рис. 3.4.1): два синхрогенератора ГС-147-1 (ГС-1, ГС-2), блок коммутации ПБ-198 (БК), пять усилителей-распределителей импульсов ПБ-197 (УРИ1—УРИ5), а также два блока питания БП-8496.

Синхрогенератор ГС-147-1 имеет три режима работы: *автономный* с относительной нестабильностью частоты строк не более  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ ; *ведомый* от ПТВС положительной полярности размахом  $(1 \pm 0,3)$  В на

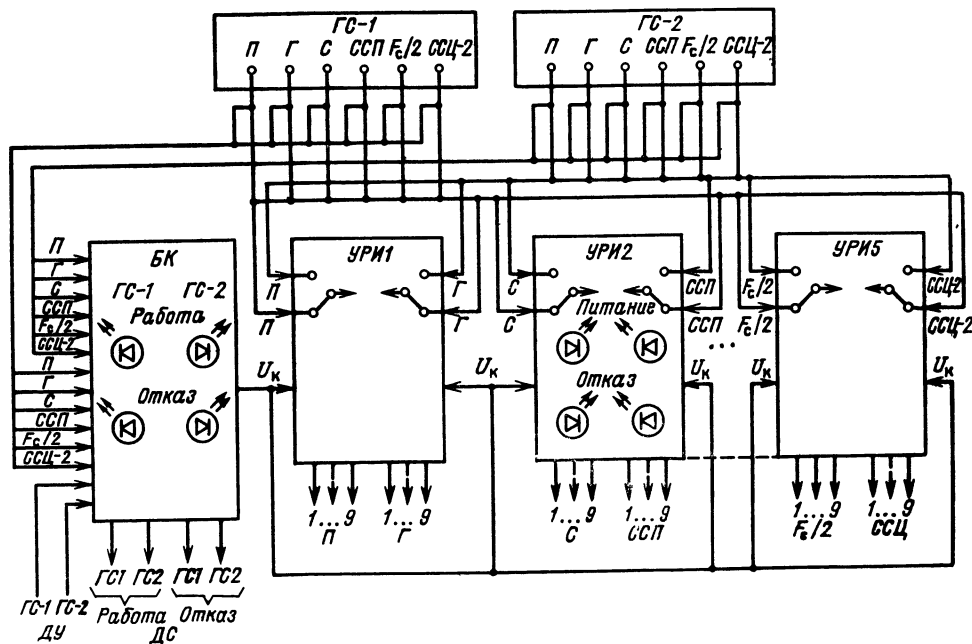


Рис. 3.4.1. Структура и состав синхрокомплекта ПБ-134 (ДУ, ДС — дистанционное управление, сигнализация)

нагрузке 75 Ом: централизованной синхронизации от ССП-2 отрицательной полярности размахом ( $2,5 \pm 0,5$ ) В на нагрузке 75 Ом (описание сигнала ССП-2 см. в п. 3.4.3). Во всех режимах синхрогенератор формирует сигналы ССП, С, П, Г,  $F_c/2$ , ССП-2 положительной полярности размахом ( $2,5 \pm 0,5$ ) В на нагрузке 75 Ом. Выходные сигналы обоих синхрогенераторов поступают на входы БК и УРИ. Блок БК анализирует отказы синхрогенераторов и переключает работу с основного ГС на резервный; БК формирует напряжение переключения  $U_k$ , которое коммутирует входные цепи УРИ, обеспечивая прохождение на выходы синхрокомплекта сигналов, включенного в работу синхροгенератора. Генераторы ГС-1—ГС-2 переключаются при местном (с лицевой панели БК) и дистанционном (с пульта видеинженера) управлении; переключение сопровождается световой индикацией наличия отказа и включения в работу одного из двух синхροгенераторов. Каждый блок УРИ распределяет на выходы синхрокомплекта два вида импульсов по девять выходов каждого и имеет световую индикацию наличия входных и выходных сигналов и напряжений питания. В синхрокомплект входит также по одному блоку холодного резерва УРИ и БП-8496. Конструктивно синхрокомплект представляет единую конструкцию из двух жестко связанных корзин унифицированной базовой конструкции с общей откидывающейся задней панелью, на которой размещаются все исходные и выходные соединители.

2. Система синхронизации цифровых АСБ. Цифровые АСБ (ЦАСБ) содержат устройства как аналоговой, так и цифровой обработки. Основные принципы построения системы синхронизации, описанные для аналоговой аппаратуры, здесь сохраняются, но имеют ряд особенностей. Главная из них в том, что помимо синхронизации по строкам и полям требуется обеспечить синхронизацию по элементам изображения, точнее—по тактам, составляющим  $1/2$  или  $1/4$  часть элемента.

С учетом небольших расстояний между источником и потребителем цифрового сигнала внутри аппаратных обычно используют параллельный видеостык, в котором 8-разрядные параллельные кодовые слова яркостного и цветоразностного сигналов передаются путем временного уплотнения по восьми парам в последовательности  $S_v, Y, C_v, Y, C_v, Y, C_v, Y, \dots$  Цифровой ТВ сигнал при этом представляет последовательность символов, образующих 8-разрядное слово.

Для определения временного положения символа, а также начала, конца и порядка кодовых комбинаций осуществляются соответственно тактовая и цикловая синхронизации. Под *цикловой синхронизацией* здесь понимаются правильные передача и прием информации в пределах цифровой строки и цифрового поля. *Тактовая синхронизация* осуществляется передачей по параллельной девятой паре непрерывной последовательности импульсов тактовой частоты 27 МГц. Такой способ передачи позволяет получать при приеме высокую точность восстановления малую динамическую фазовую ошибку, уменьшение времени вхождения в синхронизм. Цикловая синхронизация требует формирования и передачи в цифровом потоке видеоданных специального сигнала цифровой синхронизации (СЦС). Он включает кодовые слова 0 и 255 (00 и FF в шестнадцатеричном исчислении), запрещенные для видеоданных, что позволяет использовать их для цикловой синхронизации.

Цифровые синхросигналы, соответствующие Рек. 656 (МККР), имеют структуру FF 00 00 XV. Первые три слова—FF 00 00—образуют постоянную преамбулу, четвертое слово—XV—содержит дополнительную информацию о принадлежности данного СЦС к началу (НАС) или концу (КАС) активной цифровой части строки (Н), к первому или второму полю кадра

Таблица 3.4.1. Структура сигнала цифровой синхронизации

Слово	Номер разрядов (бит)							
	7 (старший)	6	5	4	3	2	1	0
Первое	1	1	1	1	1	1	1	1
Второе	0	0	0	0	0	0	0	0
Третье	0	0	0	0	0	0	0	0
Четвертое	1	F	V	H	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>

Примечание: F=0 в 1-м поле F=1 во 2-м поле, V=1 в половом гасящем, V=0 в активной части поля, H=0 в сигнале НАС, H=1 в сигнале КАС.

(F), а также содержит четыре бита защиты от ошибок P (табл. 3.4.1).

Для синхронизации ЦАСБ помимо аналоговых синхросигналов ССП, С, П,  $F_c/2$  необходимо формировать и распределять цифровые: ИТ—импульсы тактовой частоты 27 МГц; ИЯ—импульсы дискретизации яркостного сигнала частоты 13,5 МГц; ИЦ—импульсы дискретизации цветоразностных сигналов частоты 6,75 МГц; СГЦ—цифровые строчные гасящие импульсы; ПГЦ—цифровые полевые гасящие импульсы; ГЦ—цифровая смесь гасящих импульсов; КЦ—цифровые кадровые импульсы; СЦС—сигнал цифровой синхронизации.

Временные параметры сигналов ИТ, ИЯ, ИЦ, СГЦ, ПГЦ, СЦС и их расположение между собой и относительно ССП определяются Рек. 656 (МККР).

Организация параллельного видеостыка в ЦАСБ предъявляет жесткие требования к фазовой нестабильности ИТ (не более 3 нс), несимметрии полупериодов ИТ (не более  $\pm 3$  нс) и допустимым временным сдвигам с импульсами видеоданных.

Необходимость формирования и распределения сигналов большой номенклатуры, высокой частоты и с жесткими требованиями к значениям временных параметров определили принцип построения системы синхронизации ЦАСБ, при котором помимо основного СК аппаратуры в каждый блок преобразования и обработки устанавливаются свой блок синхронизации, т. е. синхрогенератор. Тракт ЦАСБ содержит четыре вида преобразований и обработок сигналов изображения: аналоговые, аналогово-цифровые, цифровые и цифро-аналоговые. Соответственно этому в состав системы синхронизации ЦАСБ вводят четыре типа синхронизаторов: цифровых источников (СЦИ), «СЕКАМ—Цифра» (С С—Ц), «Цифра—СЕКАМ» (С Ц—С), цифровой (СЦ). Основным ведущим синхросигналом цифровой аппаратуры на данном этапе является ССП. Он позволяет обеспечивать синхронную и синфазную работу аналоговых и цифровых источников с допустимой для параллельного видеостыка фазовой нестабильностью ИТ. Сигналом ССП ведутся блоки синхронизации ГСд, СЦИ.

Недостатком применения ССП для ведения цифровых блоков синхронизации через устройства ФАПЧ является большая кратность умножения частоты (от 15 625 Гц до 27 МГц или до 54 МГц). При этом высокая фазовая стабильность обеспечивается построением узкополосных систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с кварцевым управляемым генератором, что приводит к сужению полосы захвата. Ведущими сигналами синхронизаторов СЦ и С С—Ц являются ИТ и СЦС, передаваемые при 9-парном видеостыке.

В аппаратуре необходимо обеспечить следующие операции: фазирование ТВ сигналов аналоговых датчиков по фазе опорного ССП; фазирование цифровых строк и полей цифровых кодеров студии по фазе строк и полей аналоговых сигналов; фазирование цифровых

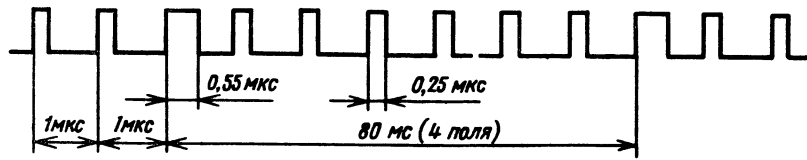


Рис. 3.4.2. Сигнал централизованной синхронизации ССЦ-2

ТВ сигналов друг с другом в микшере по циклам с точностью до одного такта. Все блоки синхронизации имеют неоперативные дискретные органы регулировки фазы для установочных операций фазирования. Значения задержки или опережения выбирают набором параллельных потенциальных кодов путем распылки перемычек на выходном соединителе блока. Регулировка фазы с помощью кодовых комбинаций позволит перейти к автоматизированному дистанционному управлению фазой любого источника.

Окончательное фазирование цифровых ТВ сигналов с точностью до такта производится в фазировальном устройстве микшера с помощью цифровых линий задержки, в качестве которых можно использовать регистры сдвига или ОЗУ. Цифровая информация записывается синхронно с тактами и циклами входного сигнала, а считывается едиными опорными тактовыми и цикловыми синхросигналами, сформированными в блоке СЦИ от ведущего ССП. Опытный образец ЦАСБ имеет диапазон коррекции фазы, равный 9 мкс.

Сигналы собственных датчиков ЦАСБ фазируют относительно внешних централизованных источников установкой фазы СК сигналом ССЦ, поступающим из центральной аппаратуры телецентра.

### 3.4.3. Централизованная синхронизация АСК

1. Методы и средства фазирования ТВ сигналов. Под централизованной синхронизацией АСК понимают такой режим работы, при котором обеспечиваются синхронность и синфазность процессов анализа, синтеза и обработки изображений во всех ап-

паратных АСК с единым опорным сигналом. При синхронности и единой начальной фазе источников ТВ сигнала централизованная синхронизация сводится к устранению взаимных фазовых сдвигов сигналов в линиях передачи от разнорасположенных источников до точки формирования программы. Фазы можно выравнивать как по цепям синхронизации, так и по линиям передачи видеосигналов. Однако первый вариант предпочтительнее из-за более простой реализации и отсутствия влияния на параметры видеосигнала.

Централизованная синхронизация внутренних источников телецентра обеспечивается передачей опорного синхросигнала по дополнительным линиям связи от центрального синхрокомплекта. В аппаратуре III поколения в качестве опорного используют сигнал централизованной синхронизации ССЦ-2. Этот сигнал (рис. 3.4.2) представляет собой непрерывную последовательность прямоугольных импульсов длительностью 0,25 мкс и частотой 1 МГц, в которой один импульс за период частоты 12,5 Гц имеет длительность 0,55 мкс. Импульсы частоты 1 МГц задают единую скорость хронирования, а импульсы частоты 12,5 Гц, расположенный в начале первой строки первого цветового поля, — начало отсчета по строкам, полям и цвету. Использование сигнала ССЦ-2 позволит: сфазировать источники видеосигналов в широких пределах относительно опорного синхросигнала с помощью простых по реализации корректоров задержки ССЦ; повысить точность синхронизации благодаря работе системы ФАПЧ на более высокой частоте с последующим делением ее до частоты строк; уменьшить чувствительность к воздей-

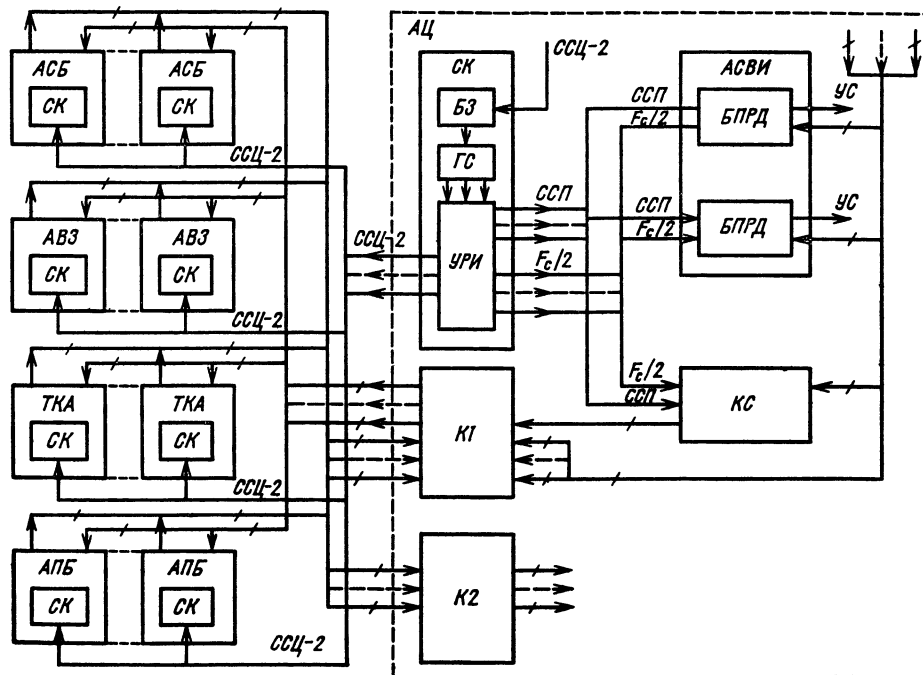


Рис. 3.4.3. Структурная схема системы централизованной синхронизации АСК (СК — синхрокомплект, БЗ — блок задержки, ГС — синхронизатор, К1, К2 — коммутаторы видеосигналов СЕКАМ, АСВИ — аппаратура синхронизации внешних источников, БПРД — блок передатчика, сигнал СЕКАМ X1, X2 — хронизаторы; СИ — селектор импульсов; ПРМ, ПРД — приемник, передатчик; КТВ — канал телевизионный; ФТС — формирователь ТВ сигнала)

ствию НЧ помех; сократить избыточность передаваемой информации без потери помехоустойчивости.

На телецентре имеется два уровня фазирования ТВ сигналов: первый на выходе матрицы АЦ, второй на входе микшера каждого АПБ и АСБ. Фазирование первого уровня производят по фазе ТВ сигналов собственных датчиков АЦ (УЭИТ, электронные часы) для внутренних источников сигналом ССЦ, для внешних источников — управляющим сигналом. Второй уровень обеспечивается выполнением двух операций фазирования. Первая проводится на этапе строительства телецентра прокладкой кабелей одинаковой длины от АЦ до внешних входов данной АСБ или АПБ, вторая заключается в получении синфазности сигналов собственных датчиков АПБ с сигналами внешних входов и выполняется в корректорах задержки ССЦ данной аппаратной. Обеспечивается точность фазирования не ниже  $\pm 50$  нс. Недостатком этого способа является необходимость использования мерных отрезков кабелей и предварительная ручная регулировка фазы корректоров задержки сигнала ССЦ.

2. Схема централизованной синхронизации АСК (рис. 3.4.3). Главный синхрокомплект (СК) расположен в АЦ и его сигналы используются как опорные для всего комплекса. Их стабильность не хуже  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ , что достаточно для функционирования всех устройств АСК и преобразования видеосигналов в системы ПАЛ и НТСЦ. Использование опорных сигналов с более высокой стабильностью, например не хуже  $1 \cdot 10^{-12}$ , как принято на АСК ТТЦ в Москве, создает дополнительные технические и экономические преимущества — позволяет вводить в ТВ сигнал (в шестую строку четного поля) сигналы точного времени и частоты и использовать их в качестве эталонных на всей территории страны.

В этом частном случае синхрокомплект АЦ переводит в ведомый режим от ССЦ-2, сформированного из высокостабильной частоты стандарта единого времени (от рубидиевого генератора). От синхрокомплекта АЦ сигналы ССЦ-2 поступают на блоки задержки аналогичных синхрокомплектов в АСБ, АПБ, ТКА, АВЗ, фазирующие их относительно опорной фазы АЦ до совпадения фаз собственных и внешних ТВ сигналов на входах коммутаторов. Для анализа синхронности и синфазности внешних источников в АЦ используют в качестве опорных сигналы ССЦ и  $F_c/2$ . В результате анализа вырабатывается управляющий сигнал в виде кодовых посылок, который по телефонному каналу связи подается на внешний источник для управления его фазой, так что сигналы внешних источников становятся синхронными и синфазными с сигналами внутренних источников.

3. Особенности централизованной синхронизации цифро-аналогового АСК. Система централизованной синхронизации цифро-аналогового АСК состоит из двух связанных в единое целое систем — для аналоговых и для цифровых аппаратных; эти системы построены на одних и тех же принципах. При этом цифровая система использует сигнал цифровой централизованной синхронизации (СЦС) и должна обеспечить получение фазовой нестабильности тактовых импульсов ИТ 27 МГц не более 3 нс и точность фазирования цифровых сигналов на входе микшера один тактовый период. Обеспечение минимальной фазовой нестабильности фронта ИТ относительно усредненного за период одного поля положения фронта («джиттер») во многом зависит от выбора значения частоты и структуры сигнала СЦС, а также от построения системы ФАПЧ ведомого ГС источника. Частота СЦС должна быть кратной тактовым частотам параллельного (27 МГц) и последовательного (243 МГц) цифрового потока с минимальным коэффициентом кратности; с другой стороны, для уменьшения затуханий и нелинейных искажений в линиях связи и в корректорах задержки желательно,

чтобы эта частота была меньше 27 МГц. Сигнал СЦС должен иметь минимальные постоянную составляющую и длительность однознаковых интервалов, обеспечивать возможность дистанционного управления фазой ведомого ГС и совместимость с существующими системами синхронизации аналоговых источников.

В настоящее время отсутствуют единые рекомендации и нормы на сигнал СЦС. Расчеты и практика опытной эксплуатации первых образцов отечественных цифровых АПБ и АЦ показали возможность на данном этапе использовать в качестве этого сигнала ССЦ-2. При прохождении его через устройства задержки, селекции и системы ФАПЧ (с релейным дискриминатором и управляемым кварцем генератором частоты 54 МГц) обеспечивается «джиттер» тактовой частоты ведомого источника не более 2 нс. Следовательно, использование в качестве СЦС сигнала ССЦ-2 обеспечивает требуемую для цифровых систем фазовую стабильность и совместимость с существующими аналоговыми системами. Система централизованной синхронизации АСК (см. рис. 3.4.3) не обеспечивает необходимой точности фазирования до одного тактового периода, такая точность обеспечивается только установкой на входе микшера ЦАСБ цифровых линий задержки. Это исключает необходимость передавать сигналы из АЦ в ЦАСБ по кабелям мерной длины. Синфазность ТВ сигналов цифровых источников и преобразованных в цифровую форму сигналов аналоговых источников достигается этими же линиями задержки. Сигналы внешних удаленных источников вводят в программу через цифровые кадровые синхронизаторы.

3.4.4. Синхронизация внешних источников программ. Любой источник ТВ сигнала нужно вводить в программу без срывов синхронизации. При создании ТВ программ часто используют сигналы от значительно удаленных внешних источников. Системы синхронизации внешних источников строят по методам синхронизации приемников, синхронизации датчиков либо автономной синхронизации:

1. Метод синхронизации приемников. В этом случае центральный синхрогенератор аппаратной ведется сигналом внешней программы. Достоинства этого метода — один канал связи для передачи и видеoinформации, и синхронизации; простота осуществления. Недостатки — невозможность синхронного введения в программу сюжетов нескольких внешних источников, зависимость работы синхрогенератора телецентра от изменения уровня и зашумленности ведущего сигнала удаленного источника. Такая система ограничено применяется в основном при ведении отдельных программных аппаратных сигналами ПТС по коаксиальным линиям связи.

2. Метод синхронизации датчиков. В этом случае синхрогенераторы удаленных источников управляются сигналами телецентра по дополнительным каналам связи. Управление может вестись следующими сигналами: 1) полным ТВ сигналом; 2) субгармоникой строчной частоты; 3) сигналом фазовой ошибки; 4) с использованием автономных высокостабильных хронизаторов. Каждому из этих вариантов управления присущи определенные недостатки; первому — необходимость формирования опережающих строчных и кадровых импульсов синхрогенератором внешнего источника с ручной установкой фазы выходного ТВ сигнала и зависимость точности синхронизации от устойчивости приема ведущего сигнала; второму — невысокая помехоустойчивость в области нижних частот и соответственно увеличение искажений фазы ТВ сигнала внешнего источника с ростом номера субгармоники; третьему — увеличение фазовой ошибки с увеличением расстояния до внешнего источника из-за имеющегося запаздывания в конце ФАПЧ; четвертому — необходимости использования на телецентре и внешнем источнике высокостабильных генераторов с относительной

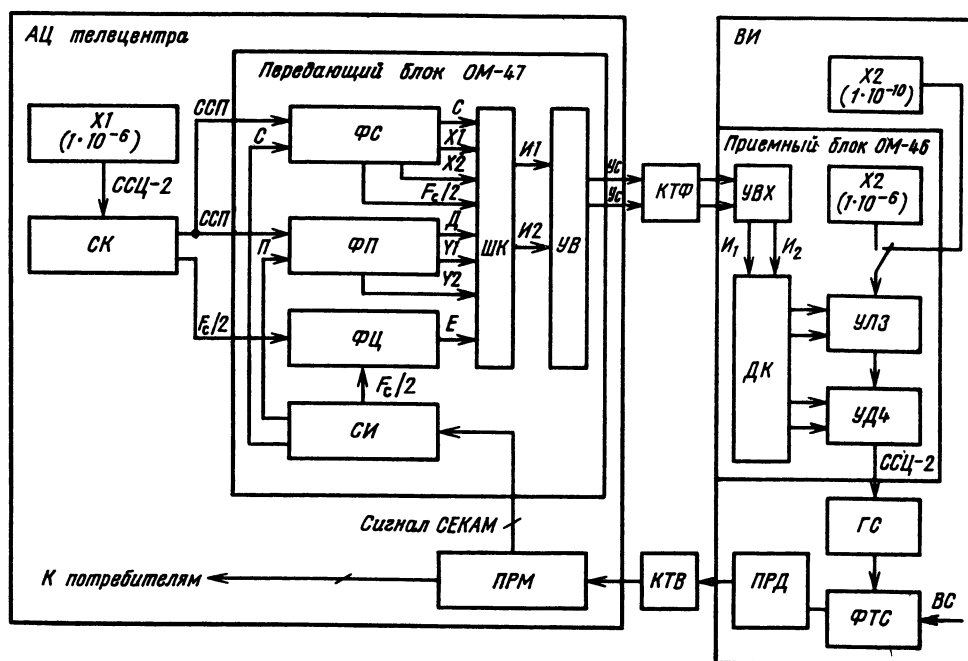


Рис. 3.4.4. Структурная схема аппаратуры синхронизации внешних источников

нестабильностью до  $1 \cdot 10^{-12}$  и ручной установки фазы при продолжительных сеансах связи.

В начале 1970-х годов была разработана аппаратура синхронизации внешних источников с автономными хронизаторами и автоматическим фазированием внешнего источника управляющим сигналом, передаваемым от телецентра по узкополосному каналу связи. Отечественная аппаратура такого типа была применена впервые при организации ТВ передач с Олимпийских игр в 1980 г. Ее составные части (рис. 3.4.4): передающий блок ОМ-47 в АЦ телецентра и приемный блок ОМ-46 на внешнем источнике ВИ. В передающем блоке сравниваются по фазе строчные, кадровые, цветные компоненты синхронизации, содержащиеся в сигналах синхрокомплекта АЦ и в ПТВС внешнего источника. Фазокомпараторы строк ФС, полей ФП, цвета ФЦ вырабатывают команды в параллельном потенциальном коде в соответствии с табл. 3.4.2. Команды подаются на генератор кода, состоящий из шифратора кода ШК и выходного усилителя УВ. Шифратор преобразует систему потенциальных уровней в трехуровневый цифровой четырехразрядный код. Так как

Таблица 3.4.2. Значения команд в передающем блоке ОМ-47

Команда		Временное положение импульсов входного ПТВС относительно сигналов ССП и $F_c/2$
обозначение	значение	
X1	0	Импульсы строк опережают
X2	1	
X1	1	Импульсы строк задержаны
X2	0	
X1	1	Импульсы строк синфазны
X2	1	

Окончание табл. 3.4.2

Команда		Временное положение импульсов входного ПТВС относительно сигналов ССП и $F_c/2$
обозначение	значение	
У1	0	Кадровые импульсы опережают
У2	1	
У1	1	Кадровые импульсы ПТВС задержаны
У2	0	
У1	0	Кадровые импульсы задержаны на 32 мкс
У2	0	
У1	1	Кадровые импульсы синфазны
У2	1	
С	1	Ошибка в фазе между импульсами строк не более 300 нс
С	0	Ошибка в фазе между импульсами строк более 300 нс
Д	1	Ошибка в фазе между кадровыми импульсами не более 180 мкс
Д	0	Ошибка в фазе между кадровыми импульсами более 180 мкс
Е	1	Сигнал $D_R$ не совпадает с положительным полупериодом $F_c/2$
Е	0	Сигнал $D_R$ совпадает с положительным полупериодом $F_c/2$

код трехуровневый, а для его формирования используют двухуровневые логические элементы, то кодовые импульсы имеют два выхода И1 и И2, образуя следующие комбинации: лог. 1 И1 и лог. 0 И2 соответствуют верхнему уровню; лог. 1 И1 и лог. 1 И2 — среднему уровню, лог. 0 И1 и лог. 1 И2 — нижнему уровню. Импульсы И1 и И2 поступают на УВ и модулируют частоту колебаний расположенного в нем генератора так, что верхнему уровню соответствует частота 1850 Гц, среднему 1750 Гц, нижнему 1650 Гц. Сформированный частотно-модулированный управляющий сигнал с выхода УВ передается по телефонным каналам связи КТФ к ВИ. Частотный детектор входного усилителя У<sub>вх</sub> приемного блока выделяет сигналы И1 и И2, а дешифратор кода ДК формирует из них импульсные сигналы, которые управляют фазой сигнала ССП-2, воздействуя на фазе через управляемые линии задержки УЛЗ и делитель частоты УДЧ. Сигнал ССП-2 обеспечивает ведение ГС внешнего источника, устанавливая частоту и фазу выходного ТВ сигнала с учетом компенсации задержек прохождения управляющего сигнала от телецентра до ВИ и ТВ сигнала от ВИ до телецентра. Таким образом достигаются синхронность и синфазность централизованных внешних и внутренних источников на первом уровне фазирования АЦ телецентра.

#### Основные параметры описанной системы

Размах ПТВС на входе приемника, В	1±0,3
Допустимое ОСШ входного ПТВС, дБ	25
Номинальное напряжение УС, Вэфф	0,733
Максимальное затухание в узкополосном канале связи, дБ	33
Допустимое ОСШ входного УС, дБ	15
Номинальная частота УС, Гц	1750
Точность фазирования по строке, нс	±30
Максимальное время фазирования, с	20
Относительная нестабильность частоты источника в режимах:	
внешний	не более 1·10 <sup>-10</sup>
внутренний	не более 1·10 <sup>-6</sup>

Допустимая длительность перерыва связи, мин, в режимах:

внешний	20
внутренний	1

Достоинствами подобных систем являются: повышение помехоустойчивости, использование неограниченного числа внешних источников, обеспечение синхронизации и служебной связи по одному каналу. Недостатки — ограничение по удаленности внешнего источника, необходимость в дополнительном оборудовании на приемном и передающем концах, необходимость в дополнительном канале связи (телефонном или радио).

3. Метод автономной синхронизации. В этом случае источники ТВ сигналов работают автономно (независимо), а сигналы по времени преобразуются с помощью цифровых устройств — кадровых синхронизаторов (рис. 3.4.5). Временные преобразова-

ния осуществляются с помощью ОЗУ, объединенных в блок памяти емкостью один ТВ кадр. Выполнены ОЗУ на цифровых интегральных схемах с разделением процессов записи и считывания. Входной ПТВС подается на АЦП и блок синхронизации записи БСЗ. Цифровой ТВ сигнал записывается в блок памяти БП. Формируются две независимые шкалы временных отсчетов: первая синхронна с сигналом внешнего источника, вторая — с сигналом местного. Дискретизация, кодирование и запись в память разрядов цифровых слов производятся со скоростью, определяемой сигналом внешнего источника. Для этого в БСЗ формируются синхронные с внешним сигналом импульсы: тактовой частоты, строчные поля и кадров, коммутации цвета.

Управляет процессом считывания из блока памяти и работой ЦАП блок синхронизации считывания БСС, формирующий импульсы, аналогичные импульсам блока БСЗ, но синхронные с импульсами местного опорного синхрогенератора. Блок коммутации БК измеряет временные сдвиги местного и внешнего сигналов и коммутирует цепи записи и считывания в зависимости от результатов измерений.

При построении БП на ОЗУ с большим временем цикла «запись—считывание» цифровые сигналы демультиплексируются и мультиплексируются соответственно перед записью и после считывания. Кадровый синхронизатор (рис. 3.4.5) работает без декодирования ПЦВС на яркостную и цветоразностную составляющие. В варианте с декодированием входного сигнала на составляющие Y, D<sub>R</sub>, D<sub>B</sub> в состав синхронизатора входят дополнительные декодирующие и кодирующие устройства, а процессы преобразования, записи и считывания компонент ТВ сигнала производятся отдельно. Такой синхронизатор может одновременно иметь выходные сигналы в композитной и компонентной формах.

Автономный способ синхронизации имеет значительные преимущества: не требует дополнительного канала связи и специальной аппаратуры в составе оборудования внешних источников; позволяет использовать ТВ сигналы подвижных источников; не вносит ограничений по дальности связи.

Отечественной промышленностью выпущено несколько моделей кадровых синхронизаторов: РА-4, СТС-2, СТС-4.

#### Технические параметры СТС-4

Число выходов	4
Размах выходных сигналов на нагрузке 75 Ом, В	1
Полоса частот выходных сигналов, МГц	6
Временная нестабильность строк, нс, не более	30
Неравномерность АЧХ, %, не более	2
Нелинейные искажения, %, не более	2
Расхождение во времени сигналов яркости и цветности, нс, не более	20
Пределы регулировки фазы выходного сигнала, мкс	±3
ОСШ выходного сигнала, дБ	50
Потребляемая мощность от однофазной сети 220 В, 50 Гц, В·А	170
Габаритные размеры, мм	443×540×210
Масса, кг	30

### 3.5. Передающие телевизионные камеры

3.5.1. Преобразователи свет-сигнал. Предназначены для формирования электрического сигнала, соответствующего передаваемому изображению. Основные параметры: характеристика свет-сигнал, чувствительность, спектральная характеристика, разрешающая способность, а также характеристики инерционности, равно-

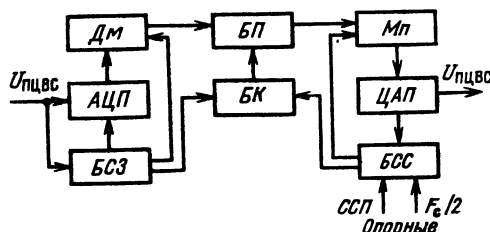


Рис. 3.4.5. Структурная схема кадрового синхронизатора (БК — блок коммутатора, ДМ — демультиплексер, Мп — мультиплексер)

мерности передачи уровней яркости, темного поля и др. Характеристики преобразователей зависят от устройств, обеспечивающих их работу (усилителей, развертывающих устройств, оптических узлов и др.), а также от электрического режима преобразователя. Для поочередной передачи информации о яркости и цветности используется развертка, которая осуществляется по выбранному (например, линейному) закону со строго установленной скоростью. Преобразователи свет-сигнал бывают мгновенного действия и с накоплением световой энергии:

1. Преобразователи мгновенного действия для образования электрического сигнала используют световой поток, который воздействует на площадь элемента разложения только в течение времени его коммутации (времени формирования выходного сигнала, соответствующего рассматриваемому элементу изображения). Среди этих преобразователей можно выделить две группы:

*преобразователи типа «бегущего светового пучка»* — устройства, в которых вся световая энергия концентрируется на одном элементе изображения и далее преобразуется в электрический сигнал;

*преобразователи с диском Нипкова*, диссектор — устройства, в которых на вход поступает световой поток, соответствующий передаваемой сцене, а элемент изображения формируется путем его пространственного диафрагмирования в оптическом или электронном звене. Диссектор применяют в прикладных ТВС. Световой поток, соответствующий передаваемой сцене, поступает на полупрозрачный фотокатод 1 (рис. 3.5.1) и преобразу-

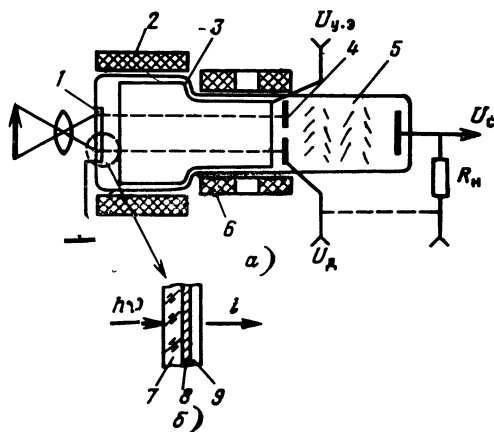


Рис. 3.5.1. Диссектор:  
а — конструкция; б — устройство фотокатода

ется в электронный поток (электронное изображение). Узел фотокатода включает полупрозрачный многослойный фотокатод 9, металлическую, практически прозрачную для света подложку 8 и стеклянную планшайбу 7. С помощью магнитного и электрического полей, создаваемых фокусирующей катушкой 2 и ускоряющим электродом 3, изображение фокусируется в плоскости диафрагмы 4. Отверстие диафрагмы является апертурным, формирующим элемент изображения. Поток фотоэлектронов, прошедший через отверстие диафрагмы, попадает на вход вторично-электронного умножителя 5, на выходе которого формируется сигнал изображения  $U_c$ . Развертка осуществляется путем отклонения электронного изображения относительно отверстия диафрагмы. Для этого используют магнитное отклонение, реализуемое с помощью двух пар магнитных отклоняющих катушек 6. Таким образом, через отверстие диафрагмы последовательно проходят фотоэлектроны, соответствующие различным участкам передаваемой сцены.

В формировании сигнала изображения на нагрузке  $R_n$  в любой момент принимает участие лишь  $1/n$ -я часть ( $n$  — число элементов разложения) электронного изображения, а следовательно  $1/n$ -я часть светового потока, поступающего на вход преобразователя. Этим объясняется низкая чувствительность диссектора. Диссектор непригоден для работы в реальных условиях передачи натуральных сцен (например, значение максимальной освещенности в солнечный день на открытой местности ниже требуемого для диссектора более чем в 10 раз). Чувствительность диссектора существенно возрастает при уменьшении числа строк или снижении скорости передачи изображения. Например, при числе строк 100 чувствительность возрастает по сравнению с стандартной в 2000 раз.

Промышленность выпускает диссекторы типов ЛИ604 и ЛИ602. В последнем используется электростатическое отклонение изображения. Диссектор используется в системах фотометрирования, технического чтения и др. Его характеристика преобразования линейна во всем рабочем диапазоне. Спектральная характеристика определяется типом фотокатода (рис. 3.5.2); 1 —

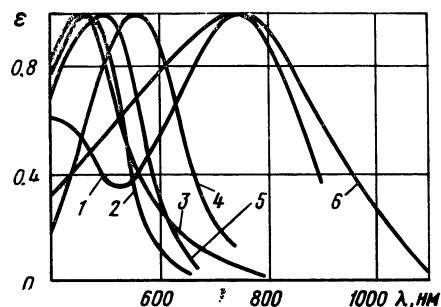


Рис. 3.5.2. Спектральные характеристики фотопреобразователей

кислородно-цезиевый; 2 — сурьмяно-цезиевый; 3 — многослойный. Там же приведены спектральные характеристики видиконов которого будут рассмотрены ниже: 4 — ЛИ426, 5 — ЛИ458, 6 — ЛИ446. Разрешающая способность диссектора превышает 600 линий, а в малокадровом режиме достигает 3000 линий.

2. Преобразователи, работающие по принципу накопления заряда видиконов и его последующие модификации — плюмбикон, кремникон и некоторые другие — обладают высокой чувствительностью.

Идея использования внутреннего фотоэффекта для создания преобразователей «свет-сигнал» была высказана академиком А. А. Чернышевым в 1925 г. Промышленные образцы видиконов, удовлетворяющих высоким требованиям вещательного ТВ, появились в 1950-х годах. Основной конструкции (рис. 3.5.3, а) является цилиндрическая колба 2. Один из торцов колбы служит входным окном, через которое на полупроводниковую мишень проецируется изображение передаваемой сцены. Этот узел включает стеклянную пластину 1, на которую нанесен тонкий практически прозрачный для света слой проводника (окись олова, индия, золота и пр.) — сигнальная пластина. Сигнальная пластина соединена с кольцевым электродом, через который снимается выходной сигнал изображения. На нее нанесен слой полупроводника, который и является мишенью, преобразующий падающий световой поток в потенциальный рельеф. Толщина этого светочувствительного слоя составляет 2...4 мкм. В качестве материала для изготовления мишеней видиконов используют фотосопроотивления с высоким темновым сопротивлением ( $10^{11}$ ... $10^{13}$  Ом·см) и значительной световой чувствительностью. Наибольшее распространение получили мишени



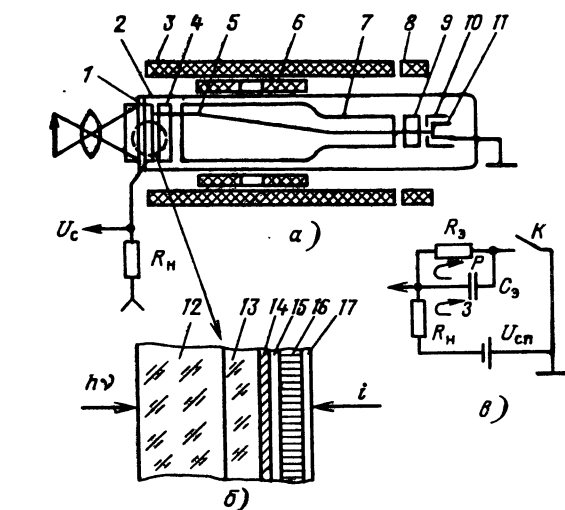


Рис. 3.5.3. Видикон: а — конструкция; б — устройство мишени (плюмбикон); в — эквивалентная схема

из трехсернистой сурьмы ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), вместе с этим используют мишени из селена, окиси свинца, сернистого кадмия и др. Выбор материала диктуется требованиями к спектральной характеристике преобразователя. Использование трехсернистой сурьмы позволяет получать спектральные характеристики, достаточно близкие к кривой видности глаза человека. Остальная часть прибора предназначена для формирования и отклонения коммутирующего электронного пучка 5. Для формирования пучка электронов служат плоский термокатод 11, модулятор 10, имеющий отрицательный потенциал 0...100 В (все потенциалы измеряют относительно потенциала термокатода), первый анод 9 с апертурной диафрагмой, формирующей апертуру коммутирующего пучка, потенциал этого электрода положительный (280 В); далее следует второй анод 7 с потенциалом, близким к потенциалу первого (280...350 В); второй анод служит для создания эквипотенциальной области, в которой производится отклонение коммутирующего пучка; коллектор вторичных электронов 4 на торце имеет мелкоструктурную сетку для образования равномерного отбирающего электрического поля в районе мишени.

Потенциал сигнальной пластины  $U_{cn}$  определяет режим работы прибора. При низких положительных потенциалах (до +100 В) стабилизируется потенциал элементов мишени после коммутации их электронным пучком при значении, близком к потенциалу катода. При больших потенциалах сигнальной пластины потенциалы стабилизируются при значениях, близких к потенциалу коллектора. Большинство видиконов работают в первом режиме.

Катушка 3 фокусирует коммутирующий пучок в плоскости мишени. По вертикали и горизонтали пучок отклоняется двумя парами отклоняющих катушек 6. Для этого в отклоняющих катушках генерируются пилообразные токи частоты полей и строк. Для направления коммутирующего пучка параллельно оси трубки используют корректирующие катушки 8.

Выходной сигнал снимается с нагрузочного резистора  $R_n$ , включенного в цепь сигнальной пластины. Чтобы раскрыть картину формирования сигнала в видиконе, воспользуемся эквивалентной схемой мишени, приведенной на рис. 3.5.3, в. Элемент изображения на мишени формируется коммутирующим пучком. Проводимостью мишени по ее поверхности в первом приближении можно пренебречь и мишень представить, как мозаику конденсаторов  $C_3$ , зашунтированных резисторами  $R_3$  (про-

водимость мишени). Емкость конденсаторов определяется площадью поперечного сечения коммутирующего пучка  $S_3$ , толщиной полупроводникового слоя  $d$  и диэлектрической постоянной  $\epsilon$  материала полупроводника:  $C_3 = \epsilon S_3 / 4\pi d$ . Сопротивление  $R_3$  элемента мишени определяется проводимостью  $\sigma_3$  полупроводникового слоя в рассматриваемом участке мишени  $R_3 = d / \sigma_3 S_3$ . Сопротивление  $R_3$  зависит от освещенности  $E_3$  элемента изображения, так как  $\sigma_3 = f(E_3)$ . Для большинства полупроводников эта зависимость описывается соотношением  $\sigma_3 = \sigma_{3t} + \alpha E_3^\gamma$ , где  $\sigma_{3t}$  — темновая проводимость;  $\alpha$  и  $\gamma$  — коэффициенты, определяющие чувствительность полупроводника к свету и нелинейную связь между проводимостью и освещенностью. Для большинства полупроводников  $\gamma < 1$ .

При проекции изображения на мишень различные ее участки приобретают разное сопротивление: распределение освещенностей  $E(x, y)$  преобразуется в распределение сопротивлений  $R(x, y)$  в объеме полупроводника. Мишень (элементарные конденсаторы  $C_3$ ) заряжается коммутирующим пучком, причем каждый из конденсаторов  $C_3$  в течение времени коммутации данного элемента (при стандартных параметрах разложения —  $\tau = 0,7 \cdot 10^{-7}$  с). За это время  $C_3$  заряжается до значения  $U_{cn}$ , так как в процессе зарядки потенциал мишени (правые обкладки конденсаторов) приобретает напряжение, близкое к потенциалу катода. Механизм зарядки позволит на эквивалентной схеме представить процедуру коммутации замыканием ключа К. В течение времени коммутации конденсаторы  $C_3$  заряжаются током, указанным на эквивалентной схеме стрелкой 3 (заряд). В течение остального времени (практически в течение длительности кадра) конденсатор разряжается током, протекающим по пути, указанном стрелкой Р (разряд). Скорость разряда определяется постоянной времени  $R_3 C_3$ , и следовательно, освещенностью элемента мишени. При увеличении освещенности постоянная времени уменьшается, конденсатор  $C_3$  за время кадра разряжается в большей степени. Таким образом, рельеф сопротивлений  $R(x, y)$  преобразуется в потенциальный рельеф  $V_3(x, y)$ . Процесс разрядки каждого элемента мишени — процесс накопления. Чем больше разряжается конденсатор  $C_3$ , тем больший ток заряда во время коммутации протекает в цепи 3, т. е. через резистор  $R_n$ . Именно этот ток и используют в качестве выходного. В процессе зарядки элементов мишени потенциальный рельеф преобразуется в сигнал изображения. Элементу изображения с большей освещенностью соответствует меньшее сопротивление  $R_3$ , следовательно, большие потенциалы мишени и ток заряда (сигнала). С учетом направления тока в нагрузочном резисторе видно, что сигнал на выходе видикона имеет отрицательную полярность.

Плюмбикон отличается от видикона конструкцией узла мишени, которая приведена на рис. 3.5.3, б. На полупрозрачную сигнальную пластину 14 нанесена окисно-свинцовая мишень, имеющая поликристаллическую структуру толщиной 12...20 мкм; со стороны сигнальной пластины формируется прослойка полупроводника 15 с  $n$ -проводимостью, далее следует слой чистой окиси свинца 16, обладающей светочувствительностью, затем структура содержит полупроводниковый слой 17, с  $p$ -проводимостью. Основное поглощение света происходит в слое окиси свинца 16, представляющем собой упорядоченную игольчатую структуру кристаллов размером около  $0,1 \times 3 \times 0,05$  мкм, которые расположены перпендикулярно поверхности планшайбы 13. Потенциальный рельеф формируется на поверхности слоя 17. Для предотвращения растекания потенциального рельефа вдоль слоя 17 (между соседними элементами мишени, имеющими разное значение потенциала) он имеет малую толщину, обеспечивающую высокое сопротивление слоя в направлении вдоль мишени.

Потенциальный рельеф коммутируется пучком медленных электронов  $i$  (мишень стабилизируется при по-



тенциале, близком к потенциалу катода). Выходной сигнал снимается, как и в видеоконе, с нагрузочного резистора, включенного в цепь сигнальной пластины. Если учесть, что на сигнальную пластину подается положительный потенциал, вся система представляет собой мозаику ррн-фотодиодов, включенных в запертом направлении. Это приводит к существенному снижению темнового тока по полю изображения.

При рабочих потенциалах в толще мишени создается относительно высокая напряженность электрического поля, обеспечивающая эффективное разделение генерированных светом электронно-дырочных пар. Ток сигнала при этом оказывается близким к насыщенному значению, что приводит к высокой линейности характеристики преобразования света в сигнал. Показатель нелинейности ( $\gamma$ ) этой характеристики находится в пределах 0,95...1. Высокая линейность характеристики преобразования обеспечивает успешное использование этих приборов в системах цветного телевидения. Пломбиконы обладают малой инерционностью. Снижение инерционности достигается за счет снижения накопительной емкости. Последнее является следствием увеличения толщины мишени и ее высокой пористости. Фотоэлектрическая составляющая уменьшается как вследствие создания в слое высокой напряженности отбирающего электрического поля, так и благодаря свойствам материала мишени. Для уменьшения инерционности в некоторых типах видеоконов дополнительно используется внутренняя подсветка мишени, повышающая эффективность считывания потенциального рельефа в затемненных участках изображения. Возникающий при этом сдвиг на постоянное значение уровня черного в сигнале изображения корректируется в процессе преобразования сигнала в тракте усиления и обработки.

Структура окисно-свинцовый мишени многослойная. Для предотвращения эффектов, связанных с отражением от внешней поверхности планшайбы диффузно рассеянного света, используют противоореольный диск 12 толщиной около 7 мм, закрепленный на входном окне прибора с помощью оптической склейки.

При передаче изображений, в поле которых содержатся объекты повышенной яркости, значение тока коммутирующего пучка становится недостаточным для полного считывания потенциального рельефа, соответствующего этим участкам изображения. При движении ярких объектов в поле изображения или панорамировании передающей камеры это вызывает характерные искажения изображения («тянучки», «хвосты кометы» и др.). Для значительного снижения этих эффектов используют *антикоматный проектор* — АК-проектор, который дополнительно считывает потенциальный рельеф пересвеченных участков увеличенным в 10—15 раз коммутирующим пучком во время обратного хода по строке. Чтобы сохранить полезный потенциальный рельеф, значение которого не превышает заданного в момент обратного хода пучка по строке, потенциал катода повышают до минус 5...15 В. Этим обеспечивается стабилизация «пересвеченных» участков не при нулевом, как в обычном режиме, а при указанном значении потенциала. Одновременно на управляющий электрод подают импульс положительной полярности с амплитудой 25...55 В, определяющий степень увеличения тока коммутирующего пучка во время обратного хода. Для динамического управления пучком в видеоконе с АК-проектором имеется электрод (в районе первого анода), на который подается импульсное напряжение отрицательной полярности. Режим АК-проектора настраивается подбором потенциалов дополнительного электрода, катода и модулятора в периоды обратного хода. На характеристиках преобразования plombиконов ЛИ457 и ЛИ458 с АК-проектором (рис. 3.5.4, 1—3) напряжение катодного импульса во время обратного хода равно 9, 6 и 3 В соответственно. Характеристики имеют участок насыщения вследствие ограничения потенциального рельефа, соответствующего пересветкам. Откло-

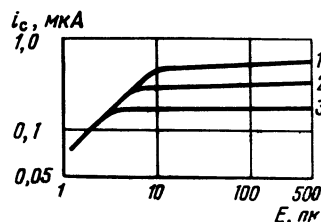


Рис. 3.5.4. Характеристики преобразования plombиконов

нение и фокусировка коммутирующего пучка в этих приборах электромагнитные. Размер изображения на мишени  $9,5 \times 12,7$  мм<sup>2</sup> при диаметре колбы 26,7 мм. При освещенности на мишени 1 лк ток сигнала составляет около 0,05 мкА. Разрешающая способность 600 линий. Остаточный сигнал через 40 мс составляет (инерционность) 8...17%.

Все большее применение в телевидении находят преобразователи на базе приборов с переносом зарядов — ППЗ-структур. В них сигналы изображения выводятся, как правило, через один выход. Преобразователи делятся на линейные и двумерные (матрицы). *Линейные преобразователи* содержат один ряд фоточувствительных элементов, т. е. передают одну строку изображения. Для передачи двумерной сцены используют перемещение передаваемого изображения поперек строки (например, в системах телекинопроекции непрерывно перемещают относительно ППЗ-линейки). *Матричный преобразователь* является полным аналогом передающей телевизионной трубки. Ячейкой, преобразующей световой поток в электрический заряд, служит МОП-конденсатор, включающий в качестве основы подложку из р-кремния. Путем термического окисления на ее поверхности формируется слой окисла, на который наносится металлический электрод. Если на него подать положительное напряжение относительно подложки, то под действием электрического поля под электродом будет образована зона, обедненная для основных носителей — в рассматриваемом случае для дырок. В образовавшейся потенциальной яме накапливаются неосновные носители заряда (электроны), которые могут образовываться из-за фото- или термоэлектронной эмиссии. Если элемент освещен, то в полупроводнике около его поверхности образуются пары носителей заряда электрон—дырка. Электроны заполняют потенциальную яму, причем заряд, накопленный за дозированное время, оказывается пропорциональным освещенности. Распространение области потенциальной ямы вдоль границы раздела полупроводник—окисел ограничивается формированием областей полупроводника n-проводимостью со степенью легирования на несколько порядков выше *областей стоп-диффузии*. В этих областях поверхностный потенциал на границе раздела окисел—кремний близок к нулю.

Процесс образования потенциальной ямы начинается после подачи на металлический электрод МОП-конденсатора положительного потенциала достаточно большой амплитуды. Заряд в потенциальной яме накапливается и при неосвещенном элементе благодаря тепловой генерации неосновных носителей. Длительность образования максимального заряда в ячейке под действием тепловых процессов составляет от сотен долей до единиц секунд и выше. Если ограничить заряд, возникающий под действием тепловой генерации (*уровень логического нуля*), то можно определить максимальные длительности накопления и хранения заряда в ячейке, т. е. определить нижний предел рабочих частот накопительной ячейки. В реальных приборах при комнатной температуре он составляет от единиц до десятков килогерц.

Строчка из МОП-конденсаторов выполняется на общей подложке (рис. 3.5.5). Расстояние между электродами настолько мало, что обедненные области при

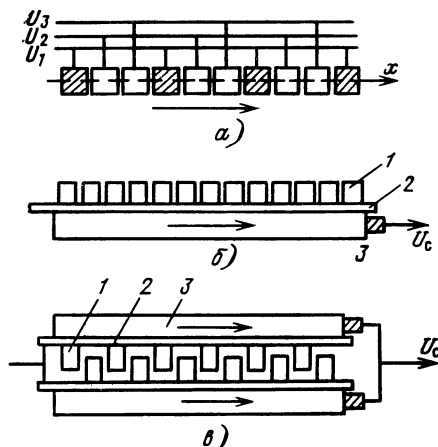


Рис. 3.5.5. ППЗ — структуры: а — строка структуры; б и в — варианты исполнения ППЗ линейки

подаче на электрод положительного потенциала простираются практически до соседних электродов.

Строка структуры представляет собой трехфазную цепочку, электроды которой соединены между собой через два (рис. 3.5.5, а). Потенциалы электродов изменяются с циклической последовательностью так, что зарядовый пакет, который за время накопления формируется под активным электродом, после подачи на соседний электрод положительного потенциала будет перемещаться под него. Если значение потенциала первого электрода будет уменьшено до исходного, то зарядовый пакет полностью переместится под второй электрод. Аналогично зарядовый пакет может быть смещен под третий электрод и т. д. Цикличность изменения потенциалов электродов обеспечивает перемещение зарядовых пакетов в направлении от первого к третьему электроду и далее. В рассматриваемом случае предполагается, что во время переноса зарядовых пакетов вдоль структуры освещение (накопление заряда) прерывается. Структура может быть использована для формирования сигнала изображения одной строки. Элемент изображения можно рассматривать как ячейку из трех МОП-конденсаторов. Соседние зарядовые пакеты, сформированные в процессе накопления (например, импульсной проекции изображения), изолированы друг от друга потенциальными барьерами электродов, находящихся под низким напряжением. Канал переноса ограничивается областями стоп-диффузии. На рис. 3.5.5, б, в показаны варианты исполнения ППЗ-линейки: 1 — электроды, 2 — диэлектрик, 3 — полупроводник.

Быстродействие ППЗ-структур ограничивается временем переноса заряда из одной накопительной ячейки в другую, достигающим единиц наносекунд. Поэтому максимальные тактовые частоты для ППЗ-структур составляют десятки или сотни мегагерц.

В отличие от идеализированных механизмов передачи зарядовых пакетов вдоль структуры, в реальных условиях зарядовый пакет по мере передачи его вдоль структуры не остается неизменным. Одна из причин этого состоит в захвате носителей заряда поверхностными энергетическими уровнями ловушек захвата. В качестве оценки эффективности переноса зарядовых пакетов используют показатель эффективности передачи заряда или коэффициент потерь (неэффективность передачи). Его значение для ППЗ-структур составляет  $10^{-4}$ ...  $10^{-5}$ .

Рассмотренные принципы построения линейных преобразователей применяют и для образования матричных структур. Наибольшее распространение получили ППЗ-преобразователи с покадровым переносом (рис. 3.5.6, а). Секции накопления 1 и хранения накопленной

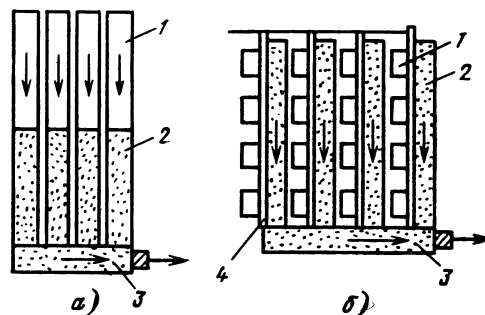


Рис. 3.5.6. ППЗ преобразователи: а — с покадровым переносом; б — с межстрочным переносом

информации 2 разнесены. После завершения периода накопления в течение короткого времени (обратный ход по кадру) заряд переносится в секцию хранения; режим накопления возобновляется, а в это время в соответствии с принятыми параметрами разложения информация считывается через регистр 3.

Аналогично накапливаются и считываются заряды в приборах с межстрочным переносом (рис. 3.5.6, б). В этом случае столбцы 1, в которых происходит накопление, располагаются параллельно и рядом со столбцами 2 хранения зарядовых пакетов. Считывание происходит через регистр 3, а переносом из столбцов накопления в столбцы хранения управляют затворы 4.

По сравнению с трубками ППЗ-преобразователи имеют меньшие габариты и массу, большую надежность, стабильность, вибро- и ударостойкость, больший срок службы, отсутствие прожигания фотослоя даже при интенсивном облучении, нечувствительность к внешним электромагнитным полям. Практически полное отсутствие инерционности и геометрических искажений. С другой стороны, передающие трубки пока еще обеспечивают лучшие цветопередачу, разрешающую способность и качество изображения.

3. Многосигнальные преобразователи. В цветных ТВ системах нашли применение преобразователи, формирующие один сигнал, содержащий информацию о цветном изображении, с использованием методов частотного или импульсного кодирования оптически цветоделенных изображений. В выходном сигнале таких преобразователей информация о содержании цветоделенных изображений разнесена в разные частотные диапазоны или закодирована в его фазе.

Рассмотрим систему с двумя поднесущими. Оптический кодирующий фильтр, который установлен в плоскости изображения, представляет собой пару наложенных друг на друга полосковых фильтров: чередующиеся прозрачные и желтые штрихи установлены перпендикулярно к направлению строчной развертки, а чередующиеся прозрачные и голубые штрихи расположены под углом  $45^\circ$ , как показано на рис. 3.5.7, а. Структура кодирующей маски (рис. 3.5.8) представляет собой участки прозрачные 1, зеленые 2 (наложение желтого и голубого фильтров), желтые — 3, голубые — 4. Частотный состав выходного сигнала определяется эффективным шагом прозрачно-желтой и прозрачно-голубой масок. Число полос выбирают таким, чтобы обеспечить в выходном сигнале частоту 5 МГц

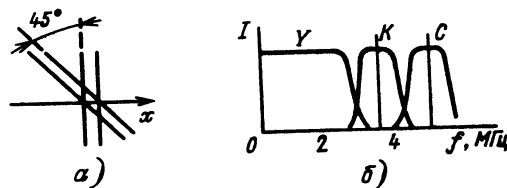


Рис. 3.5.7. Система с двумя поднесущими: а — направление штрихов; б — частотный спектр

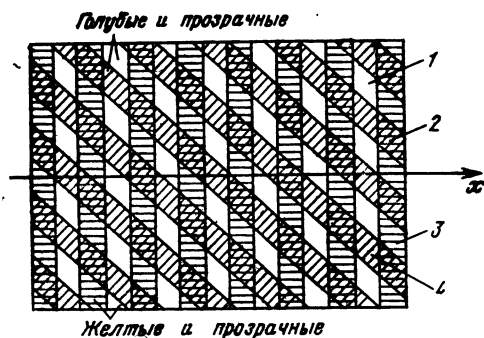


Рис. 3.5.8. Структура кодирующей маски

при пересечении коммутирующим пучком прозрачно-желтой маски, что при декодировании позволяет передавать информацию о синем цветоделенном изображении на частоте 5 МГц. При пересечении прозрачно-голубой маски, установленной к направлению строк под углом  $45^\circ$ , образуется сигнал с частотой 3,5 МГц, формирующий после декодирования красный цветоделенный сигнал.

Спектральные характеристики желтого и голубого фильтров обеспечивает прозрачность в центральной части видимого спектра по всей плоскости изображения и, следовательно, формирование низкочастотной составляющей сигнала, соответствующей яркостному сигналу (рис. 3.5.7, б). Цветоделенные сигналы в процессе декодирования формируются полосовыми фильтрами, фильтрами верхних частот и последующими детекторами и фильтрами нижних частот. Цветокоррекция осуществляется известными способами с помощью матрицы.

Частотный диапазон формируемого сигнала не может превышать частотного диапазона сигнала, образуемого преобразователем «свет-сигнал». Последний, как известно, определяется апертурой коммутирующего пучка. Расфокусировка пучка на периферии раstra, которая приводит к частотным искажениям в формируемом сигнале, проявляется в виде цветовых искажений по полю изображения. Это заставляет предъявлять высокие требования к системе фокусировки коммутирующего пучка.

Эффективнее используется частотный диапазон формируемого сигнала в системе с частотным разделением и перемешиванием спектров. В ней информация о красном и синем цветоделенных изображениях передается в одном частотном диапазоне. Благодаря этому расширяется полоса частот, отводимых для передачи яркостного сигнала, что приводит к повышению разрешающей способности системы. Поднесущую частоту сигналов красного и синего цветоделенных изображений выбирают несколько ниже, чем частоту поднесущей синего цветоделенного сигнала в рассмотренной выше системе, а это снижает требования к фокусировке коммутирующего пучка преобразователя.

Прозрачно-голубой и прозрачно-желтый фильтры в таком преобразователе имеют одинаковое число полос на единицу длины, и расположены под одинаковыми углами относительно направления сканирования, но наклонены в разные стороны относительно вертикали изображения, как показано на рис. 3.5.9, а. Значения поднесущих частот для обоих цветоделенных изображений в этом случае оказываются одинаковыми и определяются шагом полосок и углом наклона их к вертикали. Шаг и наклон полосок фильтров выбирают так, чтобы обеспечивался фазовый сдвиг  $90^\circ$  поднесущей частоты, формируемой одним фильтром, и опережение на  $90^\circ$  для сигнала, формируемого другим фильтром, при сравнении сигналов в смежных строках. Это позволяет разделять сигналы, несущие информацию о

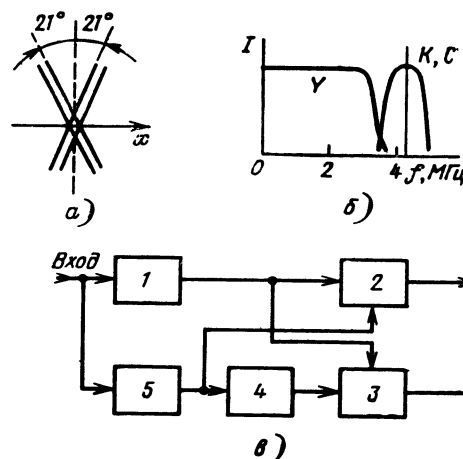


Рис. 3.5.9. Система с частотным разделением и перемешиванием спектров сигналов: а — направление стрихов; б — спектр сигнала, в — структурная схема демодулятора

красном и синем цветоделенных изображениях. Принцип разделения поясняется рис. 3.5.9, в. В одном из каналов сигнал задерживается на  $90^\circ$  по поднесущей частоте в устройстве 5 и суммируется в устройстве 2 с сигналом предыдущей строки, полученным путем задержки сигнала в устройстве 1 на время одной строки. Во втором канале из сигнала предыдущей строки вычитается сигнал, сдвинутый на  $90^\circ$ ; для этого используют дополнительный сдвиг на  $180^\circ$  в устройстве 4 и суммирующее устройство 3. На выходе формируются сигналы  $u_k$  и  $u_c$ , несущие информацию о красном и синем цветоделенных изображениях. Спектральный состав сигналов на выходе камеры показан на рис. 3.5.9, б.

Для реализации колориметрически правильной передачи в системе используют матрицирование цветоделенных сигналов с учетом спектральных характеристик пропускания полосковых светофильтров. Полосу пропускания по яркостному каналу благодаря совмещению спектров красного и синего цветоделенных сигналов можно расширить до 3,6 МГц, а частоту поднесущей красного и синего цветоделенных сигналов снизить до 4,2 МГц при ширине полосы 500 кГц.

Значительные практические успехи достигнуты при создании многосигнальных преобразователей, построенных по методу кодового разделения сигналов цветоделенных изображений. В них кодовый сигнал, используемый для декодирования цветовой видеoinформации, генерируется в процессе формирования сигнала. Принцип действия таких преобразователей рассмотрим на примере трубки с сигнальной пластиной, выполненной в виде двух гребенок (рис. 3.5.10). Световой поток проходит через кодирующий светофильтр 1, представляющий собой структуру из красных, зеленых и синих по-

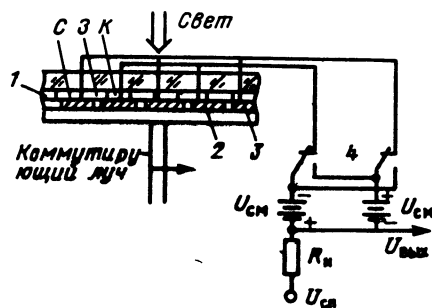


Рис. 3.5.10. К объяснению кодового разделения сигналов



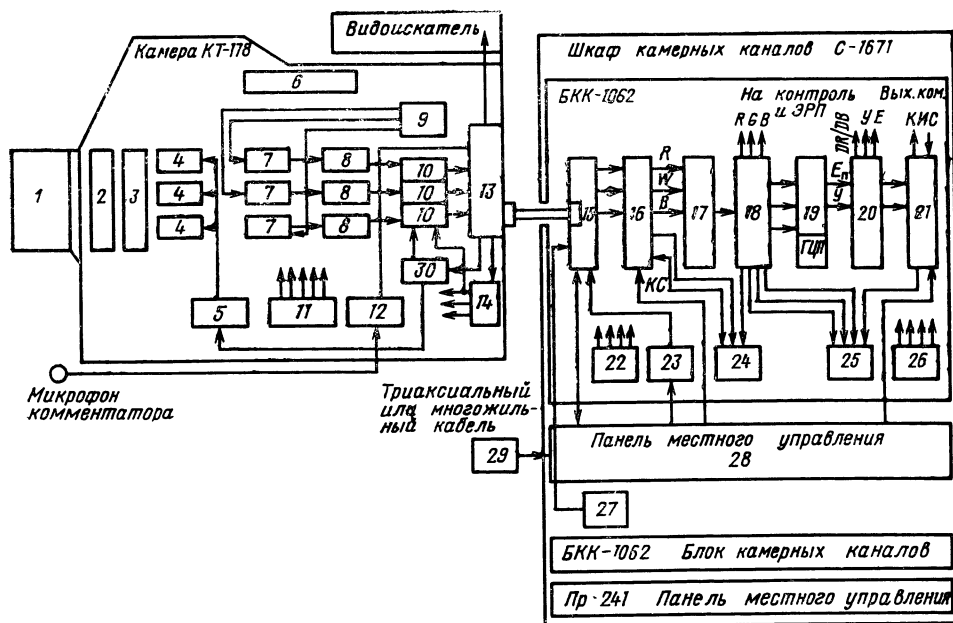


Рис. 3.5.12. Структурная схема тракта системы КД1

зменного блока, расщепляющего световой пучок на три составляющих: R — красную, B — синюю и W — псевдо-яркостную (иногда именуемую G — широкий зеленый). Сигнал обрабатывается в трех линейках усилителей, и выходными сигналами БКК служат сигналы R, G, B, а также композитный сигнал, закодированный в одной из стандартных систем ТВ вещания.

Отечественная камера КТ-178 (рис. 3.5.12) построена на 25 мм-глетиконах ЛИ-484, ЛИ-485. В ее оптической головке, включающей объектив 1 и диск светофильтров 2, применен призменный цветоделительный блок 3 с диапроектором, на котором установлены три блока передающих трубок 7, где размещены фокусирующе-отклоняющие системы (ФОС) 4 и предварительные видеоусилители 8, первые каскады которых смонтированы внутри нее. С предварительных усилителей сигналы W, R, B поступают на выходные усилители камеры 10, где ограничиваются полосы сигналов R и B до 3,5 МГц, формируются площадки обратного хода и замешиваются вспомогательные импульсы синхронизации и телеуправления, поступающие с блока синхронизации камеры 14 и блока телеуправления 30. В камере находятся также блоки кадровой и строчной разверток 5, управления режимом работы трубки 6 и автоматической регулировки тока луча 9. Блок питания камеры 11 преобразует постоянное напряжение 220 В, поступающее по камерному кабелю, в напряжения для питания различных цепей камеры. В камере используется электронный видеоискатель с черно-белым кинескопом повышенной яркости и разрешения. Выходные сигналы, в том числе и с выхода усилителя звука 12 по линии связи, включающей в себя блок ВЧ уплотнения 13 для триаксиального кабеля (или заглушку для многожильного кабеля), камерный кабель и блок ВЧ разделения 15 (или корректор кабеля), поступают в камерный канал на формирующий усилитель 16, выполняющий плавную и дискретную регулировки усиления, плавную регулировку уровня черного, коррекцию неравномерности в черном и белом и коррекцию светорассеяния. В корректоре четкости 17 осуществляется апертурная и контурная коррекции; с его выхода сигналы W, R, B поступают на корректирующий усилитель 18, где осуществляются линейная матричная цветокоррекция для двух цветовых темпера-

тур 3200 и 4800 К и плавная регулировка показателя гаммы в интервале 0,4...0,6. При цветокоррекции сигнал W преобразуется в сигнал G. В этом же блоке происходит дистанционно управляемая компрессия белого — нелинейное преобразование сигналов, при котором усиление снижается при высоких уровнях сигналов. Сигналы R, G, B с выхода усилителя 18 поступают в кодирующее устройство 19, а также на усилители-распределители 20, в систему электронной рипроекции, в блоки автоматического баланса 24 и совмещения 25 и на контрольный коммутатор 21. В кодирующем устройстве, в состав которого входит генератор цветных полос, формируется полный сигнал системы SEKAM. В камерный канал также входят синхрогенератор канала 22, блок телеуправления 23, блоки питания канала 26 и камеры 27, местная 28 и дистанционная 29 панели управления.

Развитие микросхемотехники позволит значительно уменьшить габариты и потребление камеры и канала и сосредоточить всю обработку видеосигнала в камерной головке. При этом БКК превращается в БУК (базовый блок управления камерой) и выполняет лишь функции управления и оконечного усилителя-распределителя. По такой схеме выполнены камера SK-970, автоматизированная камера Link-130 фирмы Link Electronics (Англия) и камера для студийного и вне-студийного вещания BVP-360 фирмы Sony (Япония). Последняя построена на 18-мм передающих трубках, имеет высокое ОСШ 60 дБ и малую массу 23 кг. Камера (рис. 3.5.13) выполнена по схеме R, G, B с использованием призменного блока 1 со светосилой  $F=1,2$ , что повышает чувствительность и улучшает цветопередачу при малых освещенностях. Между призменным блоком 1 и объективом 2 расположены два диска 3 с нейтральными и цветокорректирующими фильтрами. Передающие трубки 4 представляют собой дефлекторы с сатионным слоем, диодной пушкой и малой выходной емкостью мишени. За предварительным усилителем 5 следуют каскады шейдинг-коррекции в черном и белом 6, а за ними — формирующий усилитель 7, регулирующий сигналы и корректирующий светорассеяние. Во всех трех каналах использованы каскады апертурной коррекции 8, а в канале G также каскад контурной коррекции 9, повышающий ОСШ за

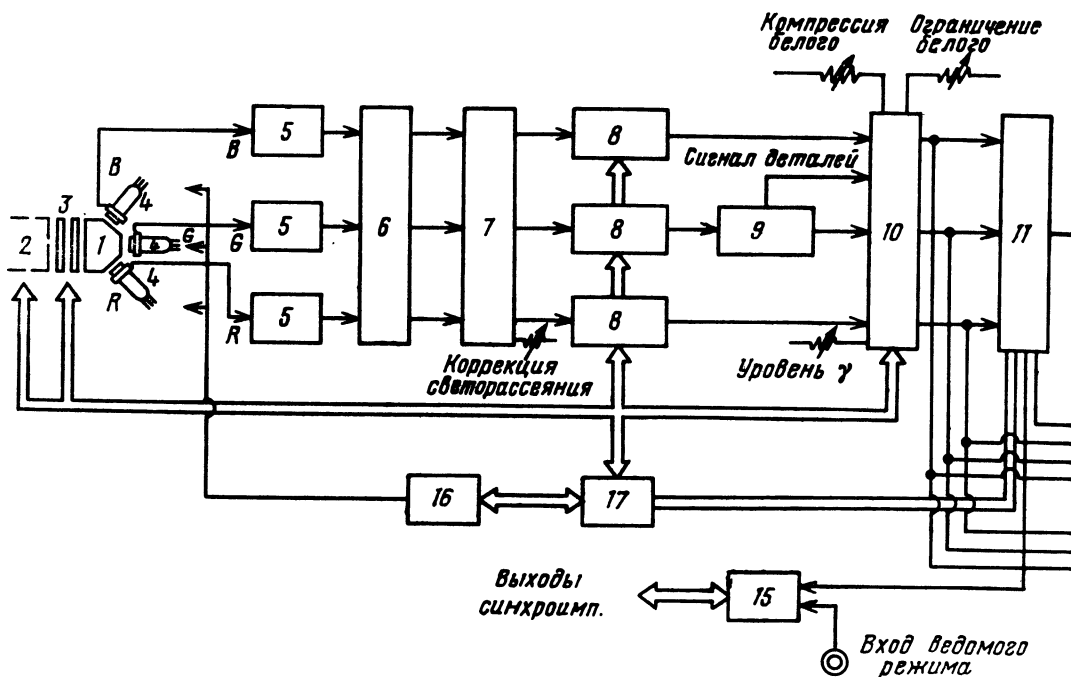


Рис. 3.5.13. Структурная схема

счет гребенчатой фильтрации и формирующий сигналы контуров. Корректирующий усилитель 10 производит цвето- и гамма-коррекцию, ограничение и компрессию белого. Далее сигналы R, G, B поступают на кабельный адаптер 11, коммутатор 12 и кодирующее устройство 13, которое используется при работе камеры в автономном режиме. В камерной головке также расположены ГЦП 14, синхронизатор 15, система отклонения 16 и блок управления 17. Через многожильный или триаксиальный кабель камера соединяется с блоком управления камеры (БУК), который содержит кабельный адаптер 18 (включающий в себя матрицу PCB), усилитель 19, переключатель камера/ГЦП 20 и кодирующее устройство 21. Он также содержит ГЦП 22, микропроцессорную систему автонастройки 23, коммутаторы сигналов на монитор и осциллограф 24, смеситель 25 и усилители-распределители 26. На выходы БУК подаются композитный сигнал и видеосигналы R, G, B на рир-проекции и на контрольные осциллограф и монитор.

Существуют и другие типы построения тракта камера — канал в трехтрубных камерах. Например, в автоматизированной студийной камере первого класса KCM125 фирмы Bosch (ФРГ) помимо обычных выходов RGB и композитного сигнала имеются компонентные выходы Y, R<sub>B</sub>, R<sub>R</sub> в соответствии с рекомендацией SMPTE по трехканальному компонентному аналоговому видеointерфейсу (рис. 3.5.14). Отличием этой камеры является и то, что сигналы R и B передаются по всему тракту до кодирующей матрицы в полной полосе частот и контурная коррекция выполняется в каждом из каналов R, G, B; это устраняет воздействие цветного освещения на четкость передаваемых изображений.

Большое влияние на эксплуатационные возможности передающей камеры оказывает тип камерного кабеля. Наиболее распространены многожильный и триаксиальный кабели. Многожильный кабель используют обычно в студиях, а во внестудийных условиях — триаксиальный, имеющий меньшие диаметр и массу и наименьшее число проводников. Многожильный вариант соединения камеры с каналом дороже, чем три-

аксиальный, несмотря на некоторое усложнение схем камеры и камерного канала, вызванное введением блоков ВЧ уплотнения.

В уплотнителе камеры BVP-360 из камерной головки поступают сигналы R, G, B, звук и данные системы управления. В камерную головку поступают видеосигнал обратной подачи, звук, данные управления и напряжение питания. Кодирующая матрица формирует сигналы Y, R—Y и B—Y, которые поступают на модуляторы. Сигнал Y передается в полной полосе

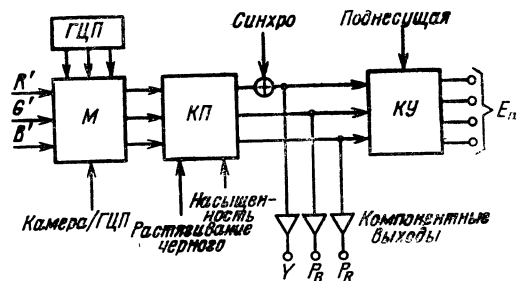
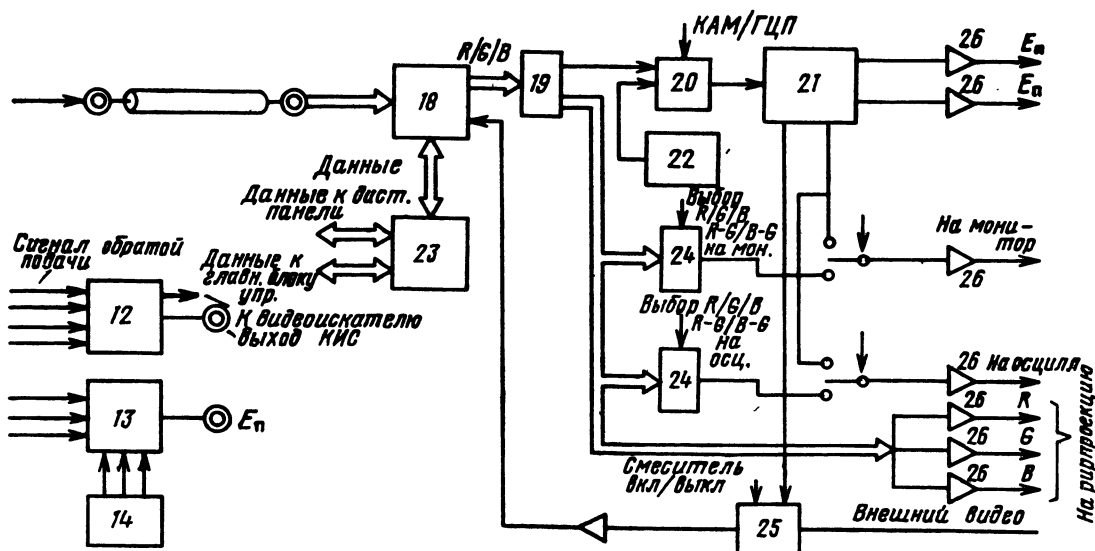


Рис. 3.5.14. Структурная схема оконечных каскадов камерного канала (КСМ-125: М — матрица, КП — компонентный процессор, КУ — кодирующее устройство)

частот (7 МГц) на несущей 18 МГц. Цветоразностные сигналы в полосе частот 3,5 МГц каждый передаются методом квадратурной модуляции на несущей 36 МГц. В канальной части системы разделения эти сигналы демодулируются в синхронных детекторах. От канала к камере передаются частотно-модулированный видеосигнал обратной подачи и видеосигнал телесуфлера на несущих 70 и 100 МГц соответственно. В области частот 1..6 МГц методом КИМ передаются сигналы звука и данных. Постоянным током передается напряжение питания для камерной головки. Частотный спектр приведен на рис. 3.5.15.

3. Искажения и коррекция сигналов в камере. Искажения цветопередачи вызываются неидеальными спектральными характеристиками передаю-



видеотракта камеры BVP-360

щих трубок и цветоделительной оптики и разбалансом сигналов R, G, B из-за изменений цветовой температуры источников освещения или электрических характеристик тракта. Первый вид искажений по большей части устраняется матрицей цветокоррекции, рассчитанной на основе известных спектральных характеристик трубок и блоков цветоделения. В студийных камерах часто используют две или три переключаемые матрицы для разных цветовых температур. Второй вид искажений цветопередачи устраняется выравниванием амплитуд видеосигналов R, G, B для белых и черных деталей изображения — балансировкой сигналов черного и белого. Яркостные искажения вызываются искажениями в характеристиках преобразования свет-сигнал и нелинейными искажениями в видеотрактах камерного канала. Даже при наличии равномерной освещенности на входе камеры выходной сигнал обладает неравномерностью, значение которой лежит в пределах 10...45%. Эта неравномерность складывается из двух частей, одна из которых определяется передающей трубкой (дефектами изготовления мишени, неортогональностью подхода считывающего луча к ней и модуляцией скорости развертки, вызванной формой отклоняющих полей и электрических полей трубки) и составляет 5...10% размаха сигнала; другая часть вызывает-

ся виньетированием оптической системы и при больших относительных отверстиях и больших кратностях объектива доходит до 35...40%. Для коррекции этих искажений в камерах чаще всего используют модуляцию видеосигналов сигналами пилообразной и параболической формы с частотами горизонтальной и вертикальной разверток. Камере присуща также неравномерность видеосигнала в черном, вызванная неравномерностью темнового тока датчика. Механизм ее возникновения сходен с вышеописанным, и в цветных ТВ камерах для уменьшения этих искажений стремятся применять датчики с малым темновым током. Коррекцию выполняют аддитивно с использованием сигналов, аналогичных сигналам коррекции мультипликативных яркостных искажений. В студийных передающих камерах также корректируется светорассеяние, вызывающее сдвиг уровня черного в видеосигнале на черных деталях изображения из-за рассеяния света в оптической системе и на планшайбе трубки. Эта коррекция осуществляется путем вычитания из видеосигнала уровня, пропорционального усредненному значению видеосигнала за кадр.

Для коррекции  $\gamma$ -характеристики кинескопов в телевизионных камерах изменяют амплитудную характеристику с помощью каскада, называемого гамма-корректором. Для точного воспроизведения яркости передаваемого сюжета необходимо иметь в сквозном тракте  $\gamma_{\text{общ}} = \text{const} = 1$ , откуда следует в условиях линейной амплитудной характеристики остального видеотракта  $\gamma_{\text{кам}} = 1/\gamma_{\text{кин}}$ , т. е.  $\gamma_{\text{кор}} = 1/\gamma_{\text{кин}} \gamma_{\text{трубки}}$ . Поскольку почти для всех современных трубок  $\gamma \approx 1$ , значение его для  $\gamma$ -корректора выбирают  $\gamma \approx 0,45$  и регулируют в диапазоне 0,3...0,6 в каждом из цветоделенных каналов, как для установления одинаковой формы  $\gamma$ -характеристик во всех трех каналах, так и для того, чтобы установить ее единообразные значения у всех камер, участвующих в передаче, и тем самым исключить изменения цвета при смене камер.

Апертурные искажения возникают из-за конечных размеров пятна электронного луча трубки и кружка рассеяния объектива и проявляются в спаде пространственно-частотной характеристики системы в области

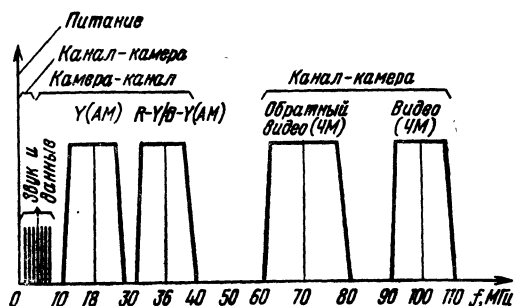


Рис. 3.5.15. Частотный спектр системы уплотнения камеры BVP-360

высоких частот, приводящем к уменьшению резкости воспроизводимого ТВ изображения. Для восстановления полезных сигналов высоких пространственных частот изображения, которые могут быть переданы без искажений в полосе частот ТВ системы определенного стандарта, используется апертурная коррекция. Этот термин за последние годы претерпел изменения и стал разделяться на два понятия — контурная коррекция (image enhancement, contour correction) — двумерная пространственно-частотная коррекция с подъемом в

области пространственных частот, равных  $0,5f_{\max}$ , и апертурная коррекция — подъем ВЧ составляющих видеосигнала почти на границе полосы пропускания системы. Коррекция не должна вызывать фазовых искажений. Для этого при контурной коррекции используют по две ЛЗ на строку и на два элемента изображения, а при апертурной — две ЛЗ на длительность, чуть большую, чем длительность элемента изображения. При введении сигналов апертурной коррекции в видеосигнал возрастает уровень шума, поэтому применяют

Таблица 3.5.1. Студийные

Камера	Фирма, страна	Передающие трубки <sup>1</sup> (всего три)	Призменная оптическая система светоделения	Освещенность на объекте, лк	ОСШ, дБ	Разрешающая способность, ТВЛ
1	2	3	4	5	6	7
SK-970	Hitachi, Япония	18-мм сатикон или сатикон/плюмбикон	(F=1,4) <sup>**</sup> F=1,4	2000 (3200 К к F=4)	56 (ПАЛ)	700 (в центре)
SK-1200	То же	25-мм плюмбикон <sup>*1</sup>	3200, 4000, 5000, 6000, 7000 (8000К) <sup>*5</sup>	2000 (3200 К, F=4)	58 (НТСЦ) 55 (ПАЛ)	700 (в центре) 600 (на краях) 400
Link-130	Link Electronics, Англия	18-мм плюмбикон XQ-3427 <sup>*2</sup>	—	—	54	—
TTV-1525C	Thomson-CSF, Франция	25-мм трубки <sup>*3</sup>	(F=1,5) <sup>*6</sup>	935 (3200 К, F=4)	57	(55 на 400 ТВЛ)
KCM-125	Bosch, ФРГ	25-мм плюмбикон	—	530 (3200 К при F=2,8)	58 (НТСЦ) 56 (ПАЛ)	(60)
SK-110Д	Hitachi, Япония	30-мм плюмбикон <sup>*2</sup>	F=1,8 <sup>*7</sup>	2000 (F=5,6)	56 (НТСЦ) 54 (ПАЛ)	750 (60 на 400 ТВЛ)
HS-71	Корпорация NHK, Япония	25-мм сатикон H9387Д	(F=1,6)	2000 (F=4+0,5)	58 (НТСЦ)	(78 на 400 ТВЛ)
BVP-360/360P	Япония	18-мм сатикон или плюмбикон <sup>*2</sup>	(F=1,2) <sup>*8</sup>	2000 (F=4 для сатикона); 2000 (F=4,5 для плюмбикона) 18 при (F=1,2) A=18 дБ	60 (НТСЦ) 58 (ПАЛ)	700
KT-178	СССР	3×25-мм глетикон		800 (3200 К, F=2,8)	52	(55 на 400 ТВЛ)

<sup>1</sup> Три значения для 1—3 зоны соответственно.

<sup>\*1</sup> С низкой выходной емкостью диодным прожектором XQ3070 (каналы G, B)

XQ3075 (R) или сатикон H=9379 A,

<sup>\*2</sup> С низкой выходной емкостью.

<sup>\*3</sup> С одним прожектором и низкой выходной емкостью: XQ=3070 для каналов G, B и XQ=3075 (R).

<sup>\*4</sup> С кварцевым фильтром.

<sup>\*5</sup> С шестидиапазонным диском.

<sup>\*6</sup> Два диска с фильтрами.

<sup>\*7</sup> С дисками цветных и нейтральных фильтров.

<sup>\*8</sup> С двумя четырехпозиционными дисками и фильтрами.



меры по его уменьшению: сигнал коррекции подвергают нелинейной обработке — двустороннему ограничению по минимуму, а также автоматическому подавлению в области темных участков изображения.

Координатные искажения обусловлены передающими трубками, в которых развертка осуществляется посредством приложения меняющихся во времени полей, довольно неточно распределенных в пространстве. При фокусировке луча для выполнения особых локальных условий вблизи мишени трубки требуется сформировать

компенсирующие поля, из-за чего возникают геометрические искажения изображения. Если не принимать мер для их коррекции, абсолютные ошибки даже в студийных высококачественных цветных камерах достигают 1%.

Уменьшить искажения можно чрезвычайно тщательной сборкой передающих трубок и фокусирующе-отклоняющих систем, но это их значительно удорожает. Наиболее эффективным путем коррекции координатных (геометрических) искажений является введение

#### цветные телевизионные камеры

Рассовмещение <sup>1</sup> , %; (геометрические искажения, %)	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Потребля- емая мощ- ность, Вт (В·А)	Электрические и конструктивные особенности
8	9	10	11	12
0,05; 0,2	369×465×440	25	(250)	Может работать автономно с собственным блоком ДУ и с блоком настройки камеры. Может управляться автоматической системой настройки студийной камеры SK-110
0,05 0,5; 0,8; 1; (0,05)	260×467×440	30	(450)	Разработана для автоматической системы SK-110 (автоматическая настройка по 37 параметрам); диапазон рабочих температур —20...+50°С; видискатели: 15-см электронный 170F В-4
0,05 (0,1)			—	Автоматизированная, с системой коррекции в 225 участках изображения с последующим запоминанием значений коррекции. Может работать с единой базовой станции совместно с портативной камерой «Link-100»
20, 20, 40 (1)	445×270×592	35	280	Автоматическая коррекция совмещения в 182 зонах изображения с учетом искажений объектива, автоматическая шейдинг-коррекция белого и черного
—0,05 (0,1)	230×500×330	30	300	Автоматизированная с динамической коррекцией ошибок объектива
0,05	270×520×635	40	(600)	Автоматизированная с системой компенсации динамической аберрации объектива
0,05	260×445×405	30	370	—
0,05; 0,1; 0,15 (1)	294×520×469	23	(350)	Работает в системах НТСЦ, ПАЛ. Ежедневная настройка автоматическая; ЗУ емкостью 64 файла запоминает параметры настройки. От основного блока возможна настройка до 8 камер: есть RGB-выход для рир-проекции
0,07; 0,1; 0,2, (1)	280×350×525	32,5	400	

Таблица 3.5.2. Цветные телевизионные

Камера	Фирма, страна	Стандарт разложения, формат раstra	Передающие трубки (всего три)	Характеристики объектива относительные отверстия	Чувствительность, лк	Потребляемая мощность, Вт
SK-1200	Hitachi, Япония	1125/60 16:9	25-мм сатикон	Вари-объектив 14x, $F=1,7$	2000 при ( $F=2,8$ )	675
НДК-1125	Ikegami, Япония	1125/60 16:9	25-мм сатикон	15x, $f=12,5 \dots 190$ , $F=1,6$	1500 при ( $F=2,8$ )	200
ЕС-1125	Ikegami, Япония	1125/60 16:9	30-мм плюмбикон	5x, $f=15 \dots 75$ , 14x, $f=16,5 \dots 231$	2000 при ( $F=5,6$ )	230
НДС-300	Sony, Япония	»	25-мм сатикон	11x, $f=11 \dots 121$ , $F=1,8$ 5,5x, $f=12,5 \dots 70$ , $F=1,5$	2000 при ( $F=4,7$ )	350
TTY-1250	Thomson CSF, Франция	1250/50 16:9 625/50	18-мм сатикон или плюмбикон* <sup>1</sup>	18x, 15x, 20x, 34x, 44x	2000 при ( $F=4$ )* <sup>2</sup> для сатикона; 1600 при ( $F=4$ )* <sup>3</sup> для плюмбикона	160
KCH-1000	BTS, ФРГ	1250/50 1125/60 625/50 16:9	30-мм плюмбикон, три 25-мм сатикон	15x	800 при $F=4$	350

<sup>1</sup> С низкой выходной емкостью; <sup>2</sup> для сатикона; <sup>3</sup> для плюмбикона.

в развертки сигналов коррекции, которые изменяют отклоняющие поля таким образом, что луч по мишени перемещается практически с равномерной скоростью во все время прямого хода развертки. Для этого сравнивают изображения оптической тест-таблицы «сетчатое поле» электронным ее эквивалентом на одном и том же оконечном устройстве.

Дифференциальные геометрические искажения проявляются как рассовмещения растров и приводят к понижению четкости и появлению на изображениях цветных окантовок. Корректируются они так же, как и координатные искажения, только в качестве эталонного изображения используют изображение канала W(G), а настраивают каналы R и B поочередно. Требуемая точность совмещения растров в центре поля для студийных камер составляет 0,05%. Настройку нужно проводить ежедневно, поскольку при таком уровне точности проявляются некоторые неконтролируемые составляющие ошибок. Вопросам автоматизации настройки совмещения растров посвящен п. 3.5.5.

При эксплуатации камеры можно выделить следующие настроечные операции: управление рабочими режимами в процессе передачи — диафрагмой, основным уровнем черного, цветокоррекцией и т. п.; ежедневные проверки и подстройка, необходимые для компенсации изменений, вызванных старением элементов и разбросом в характеристиках компонентов из-за изменений условий окружающей среды; настройка при сдаче камеры ОТК после изготовления или при замене передающих трубок и других компонентов.

Для ежедневных проверок и настроек в студийной камере имеется диапроектор и формируется контрольно-испытательный сигнал (КИС), который можно вводить дистанционно с пульта видеоинженера или с местной панели управления на входы как предваритель-

ных, так и выходных усилителей. Предусмотрена и возможность введения внешних испытательных сигналов.

Основные параметры существующих типичных моделей студийных камер, а также камер нового ТВ стандарта высокой четкости, приведены в табл. 3.5.1 и 3.5.2.

**3.5.3. Репортажные телевизионные камеры.** Предназначены для передач, оперативно освещающих ход событий. Главные требования к ним — работа в сложных условиях (при низкой освещенности, в тесноте, с движущихся объектов и т. п.), с минимальным временем от момента съемки до выхода в эфир, обеспечение качества изображения, сравнимого с качеством изображений от 16-мм кинокамер.

В трехтрубчатых репортажных камерах используют 18-, и 13-мм трубки; на последних, например, построены камеры HC-1 (RCA, США) и KCF-1 (Bosch, ФРГ). Для однотрубчатых репортажных камер используется только трубка «триникон» диаметром 18 мм с электростатическим отклонением и сатионовым слоем мишени (Sony, Япония).

**1. Методы формирования цветоделенных сигналов.** В трехтрубчатых камерах эти методы традиционны, а в однотрубчатых имеют ряд особенностей, связанных с оригинальным решением индексного кодирования сигналов цветности в трубке триникон. В формирователе сигналов цветности (рис. 3.5.16) выходной сигнал, снимаемый с выводов индексного электрода, поступает на предварительный усилитель ПУ и далее на ФНЧ, устраняющий цветовую поднесущую в сигнале яркости, и на полосовой фильтр ПФ, выделяющий цветовую поднесущую. Поднесущая задерживается на строку линией задержки ЛЗ, и далее на сумматоре «+» выделяется цветовая

# камеры высокой четкости

ОСШ, дБ	Модуляция на уровне 800 ТВЛ, % (разрешение, ТВЛ)	Рассовмещение в центре (углах), %	Масса, кг	Габаритные размеры, мм	Электрические и конструктивные особенности
46	40	0,025 по полю	60	285×556×570	Цифровая статическая коррекция совмещения. Предварительная автоматическая цифровая настройка совмещения
44	35 (1400)	0,05 (0,1)	39	277×460×480	Кабель Е, 6—28 жил; Ø 19,7—200 м
47	40	0,03 (0,045)	15	164×405×300	—
—	(1200)	0,025 (0,05)	8,2	166×291×290	Возможность формирования рамки для изображения 3:4, индикатор переднего плана
43	20	0,05 (0,1)	28	460×250×380	Полная совместимость с камерой ТТУ-1532
—	(1200) 50 на (600)	0,02 —	33	440×310×565	Введена динамическая коррекция объектива

поднесущая, модулированная сигналами цветоделенных изображений, а на разностном каскаде — индексный сигнал. В формирователе индексного сигнала ФИС, содержащем коммутатор фазы и фазовращатели, формируются опорные сигналы синхронного детектирования, с помощью которых из модулированного сигнала цветовой поднесущей в синхронных детекторах СД выделяются цветоразностные сигналы  $R-Y$  и  $B-Y$ , которые вместе с сигналом яркости поступают на кодирующее устройство КУ. Схема содержит также триггер Т, формирующий меандр полустроочной частоты для изменения фазы индексного сигнала в соседних строках на  $180^\circ$ .

Другой метод формирования сигналов применен в камере SP-3A. Построена она с применением обычной трехгранной призмы и трех ПЗС-матриц; две из них используются для формирования сигналов зеленого и дают повышенную разрешающую способность благодаря тому, что матрицы сдвинуты по горизонтали относительно друг друга на половину шага элементов разложения, а их сигналы суммируются. Сигналы красного и синего получаются с третьей матрицы благодаря использованию полосковых цветокодирующих фильтров и методов временного разделения сигналов. Использование одной матрицы для формирования сигналов R и B вдвое снижает разрешающую способность;

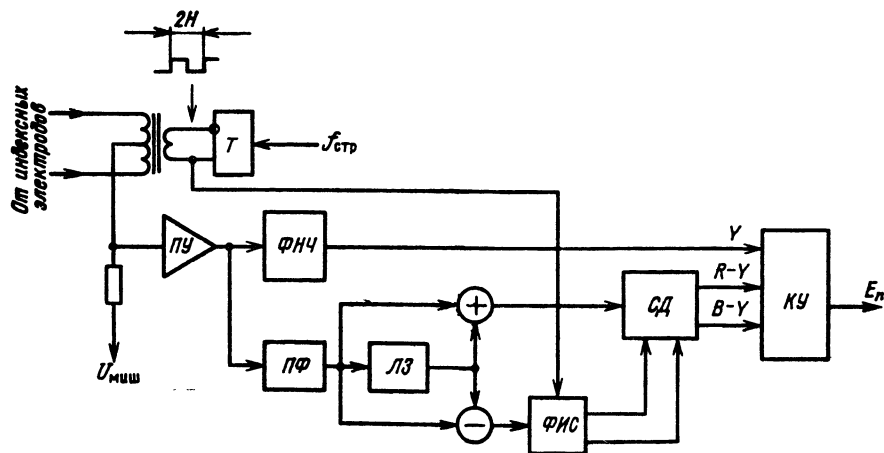


Рис. 3.5.16. Структурная схема формирования сигналов в камере на трубке «Триникон»

Таблица 3.5.3. Репортажные

Камера	Фирма, страна	Преобразователь свет-сигнал (всего три)	Призм- менная оптиче- ская сис- тема, светоде- ление $F$ — относи- тельное отверстие	Освещенность на объекте <sup>1</sup> , лк	ОСЦ, дБ	Разре- шающая способ- ность, ТВЛ
SK-97	Hitachi, Япония	18-мм сатикон или сатикон/плюмбикон* <sup>1</sup>	1,4* <sup>6</sup>	2000 (3200 К, $F=4$ )	59 (НТСЦ), 56 (ПАЛ)	650
CA-1623 ТЖК	Thomson-CSF, Франция	18-мм сатикон или плюмбикон	1,4	1400 (3200 К, $F=4$ )	57	650
LDK-54	Philips, Нидерланды	18-мм плюмбикон* <sup>2</sup>	—	24 <sub>min</sub> ( $F=1,4$ ; 18 дБ)	—	400
BVP 150/150P	Sony, Япония	18-мм сатикон SM	1,4	2000 ( $F=4$ ; 18 дБ) 30 <sub>min</sub> ( $F=1,6$ ; 18 дБ)	55 (ПАЛ), 57 (НТСЦ)	650
FP-Z31A	Hitachi, Япония	18-мм сатикон SM	1,4	2000 (3200 К; $F=4$ ) 40 <sub>min</sub> ( $F=1,6$ ; 18 дБ)	60 (НТСЦ), 57 (ПАЛ—В)	800
ДХС-МЗАР	Sony, Япония	18-мм сатикон	1,4	2000 ( $F=4$ ) 40 <sub>min</sub> ( $F=1,6$ )	55	750
HS-71	Корпорация NHK, Япония	18-мм сатикон MS H4125	—	2000 ( $F=4+0,5$ )	58 (У), (НТСЦ)	
TTV1525 PC	Thomson-CSF, Франция	18-мм плюмбикон* <sup>3</sup>	1,4	1400 (3200 К, $F=4$ ) 22 <sub>min</sub> ( $F=1,4$ ; 18 дБ)	57 (НТСЦ), 56 (ПАЛ)	400
HL-83	Ikegami, Япония	18-мм сатикон или плюмбикон	$F=1,4$	2000 (3200 К, $F=4,5$ )	55	600
КТ-190 ТЖК	Россия	18-мм глетикон ЛИИ-488		1200 (3200 К, $F=2,8$ )	51	600
BVP-5 (видеокамера моноблок BVW-105) ТЖК	Sony, Япония	18-мм ПЗС-матрицы	$F=1,4$	2000 (3200 К, $F=1:5$ ) 15 <sub>min</sub> ( $F=1:1,4$ ; 18 дБ)	58 (НТСЦ) 55 (ПАЛ)	550
SP-3A	NEC, Япония	ПЗС-матрица* <sup>4</sup>		1300 ( $F=1:4$ )	58	450 380
LDK-90 ТЖК	BTS	ПЗС-матрица* <sup>5</sup>	$F=1,4$ * <sup>6</sup>	1750 ( $F=4$ ) 27 <sub>min</sub> ( $F=1,4$ , 18 дБ)	58 (НТСЦ) 56 (ПАЛ)	

<sup>1</sup>  $T$  — цветовая температура;  $F$  — относительное отверстие;  $A$  — коэффициент дополнительного усиления.

<sup>2</sup> Три значения для 1—3 зон соответственно, одно — для всех зон.

\*<sup>1</sup> Плюмбикон с диодным прожектором и низкой выходной емкостью; \*<sup>2</sup> с диодным прожектором; \*<sup>3</sup> с низкой выходной емкостью; \*<sup>4</sup> повышенной четкости и построчным переносом; \*<sup>5</sup> с кадровым переносом; \*<sup>6</sup> с кварцевым фильтром; \*<sup>7</sup> два значения для режимов ручного и автоматического.

цветные телевизионные камеры

Рас совме- ще- ние <sup>a</sup> , %	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Напряже- ние питания, В	Потребля- емая мощ- ность, Вт	Особенность
0,05; 0,1; 0,2	100×290×355	6,8	12 (10,5... ... 17,0)	28	Портативная, с автоматизированной системой настройки, диагностики ошибок
0,1; 0,05* <sup>7</sup>	210×110×278	3,5 4,2	11,5... 14	20	Портативная, студийная, обеспечивает качество изображения, соответствующее студийным требованиям. Может работать с видеоманитофоном Betacam M-1611, при наличии ЭВМ для автоматической настройки камера сходна с моделью Link/NEC-800 (данные приводятся для стандарта 525/60)
—	—	9,3	—	—	В камерной головке есть встроенный диапроектор
0,1; 0,2; 0,4	115×191×361	4,2	10,3	19	На выходе компонентный и композитный сигналы
0,1; 0,2; 0,4	98×275×330	4,9	12	20	Имеется автоматическая система компенсации ошибок совмещения, обусловленных изменением температуры
0,1; 0,2; 0,6	112×281×316	3,7	12	16	—
	95×268×335	6		310	—
0,05; 0,1; 0,1	442×110×340	11,8	110/120	280	Камера настраивается автоматически. Система настройки общая с камерой TTV1525 C
0,1; 0,2; 0,5	90×217×240	4	12 (10,3—17)	15	—
0,1; 0,2; 0,4	630×225×300	5,6	11—15 (батарея) 220	36 В·А	Камера работает в автономном и ведомом режимах за счет смены адаптеров (видеоманитофонный и триаксиальный). В автономном режиме работает в комплекте с видеоманитофоном
0,05	236×100×180	3,2	12	10,5	Матрицы 510×492
0,05	3,5×6,1×7,0	3,1	12	13	
0,05	300×146×195	2,35	11... 17	11	Снабжена микропроцессорной системой управления

для устранения этого можно применять четырехгранные или шестигранные призмы, разделяющие световой поток на четыре (G, G, R, B) или шесть (G, G, R, R, B, B) составляющих с пространственным сдвигом матриц для увеличения разрешающей способности.

2. Характеристики. По электрическим и оптическим характеристикам репортажные камеры не должны отличаться от студийных, а по механическим (виброустойчивость, механические удары, пылевлагопроницаемость и т. п.) должны значительно превышать их. Габаритные размеры и масса камер должны быть малы, но общую массу (с видеокассетом и объективом) не следует делать менее чем 6...7 кг, так как более легкая камера может вибрировать при движении оператора и создавать дрожание изображения. Для простоты обслуживания и управления, повышения надежности в работе камеры снабжаются автоматическими регулировками на микропроцессорах или однокристальных микроЭВМ. Автоматическими являются регулировки баланса черного и белого, центровка растров, диафрагмы, регулировка тока луча. По мере развития интегральной схемотехники число автоматических регулировок возрастает и в камерах TTV-1623 и TTV-1624 (Thomson—CSF, Франция), например, с помощью сменных модулей обеспечивается полная автоматическая настройка совмещения и коррекция неравномерностей видеосигналов в черном и белом.

Для передачи быстродвижущихся сюжетов камеры должны иметь высокую динамическую разрешающую способность, особенно в режиме стоп-кадра. Большие возможности здесь открываются при использовании ПЗС, благодаря их высокой чувствительности и отсутствию инерционности. Фирма Angenieux разработала объектив с вращающимся obturatorом, позволяющим изменять время экспозиции от длительности поля до 1/500 с; он применен в камере ССД-1S фирмы RCA.

Требования к снижению энергопотребления обусловлены необходимостью работы репортажных камер от аккумуляторов. Потребляемая мощность лучших трехтрубных камер составляет 18...20 Вт для однотрубных — 10...12 Вт для камер на ПЗС. Время работы от батарей 1...1,5 ч.

Основные параметры типичных моделей репортажных камер приведены в табл. 3.5.3.

3. Камеры для телевизионного журналистского комплекса (ТЖК) представляют собой первую часть моноблока камера — записывающий магнитофон, называемого видеокамерой (в зарубежной литературе для обозначения такой конструктивной особенности используют термины *samcorder* и *comb*). Длина и масса этих камер должны быть как можно меньше и для комплекта не должны превышать 40...45 см и 8...9 кг. У них должны быть простые, электрическое и механическое соединения с видеомагнитофоном. Камеры для ТЖК бывают однотрубные, трехтрубные и с твердотельными датчиками. Яркими примерами служат камеры для ТЖК фирмы Sony (Япония) BVP-1, BVP-3 и BVP-5, стыкуемые в моноблок с записывающим видеомагнитофоном Betacam BVV-1 и образующие видеокамеры BVV-1/1P/1, BVV-3/3P/3 и BVV-105/105P/105. Трехтрубная камера KCF-1 фирмы Bosch (FRG) на полудюймовых плембиконах с электростатической фокусировкой и магнитным отклонением образует ТЖК Quartercam-KBF1 с видеомагнитофоном BCF1 формата Lineplex, пишущим на ленту 1/4 дюйма (рис. 3.5.17). В комплект входят камера, записывающий магнитофон и внутренний аккумулятор. В качестве источников питания могут быть использованы пояс с батареями 2, автомобильный аккумулятор 3 или блок питания от сети 4, который также может выполнять функции зарядного устройства. К комплексу также могут быть присоединены радиомикрофоны и телефонная гарнитура 1 для его контроля, так как магнитофон позволяет записывать два звуковых канала. Данные типичных камер ТЖК приведены в табл. 3.5.3.

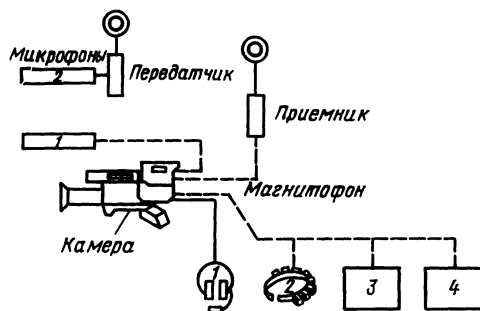


Рис. 3.5.17. Структурная схема ТЖК Quartercam

3.5.4. Бытовые телевизионные камеры. Они имеют значительно меньшую стоимость и более низкие качественные показатели, меньшие габариты и массу, чем профессиональные репортажные камеры. Цветные камеры построены на одном преобразователе «свет-сигнал» (электронно-лучевом или твердотельном). В них достигнут высокий уровень интеграции, благодаря применению значительного числа специализированных интегральных компонентов. В качестве электронно-лучевых датчиков использованы в основном 13- или 18-мм сатиконы и ньюкиконы с кодированием одной или двух поднесущих. В качестве твердотельных приборов применены как многосигнальные ПЗС-матрицы со встроенными цветокодирующими светофильтрами, так и фотодиодные матрицы (МОП-структуры с координатной адресацией). Пример использования последней приведен на рис. 3.5.18 [6]. Светофильтры трех цветов (белого Б, желтого Ж и голубого Г) нанесены на матрицу  $384 \times 485$  элементов с перемежением в шахматном порядке. С выходных шин снимаются три независимых сигнала, из которых сдвигом по времени на ЛЗ и суммированием получают три выходных сигнала, необходимых для работы кодирующего устройства системы цветного ТВ.

Идеальный вариант исполнения бытовой камеры не должен содержать регулировок, за исключением тех, которые диктуются композиционным решением кадра. Поэтому большинство регулировок — автоматические (баланс белого, регулировка чувствительности путем установок диафрагмы и даже фокусировка). Существуют модели бытовых камер, имеющих лишь два органа управления — для включения видеозаписи и для регулировки фокусного расстояния вариообъектива. Фокусировать и диафрагмировать можно как вручную, так и автоматически, по желанию оператора. Для автоматической фокусировки наибольшее распространение получили два метода — *дальномерный* — объект освещает инфракрасным светодиодом и измеряют угол между направлениями на объект от излучателя и приемника, и метод, основанный на максимизации ВЧ составляющих в видеосигнале. К настоящему времени удалось создать моноблочные бытовые видеокамеры (камкодер), объединяющие камеру и видеомагнитофон в одном корпусе с габаритами, сравнимыми с габаритами высококачественных 8-мм кинокамер (рис. 3.5.19). Наибольшее распространение получили магнитофоны форматов Beta и VHS. Примерами таких камер являются уже упоминавшаяся Betamovie, а также Videomovie с кассетой VHS, выпускаемая многими фирмами (JVC, Grundig Saba и т. д.). Однако разработка фирмой Kodak (США) новой видеокамеры Kodavision серии 2000 и фирмой Sony видеокамеры CCD-8E, рассчитанных на запись на 8-мм металlopорошковую или металлизированную видеоленту, изменяет ситуацию в пользу видеокамер с 8-мм форматом. Этот же формат был принят и фирмой Hitachi (Япония) для репортажной видеокамеры CV-ONE. Характеристики наиболее распространенных моделей видеокамер приведены в табл. 3.5.4.

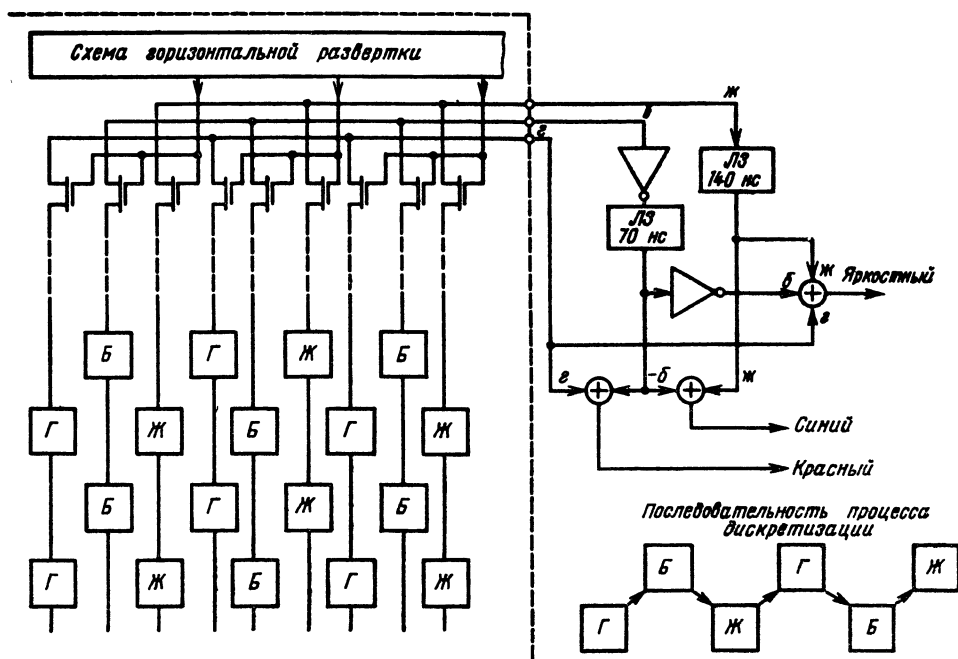


Рис. 3.5.18. МОП-структура с координатной адресацией

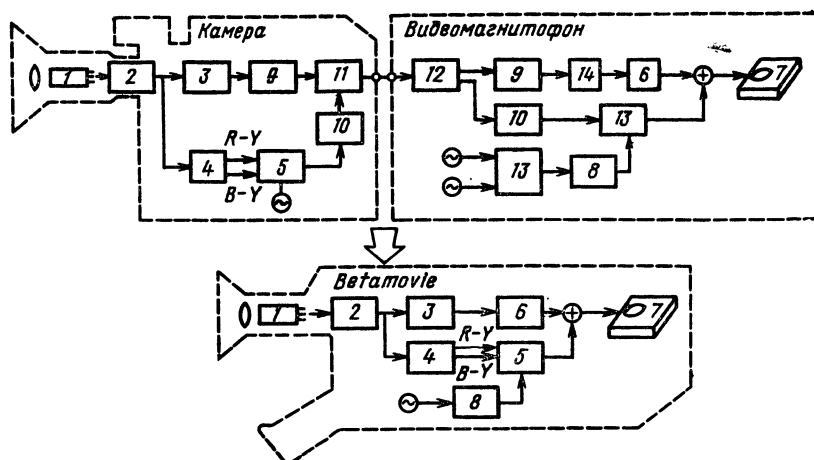


Рис. 3.5.19. Структурные схемы моноблочной репортажной камеры и бытовой видеокамеры Betamovie (Япония) (1 — передающая трубка триникон, 2 — предварительный усилитель, 3 — яркостный канал, 4 — декодер цветных сигналов, 5 — кодер, 6 — частотный модулятор, 7 — записывающий видеомаягитофон, 8 — фазовращатель, 9 — фильтр нижних частот, 10 — полосовой фильтр, 11 — смеситель, 12 — гребенчатый фильтр, 13 — преобразователь, 14 — линия задержки)

### 3.5.5. Системы автоматической настройки камер.

1. Функции систем. Число параметров, требующих регулировки в процессе эксплуатации цветной передающей камеры, приближается к ста. Использование систем автоматической настройки позволит резко ускорить настройку, сократить состав обслуживающего персонала, удешевить эксплуатацию, устранить субъективный фактор и обеспечить единообразие настройки всего камерного парка.

Были выпущены камеры, снабженные микроЭВМ или микропроцессорами для целей автоматической настройки, контроля и диагностирования состояния основных узлов. К их числу относятся камеры TTY 1525C (Thomson-CSF, Франция), KCM 125 (Bosch, ФРГ), Link 130 (Link Electronics, Великобритания), SK-970 Computacam (Hitachi, Япония), BVP-360 (Sony, Япония) и т. д. В камере Link 130 автоматическому управлению подвергнуты 38 операций настройки: геометрия, совмещение, устранение неравномерности сигнала в черном и белом, фокусировка электронного луча, в том числе динамическая, токи луча, корректирующих катушек и

т. д. В камере ТК-47В (RCA, США) все 100% настроечных операций находятся под контролем средств программного управления и отсутствуют параметры, настраиваемые с помощью потенциометров. Внедрение микропроцессоров и средств программного обеспечения позволяет предварительно настраивать камеры под условия передачи, а также осуществлять динамическую коррекцию хроматических aberrаций объектива путем предварительной калибровки камеры на разных фокусных расстояниях и запоминания файлов со сведениями о параметрах применяемых объективов. Такая система применена, например, для камеры BVP-360 (рис. 3.5.20).

2. Корректоры геометрических искажений и системы автоматического совмещения растров. Геометрические (координатные) искажения возникают из-за дисторсии оптической системы камеры и электронно-оптической дисторсии передающей трубки в комплекте с ФОС, а также из-за дополнительного отклонения электронного луча трубки в сторону несканируемой части мишени, перепада потен-

Таблица 3.5.4. Основные характеристики типичных моделей бытовых видеокамер

Фирма, модель	Формат записи	Преобразователь свет-сигнал	Светосила объектива	Фокусное расстояние вариобъектива, мм	Возможность макро-съемки	Система автофокусировки	Чувствительность, лк	Регулировка баланса белого (ручная Р, автоматическая А)	Потребляемая мощность, Вт	Масса, кг
CANON, Canovision, 8VM-E1	Video-8	Сатикон	1:1,2	8,5...51	Есть	ИК/TTL <sup>1</sup>	19	Р	7,5	2,0
Minolta, Minolta, Mooie, C-50E	VHS-C	ПЗС 1/2"	1:1,6	9...54	Нет	TTL	15	А	8,2	1,35
Panasonic, NV-MS1EG	S-VHS	ПЗС 1/2"	1:1,4	8...80	Есть	Piezo <sup>2</sup>	7	А	9,0	2,7
Kyocera, KD-3030E	8-мм	ПЗС 1/2"	1:1,4	9...54	Есть	ИК	8	А	7,0	1,1
Sony, BMC-500P	BETA	ПЗС	1:1,4	12...72	Нет	ИК	28	Р	6,5	2,5
Sony, Handycam, CCD-M8E	Video-8	ПЗС	1:1,6	Постоянное ( $f=15$ мм)	Нет	Ручная установка в 3 позиции	25	Р	5,2	1,0
Sony, CCD-V8AF, Sharp, VC-C20	Video-8 VHS	ПЗС 2/3"	1:1,4	12...72	Нет	ИК	19	А	7,7	2,3
Sony, Video-8PRO, CCD-V100	Video-8	ПЗС	1:1,2	11...66	Есть	TCL <sup>3</sup>	10	А	9,5	2,4
GF-S1000H	S-VHS/VHS	ПЗС 1/2"	1:1,4	12...72	Есть	ИК	15	А	6,8	2,3
			1:1,2	9...72	Есть	TCL	10	А	13	2,7

<sup>1</sup> TTL — through the lens — система автоматической фокусировки через объектив по высокочастотным составляющим видеосигнала.

<sup>2</sup> PIEZO — система автоматической фокусировки с помощью пьезоэлемента, смещающего ПЗС-датчик вдоль оптической оси.

<sup>3</sup> TCL — through the camera lens — система автоматической фокусировки через объектив камеры по разности фаз расщепленного изображения.



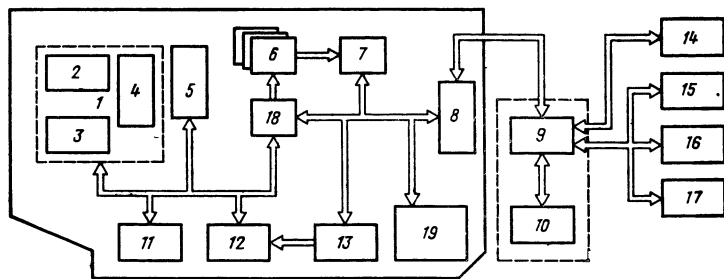


Рис. 3.5.20. Структурная схема многофункциональной микропроцессорной системы автонастройки (1 — оптический блок, 2 — объектив, 3 — диаскоп, 4 — оптические фильтры, 5 — передающие трубки с системой отклонения, 6 — видеопроцессор, 7 — детектор сигнала ошибки, 8 — микропроцессор камерной головки, 9 — микропроцессор базового блока, 10 — панель управления базового блока, 11 — переключатель функций, 12 — развертки, 13 — формирователь сигнала коррекции совмещения, 14 — главная панель управления, 15—17 — панели дистанционного управления разных назначений, 18 — интерфейс, 19 — ЗУ с файлами объектива, настройки, сцены и эталонным)

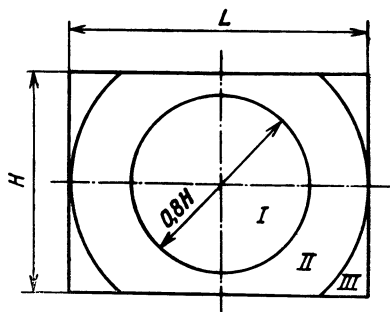


Рис. 3.5.21. К разбиению раstra на зоны при оценке погрешностей совмещения

сигнала на краях раstra и под влиянием потенциального рельефа изображения. Рассовмещение растров обусловлено неидентичностью параметров ФОС, неточностью сборки электронно-оптических систем передающих трубок, расхождением таких параметров, как постоянная составляющая, амплитуда и линейность отклоняющих токов (напряжений) в разных цветоделенных каналах. Еще одной причиной, даже в однотрубных (одноматричных) камерах цветного ТВ, является боковая хроматическая aberrация (вторичный спектр) вариообъектива, обусловленная разностью хода лучей разных длин волн в оптической системе и дающая при использовании вариообъективов высокой кратности ошибку совмещения 0,1 для зоны I и до 0,5% для зоны III, тогда как при фиксированном фокусном расстоянии ошибки совмещения у лучших современных камер составляет 0,05% в зонах I и II и 0,1% в зоне III (рис. 3.5.21). Для автоматической коррекции растровых искажений используются два метода: *полиномиальный*, применяемый для настройки камер КТ-178, ТК-47В, SK-970, заключается в формировании сигнала коррекции взвешенным суммированием составляющих, которые представляют собой сигналы, описываемые многочленами от нулевой до третьей степени. В МПС, показанной на рис. 3.5.22,

для повышения точности коррекции и быстродействия использованы ортогональные полиномы Лежандра. Использование ортогональных полиномов Чебышева первого рода для формирования базисных сигналов позволит добиться квазиоптимального равномерного приближения к оригиналу. Базисные сигналы коррекции в этой системе формируют путем считывания из ПЗУ в такт с ТВ разверткой. В формирователе корректирующего сигнала с помощью множительных цифро-аналоговых преобразователей осуществляется «взвешивание» базисных сигналов и суммирование их для получения окончательного значения сигнала коррекции. Весовые коэффициенты для базисных сигналов определяются расчетным путем в центральном процессоре в ходе настройки.

*Табличный метод* формирования сигналов коррекции для уменьшения координатных и дифференциальных геометрических искажений, использованный в ТТВ 1525С, Link 130, КСМ 125 и других камерах, заключается в разбиении раstra на большое число зон и формировании сигналов коррекции для каждой зоны путем задания матрицы сигналов ошибок с последующей двумерной интерполяцией промежуточных значений — в горизонтальном направлении обычно с помощью ФНЧ, а в вертикальном — цифровым методом. Первая реали-

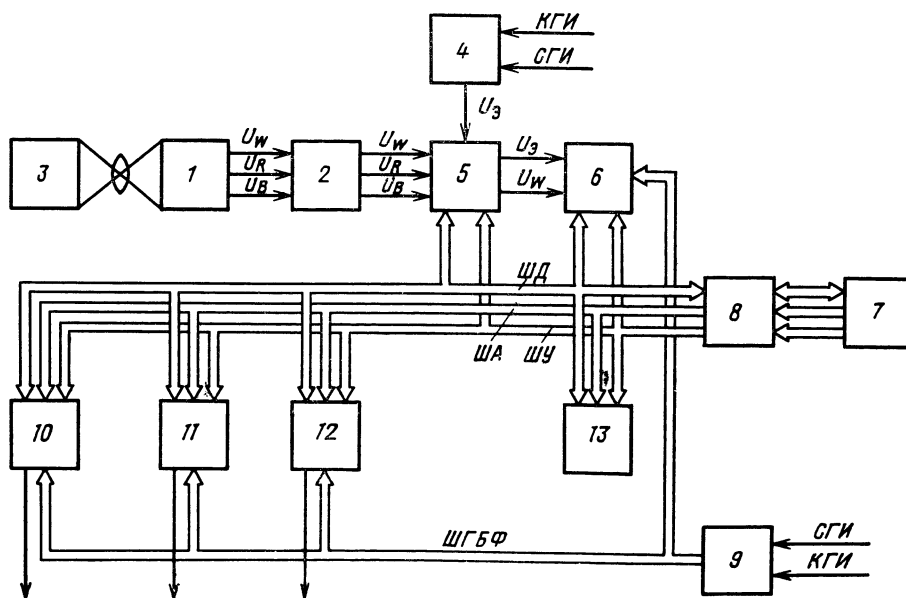


Рис. 3.5.22. Структурная схема МПС автоматической настройки камер [7] (1 — камера, 2 — камерный канал, 3 — тест-таблица, 4 — генератор эталонного сигнала, 5 — программно-управляемый коммутатор, 6 — анализатор, 7 — микро-ЭВМ, 8 — интерфейс, 9 — генератор базисных сигналов, 10, 12 — формирователи сигналов коррекции, 13 — пульт управления)

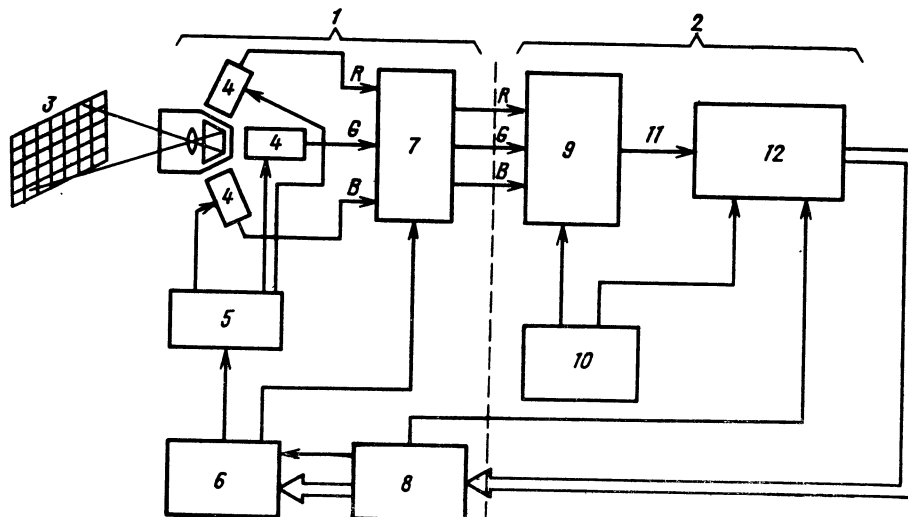


Рис. 3.5.23. Упрощенная структурная схема корректора пространственных ошибок в камере ВСС-20 (1 — камерная головка, 2 — БУК)

зация табличного метода — камера ВСС-20 фирмы Апрех (рис. 3.5.23). В результате развертки изображения оптической испытательной таблицы 3, спроектированной через объектив, формируются видеосигналы, несущие информацию об ошибках рассовмещения в разных зонах, число которых равно 182 ( $13 \times 14$ ). От соответствующих трубок цветные сигналы R, G, B поступают на устройство обработки (видеопроцессор) 7, где осуществляются  $\gamma$ -коррекция, шейдинг, матрицирование и т. п. Эти сигналы затем поочередно сравниваются с электронным эквивалентом оптической испытательной таблицы, содержащимся в устройстве измерения ошибки 9. На выход этого устройства поступают в цифровой форме сигналы ошибки горизонтального и вертикального рассовмещения, шейдинга в белом и черном, фокусировки трубок и  $\gamma$ -коррекции. Устройство 9 и блок телеуправления 12 управляются командами с центрального блока 10, построенного на базе микропроцессора. Цифровые сигналы ошибки поступают далее на микропроцессор камерной головки 8 и через него в память блока формирования сигналов коррекции растровых ошибок 6. Цифровой сигнал преобразуется в аналоговый сигнал коррекции ошибки совмещения, который подается на ФОС передающих трубок 4 через усилитель отклонения 5.

Табличный метод формирования сигналов коррекции координатных и дифференциальных геометрических искажений обеспечивает более высокую точность совмещения растров и меньшие координатные искажения, чем полиномиальный, и благодаря простоте реализации устройств формирования корректирующих сигналов получает все большее распространение. Например, в камерах ТВЧ, где требуемая точность совмещения составляет 0,025% высоты по всей площади растра, используют только устройства совмещения, работающие табличным методом.

3. Корректоры яркостных искажений и балансов черного и белого. Причиной ошибок в передаче градаций яркости по площади растра являются электронно-оптические характеристики комплекта ФОС-трубка, технологические погрешности при изготовлении мишени трубки, а также виньетирование, вызываемое оптической системой. Для автоматической коррекции неравномерности видеосигнала в белом и черном используют корректирующие сигналы сложной формы, формируемые, как и при коррекции геометрических искажений, полиномиальным или табличным методом и вводимые в цепи видеотракта адди-

тивно для коррекции неравномерности видеосигнала в черном и мультипликативно для устранения неравномерности в белом. Схемотехнические решения для автоматического формирования корректирующих сигналов совпадают с теми, которые приняты для коррекции геометрических искажений. Отличие наблюдается лишь в блоках, предназначенных для анализа искажений.

Для устранения разницы в значениях амплитудных параметров видеосигналов, вызываемой изменением цветовой температуры источников освещения, а также нестабильностью параметров канала формирования и обработки видеосигнала, во всех камерах цветного ТВ используют системы автоматического регулирования баланса. Примером может служить система камеры ТЖК, схема которой дана на рис. 3.5.24. Она содержит два идентичных независимых каналов регулирования R и B. При работе в режимах балансировки черного и белого используют одни и те же анализаторы, но различные исполнительные узлы. Разветвление при этом происходит на выходе управляемого генератора тока 2. При балансе черного устройства управления 7 посылает команду на закрывание объектива и включает коммутатор 8. Сигналы R и G сравниваются в дифференциальном усилителе 1 на интервале действия стробирующего импульса зоны баланса, расположенной в центре растра, и управляемый генератор тока 2 формирует ток, пропорциональный мгновенной разности входных сигналов на указанном интервале. Этот ток через коммутаторы 8 и 9 поступает в третью ячейку блока долговременной памяти 4. Генератор 2 и емкость ячейки памяти 3 при включенном коммутаторе образуют интегратор, приращение напряжения на котором пропорционально усредненной на интервале строб-импульса разности входных сигналов. Это напряжение с выхода буферных каскадов 5 воздействует на параметры видеотракта так, что смещение уровня черного в подстраиваемом канале R по отношению к каналу G уменьшается. Коррекция повторяется с частотой поля с приходом строб-импульса зоны баланса, в результате чего уровень черного в канале R асимптотически приближается к уровню в опорном канале G. Датчик выключения 6 срабатывает, если разница уровней черного в сравниваемых каналах становится меньше 0,5%. При срабатывании двух датчиков в каналах R и B команда проходит через схему И 10 и блок задержки выключения 11, так что система работает еще около 0,5 с, и в силу свойства асимптотического уменьшения ошибки резуль-

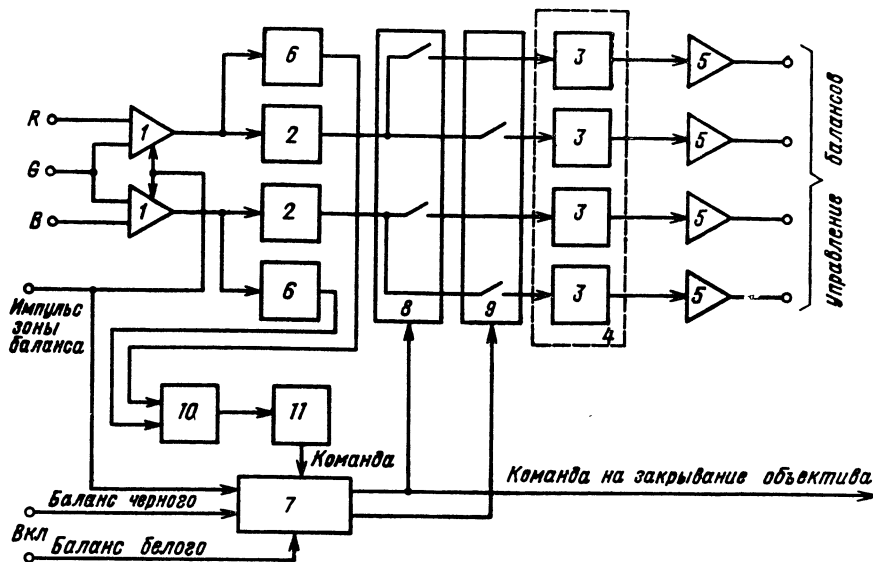


Рис. 3.5.24. Структурная схема системы автобаланса

тирующее отклонение уровня черного уменьшается на порядок. После этого коммутатор 8 отключается, в ячейках памяти фиксируются соответствующие напряжения и система переходит к автобалансу белого, осуществляемому по аналогичной программе, но при открытом объективе, при этом в центре изображения должен быть белый предмет.

4. Устройства автофокусировки. В ряде передающих камер используют автоматическую фокусировку луча передающей трубки и оптическую фокусировку передаваемого изображения, причем если автофокусировку луча трубки устанавливают, как правило, в студийные камеры, например в камеру Link-130, то автоматическую оптическую фокусировку — в бытовые камеры (например, в камеру Telestar). Для автофокусировки луча передающих трубок обычно используют информацию о ВЧ составляющих спектра видеосигнала, уровень которых максимизируется в процессе автонастройки. Устройства автоматической оптической фокусировки можно разделить на активные и пассивные. В первом случае в телекамере устанавливают излучатель энергии, направляемой в сторону передаваемого сюжета. Отраженная часть этой энергии улавливается чувствительным элементом устройства автофокусировки, после чего определяется дистанция до объекта съемки путем анализа времени, затраченного на прохождение зондирующего импульса от излучателя до объекта и обратно. На эту дистанцию и устанавливается объектив телекамеры с помощью сервомеханизмов. Пассивные устройства используют в качестве входного сигнала либо оптическое изображение, либо видеосигнал. В качестве излучателей в активных устройствах автофокусировки наиболее распространены светодиоды и лазеры, работающие в инфракрасном диапазоне (ИК), и электроакустические преобразователи, излучающие и воспринимающие колебания в ультразвуковом диапазоне. Недостатком систем, использующих ИК излучатели, является их невысокая относительная точность на малых расстояниях съемки, поскольку даже при точности измерения временного интервала прохождения зондирующего импульса в 1 нс абсолютная ошибка определения расстояния составляет 15 см.

Недостатком ультразвуковых излучателей является ограниченный предельный радиус действия, равный примерно 10 м, но зато эти системы автофокусировки обеспечивают более высокую точность измерения при более простых схмотехнических решениях за счет значительно

меньшей скорости распространения звуковых колебаний по сравнению со световыми. Пассивные устройства автофокусировки можно разделить на дальномерные, например система Visitronic Auto-Focus; по измерению контраста, например система Correfot; по измерению энергии ВЧ составляющих спектра видеосигнала. Дальномерная система Visitronic Auto-Focus завоевала большую известность и используется как в фотоаппаратуре, так и в бытовых телекамерах (рис. 3.5.25, а). Оптическое изображение поступает на пару зеркал, одно из которых 2 жестко закреплено, а второе 2' может в некоторых пределах вращаться, сканируя изображение. Оптические сигналы от зеркал, проходя через трехгранную призму 3, имеющую впереди светозащитный экран 1 и систему линз 4 и 4', попадают на светоприемники 5 и 5', выполненные в виде микросхемы на одной подложке, которая осуществляет также первичную обра-

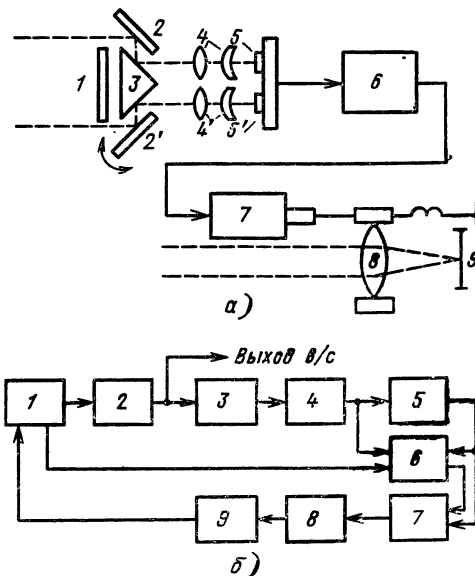


Рис. 3.5.25. Структурные схемы системы автофокусировки: а — Visitronic Auto-Focus [8]; б — по высокочастотным составляющим [9]

ботку сигнала расфокусировки. При сканировании подвижным зеркалом пространства предметов на выходе микросхемы формируется корреляционный сигнал, достигающий максимального уровня при идентичности изображений на фотодетекторах 5 и 5'. Устройство работает в два этапа. На первом сканирующее зеркало анализирует пространство предметов от минимально возможной дистанции наводки до бесконечности. Одновременно в блоке управления 6 фиксируется момент достижения корреляционным сигналом максимального уровня. На втором этапе при обратном ходе сканирующего зеркала происходит автофокусировка, когда с помощью электропривода 7 объектив 8 устанавливается в положение дистанции наводки, соответствующее главному максимуму снимаемого сюжета в кадровом окне 9. В системе оптической автофокусировки, использующей ВЧ составляющие спектра (рис. 3.5.25, б), видеосигнал, формируемый трактом ТВ камеры 2 с объективом 1, поступает на вход ФВЧ 3, выделяющего ВЧ составляющие спектра, которые затем поступают на детектор 4 для получения постоянного напряжения, пропорционального их уровню. Это напряжение подается на блок выборки и хранения 5, который также формирует на выходе положительное напряжение, когда напряжение фокусировки растет со временем, и отрицательное напряжение в обратном случае. Блок выборки и хранения через переключатель 7 соединен с узлом управления двигателем 8, назначение которого состоит в том, чтобы сохранять направление вращения двигателя 9 прежним при положительном или нулевом значении выходного напряжения блока 5 и реверсировать вращение двигателя при появлении отрицательного напряжения для изменения направления перемещения объектива 1. Блок управления системой 6 на основе данных о положении дистанции объектива, фокусного расстояния, значении энергии ВЧ составляющих в настоящий момент и в предыдущие вычисляет положение оптимальной точки фокусировки даже при малых относительных отверстиях объектива, когда из-за большой глубины резкости регулировочная кривая имеет пологий протяженный характер.

Аналогичную систему можно использовать и для

фокусировки электронного луча в передающей трубке. В этом случае меняется лишь исполнительное устройство, которым вместо двигателя, управляющего механизмом фокусировки, должен быть управляемый источник напряжения на фокусирующем электроде трубки.

5. Системы автоматической регулировки тока луча (АРТЛ). Применение этих систем позволяет существенно увеличивать световой рабочий диапазон ТВ камеры и исключать такие дефекты изображения, как «хвост кометы» и «заплывание», связанные с чрезмерным освещением объекта. При передаче из студии можно частично предотвратить появление этих дефектов ограничением освещенности, однако при передачах вне студии обеспечить отсутствие искажений во всем световом диапазоне невозможно. На первом этапе борьбы с этим явлением была создана передающая трубка с антикометным тетродным прожектором, в которой путем регулировки напряжения на первом модуляторе в соответствии с яркостью объекта, обеспечивалось считывание потенциального рельефа на мишенях при 6—8-кратных перегрузках по свету. На втором этапе была создана передающая трубка с диодным прожектором, где при использовании систем АРТЛ полностью считывается потенциальный рельеф при 16-кратных перегрузках по свету.

6. Анализаторы искажений и испытательные таблицы для систем автонастройки. Для контроля и коррекции искажений применяют испытательные изображения, помещаемые перед камерой до начала ее работы или устанавливаемые во встроенном в оптическую систему диапроекторе. Проектирование таких таблиц и анализаторов искажений выполняют совместно. Примером служит таблица 0373 (рис. 3.5.26), предназначенная для контроля совмещения в ТВ камере КТ-178 и автонастройки баланса видеосигналов и таких параметров совмещения, как размер раstra и центровка изображений. Анализатор системы автонастройки баланса выполнен по обычной схеме, где амплитуды видеосигналов сравниваются с помощью компаратора. Зоной анализа является белый прямоугольник, расположенный несколько ниже центра испытательного изображения. Для анализа рассовмеще-

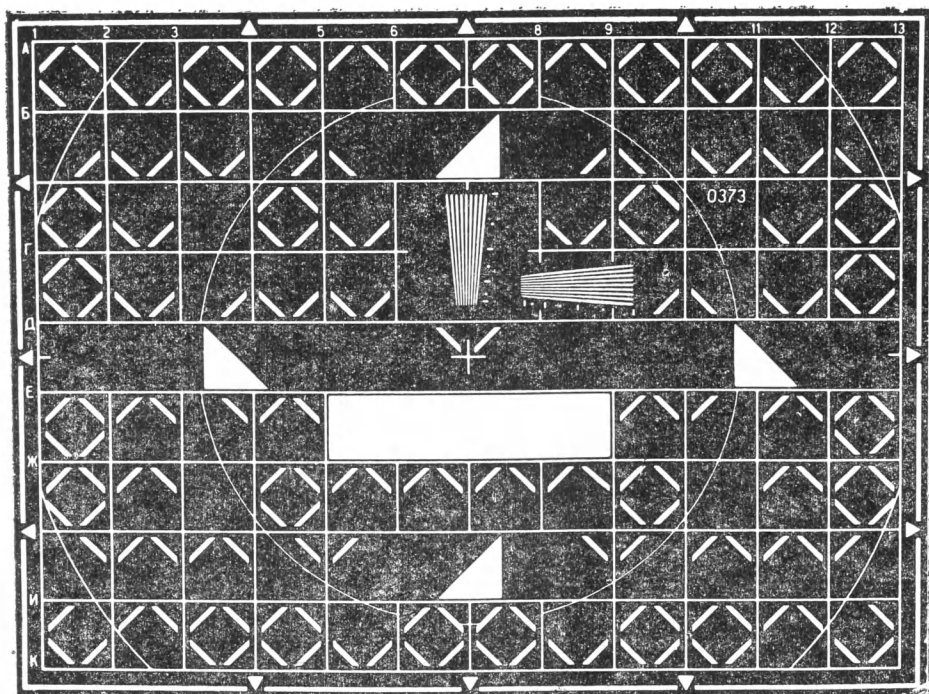
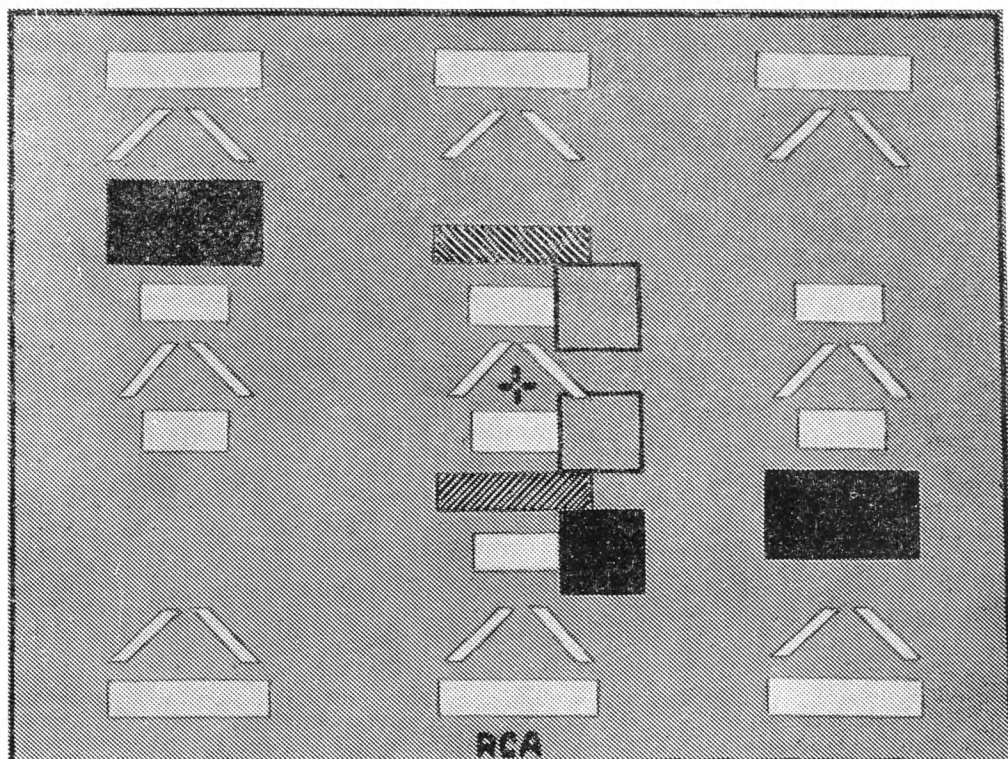


Рис. 3.5.26. Испытательная таблица 0373

Рис. 3.5.27. Испытательная таблица камеры ТК-47



ния растров служат белые треугольники — по левому и правому определяют рассовмещение по горизонтали, по верхнему и нижнему — по вертикали. Ошибки по горизонтали определяют по вертикальным катетам треугольников, ошибки по вертикали — по гипотенузам. Гипотенузы треугольников позволяют переводить ошибки рассовмещения по вертикали в горизонтальные смещения черно-белых перепадов изображения таблицы. Таким образом, аппаратное решение для вертикального и горизонтального каналов анализатора может быть одинаковым. Анализатор формирует сигналы ошибки рассовмещения по четырем параметрам растров трубок R и B — центровка и размер по горизонтали и вертикали. Ошибки рассовмещения по каждому из четырех параметров определяются последовательно во времени, с точностью до  $\pm 20$  нс.

Испытательная таблица фирмы RCA для автоматизированной камеры ТК-47В, реализующей полиномиальный метод формирования сигналов коррекции (рис. 3.5.27), предназначена для автонастройки совмещения растров, баланса белого и черного, гаммы-неравномерности видеосигналов и коррекции светорассеяния. Гамма-коррекция осуществляется по серому фону таблицы, коррекция светорассеяния — по черным прямоугольникам, неравномерность сигнала в белом по белым прямоугольникам. Информация из этого изображения извлекается двумя взаимодействующими системами. Одна генерирует адреса для ЗУ, а вторая измеряет амплитудные или позиционные ошибки, которые заносятся в ЗУ по этому адресу.

Для ТВ камер, использующих табличные методы формирования сигналов коррекции, изображения испытательных таблиц носят регулярный характер, определяемый числом зон разбиения раstra, в которых формируются сигналы коррекции и соответственно анализируются искажения. Так, испытательная таблица для камеры Link-130 (рис. 3.5.28) представляет собой белые квадраты на черном фоне, расположенные в центрах зон коррекции, число которых  $15 \times 15$ . Для камеры

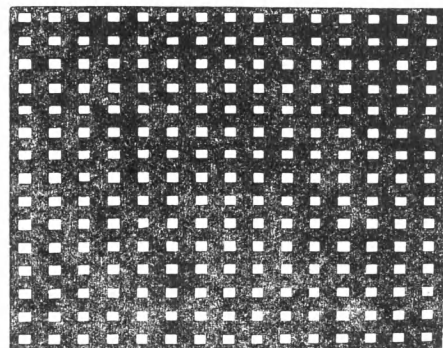


Рис. 3.5.28. Испытательная таблица камеры Link-130

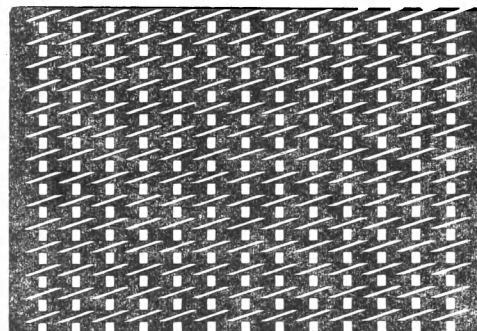


Рис. 3.5.29. Испытательная таблица камеры TTV-1525C

TTV 1525C также использует таблицу, имеющую регулярный характер (рис. 3.5.29), где в каждой зоне располагаются белый прямоугольник и наклонный белый штрих. Прямоугольники предназначены для совмещения

по горизонтали и регулировки баланса и неравномерности видеосигнала, а наклонные штрихи — для коррекции вертикальных рассовмещений в каждой зоне, число которых  $13 \times 14$ .

В камере Link-130 осуществляется также динамическая фокусировка электронного луча по площади раstra. При этом сигнал коррекции фокусировки также формируется табличным методом, т. е. определяется значение напряжения оптимальной фокусировки луча в каждой зоне. Для анализа фокусировки служит детектор, определяющий максимальный уровень ВЧ составляющих спектра видеосигнала.

**3.5.6. Система формирования раstra.** Она предназначена для отклонения электронного луча в передающих ТВ трубках. К ней относятся фокусирующе-отклоняющие системы (ФОС) и генераторы строчной и кадровой разверток (ГСР и ГКР), предназначенные для формирования идентичных растров на мишенях трубок и совмещения изображения с необходимой точностью. В систему формирования растров входят вспомогательные узлы, связанные с ГСР и ГКР: цепи дистанционной регулировки размеров и положения растров, формирования сигналов коррекции дифференциальных геометрических искажений, коррекции разномасштабности изображений, вызванной перестройкой фокусного расстояния варнообъектива либо изменением источника изображения (диапроектор, натурное изображение), а также цепи защиты передающих трубок с индикацией отсутствия строчной или кадровой развертки.

Электронный луч может быть отклонен с помощью полей как магнитного при использовании отклоняющих катушек индуктивности, так и электрического при использовании отклоняющих пластин в передающих трубках дефлектор. Для этого в отклоняющих катушках создают пилообразный ток, а на отклоняющие пластины подают пилообразное напряжение. В трубках с магнитным отклонением отклоняющее поле создается с помощью ФОС, которые состоят из строчных и кадровых отклоняющих катушек и фокусирующей катушки. Наиболее удачна конструкция ФОС, в которой используют катушки седлообразной формы. Основные параметры ФОС отечественных ТВ приведены в табл. 3.5.5.

Размеры растров, формируемых в камерах с разными диаметрами передающих трубок, имеют следующие значения:

Диаметр трубки, мм	30	25	18	25*
Размер раstra, мм	12,8×17,1	9,6×12,8	6,6×8,8	13,6×7,65

\* Стандарт ТВЧ, формат 16:9

Параметры систем формирования растров в многотрубных камерах ЦТ следующие:

Величина установочных регулировок размеров растров, %:

общих . . . . .  $\pm 10$

установочных центровок растров . . . . .	$\pm 10$
скачкообразного увеличения общих размеров для осуществления режима «вписывание» . . . . .	20...25
Координатные искажения, %, не более, для камер:	
студийных . . . . .	1
лучших образцов (например, камеры КСМ-125 Bosh, ФРГ) . . . . .	0,2
репортажных . . . . .	1,5
Установочное рассовмещение изображений отдельных трубок, %:	
внутри центрального круга диаметром 0,8 Н для студийных камер . . . . .	0,05
внутри круга диаметром L . . . . .	0,1
в остальной части раstra . . . . .	0,2
лучшие образцы камер, например камера НК-327 — Ikegami, обеспечивают установочное совмещение, %:	
по всей его площади раstra . . . . .	0,05
для репортажных камер	
в круте 0,08 Н . . . . .	0,1
в круте $\varnothing L$ . . . . .	0,2
в остальной части раstra . . . . .	0,4
Диапазон рабочих температур, °C . . . . .	-30+50
Нестабильность размеров растров (размахов пилообразного тока/напряжения) во всем диапазоне рабочих температур, %, не более . . . . .	$\pm 3$

Генераторы строчной развертки в системах формирования раstra с магнитным отклонением могут быть ключевыми и усилительными. Ключевые ГСР содержат ключевые генераторы пилообразного тока (КГПТ). В цепи отклоняющих катушек наряду с источником постоянной ЭДС должен быть источник корректирующего напряжения, линейно изменяющегося в течение прямого хода развертки. Это напряжение создается либо в КГПТ, либо с помощью дополнительного генератора пилообразного напряжения, либо генератором корректирующего напряжения с малым выходным сопротивлением.

Усилительные ГСР содержат источник линейно изменяющегося напряжения и выходной усилитель с большим выходным сопротивлением, поэтому отклоняющий ток в ФОС, включенных на выходе ГСР, имеет такую же форму, как и напряжение на выходе источника линейно изменяющегося напряжения, подключаемого ко входу выходного усилителя ГСР.

Для ключевых ГСР:

достоинства: устойчивость работы в области высоких частот по сравнению с частотой развертки; отсутствие дополнительного источника высокого напряжения; синусоидальная форма импульса на отклоняющих катушках во время обратного хода развертки, что снижает уровень наводки на сигнальную пластину передающей трубки во время обратного хода развертки;

Таблица 3.5.5. Основные параметры ФОС отечественных передающих камер

ФОС	Тип трубки	Диаметр колбы, мм	Камера	Строчные катушки				Кадровые катушки				Фокусирующие катушки		
				$L_s$ , мкГ	$R_s$ , Ом	$I_{cs}$ , мА	$W$	$L_k$ , мкГ	$R_k$ , Ом	$I_{ck}$ , мА	$W$	$R_f$ , Ом	$I_{fk}$ , мА	$W$
ФОС-308-4	ЛИ-432, глетикон	30	КТ-132	1000	2,8	190	$4 \times 26$	26 000	80	25	500	35	200	1900
ФОС-2682-01	ЛИ-484, 485, глетикон	25,4	КТ-179	210	8	500	72*	350	13,6	250	96*	42	215	1600
ФОС-188-1	ЛИ-488, глетикон	18	КТ-190	1300	3,8	210	$3 \times 72/2$	4 300	15	80	420	4,2	500	600

\* Печатная;  $I_{cs}$  и  $I_{ck}$  — размахи токов строчной и кадровой катушек;  $W$  — число витков.



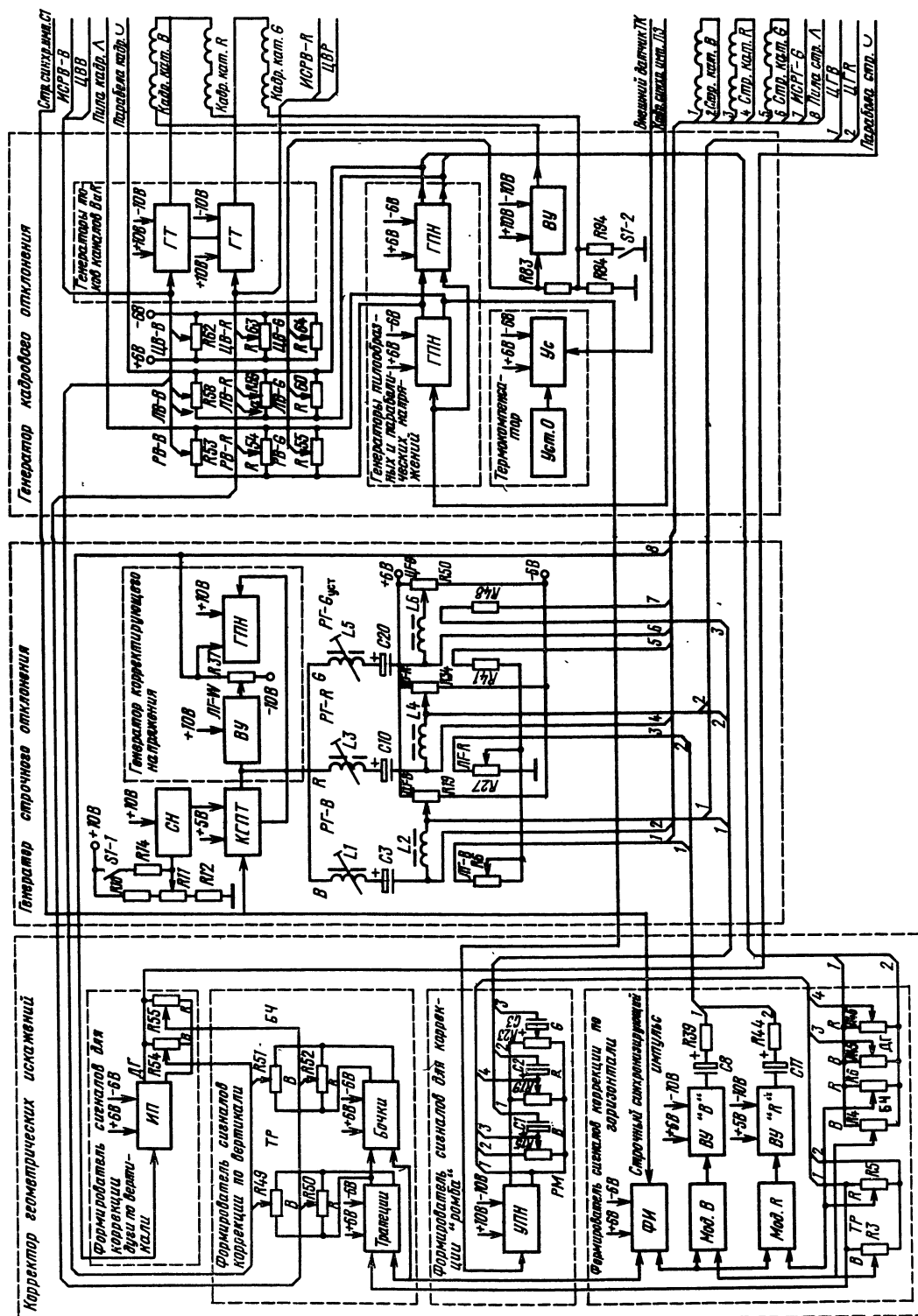


Рис. 3.5.30. Функциональная схема генератора отклонения (ИП — интегратор параболы, УПН — усилитель пилообразного напряжения, ФИ — формирователь импульсов, ВУ — выходной усилитель, СН — стабилизатор напряжения, ГТ — генератор тока)

недостатки: сложно обеспечить стабильность совмещения растров передающих трубок в части центровок и линейностей из-за трудностей введения отрицательных обратных связей по току строчных отклоняющих катушек; сложно вводить в отклоняющий ток сигналы коррекции геометрических искажений и выполнять дистанционные регулировки размеров растров; наличие моточных изделий в цепях регулировок.

#### *Для усилительных ТСР:*

достоинства: легко обеспечивать стабильность совмещения растров введением отрицательных обратных связей как по постоянному, так и по переменному токам, просто вводить сигналы коррекции геометрических искажений (в том числе, и дифференциальных) и дистанционных регулировок размеров растров; отсутствуют моточные изделия;

недостатки: трудно построить устойчивые в области ВЧ усилители пилообразного тока; крутые фронты и срезы импульсов напряжения на отклоняющих катушках во время обратного хода развертки, обуславливающие увеличение наводок на сигнальную пластину передающей трубки; необходимость использования высоковольтных транзисторов разной проводимости для построения экономичных оконечных каскадов выходных усилителей ГСР.

Генераторы кадрового развертки для камер ЦТВ наиболее часто строят по принципу: высококачественный генератор пилообразного напряжения (ГПН) и три идентичных стабилизированных усилителя пилообразного тока, нагруженных на кадровые катушки ФОС цветоделенных каналов. В репортажных камерах ЦТ используют общий выходной усилитель, обеспечивающий протекание отклоняющего тока в трех последовательно соединенных кадровых отклоняющих катушках. Система формирования раstra с использованием ключевого генератора постоянного тока в генераторе строчного отклонения и выходного усилителя в генераторе кадрового отклонения применена в репортажной камере КТ-190 (рис. 3.5.30) и состоит из генераторов строчного и кадрового отклонений и корректора геометрических искажений (КГИ). Генератор строчного отклонения включает функциональные узлы: ключевой генератор пилообразного тока (КГПТ), служащий для формирования тока пилообразной формы в строчных отклоняющих катушках трех магнитных систем; стабилизатор напряжения для питания выходного каскада КГПТ, выполняющий также общую регулировку размаха отклоняющего тока; генератор корректирующего напряжения (ГКН), формирующий линейно возрастающее напряжение для коррекции экспоненциальных искажений отклоняющего тока, обусловленных активными сопротивлениями отклоняющих катушек; цепи частных регулировок совмещения по строке.

Генератор кадрового отклонения включает функциональные узлы: генераторы пилообразных и параболических напряжений частоты полей; выходной усилитель, обеспечивающий протекание отклоняющего тока в трех последовательно соединенных кадровых отклоняющих катушках; генераторы токов каналов В и R, обеспечивающие введение частных регулировок для совмещения изображений; термокомпенсатор, предназначенный для компенсации температурных уходов положения раstra в каналах В и R.

Корректор геометрических искажений (КГИ) включает функциональные узлы: формирователи сигналов для коррекции «дуги» по вертикали; сигналов коррекции по вертикали, например («ромба» (РМ)); сигналов коррекции по горизонтали. Формирователь сигналов для коррекции «дуги» (ДГ) по вертикали формирует разнополярные параболические напряжения частоты строк. Эти напряжения используют для коррекции дугообразных искажений по вертикали в каналах В и R, которая осуществляется с помощью переменных резисторов R54, R55, «дуга». Кроме того, напряжение параболической формы подается на выходной соедини-

тель для дальнейшего использования в ТВ камере. Коррекция по вертикали осуществляется с помощью формирователей сигналов для коррекции «трапеции» (ТР) и «бочки» (БЧ). На их входы поступают импульсы частоты строк. На вторые входы для коррекции искажения ТР подается пилообразное напряжение частоты полей, а для коррекции БЧ — выходной сигнал с формирователя ТР. Разнополярные выходные сигналы коррекции, образованные перемножением пилообразных напряжений частот полей и строк, а также частот полей с напряжением квадратичной формы частоты строк, соответственно для сигналов коррекции ТР и БЧ, подаются на переменные резисторы R49, R50 и R51, R52 соответственно, а с них поступают на соответствующие входы генераторов тока каналов В и R.

Формирователь сигналов для коррекции «ромба» (РМ) состоит из усилителя пилообразного напряжения частоты полей и цепей подачи разнополярных пилообразных напряжений этой частоты в каналы В, R, G (R15, C1, R19, C2, R23, C3). Пилообразные напряжения частоты полей подаются через дроссели L2, L4 и L6 на высокопотенциальные выводы строчных отклоняющих катушек «Стр. кат. В, —R, —G» соответственно, создают пилообразный ток этой частоты в строчных отклоняющих катушках и тем самым корректируют ромбоидальные искажения растров.

Формирователь сигналов коррекции по горизонтали включает формирователь импульсов, два модулятора и два выходных усилителя. На модуляторы подают пилообразные и параболические напряжения частоты полей, а также импульсы частоты строк. С выходных усилителей сигналы коррекции по горизонтали (строчные импульсы, модулированные пилообразными и параболическими напряжениями частоты полей) через разделительные конденсаторы C8, C11 и балластные резисторы R39, R44 подаются на последовательно включенные с отклоняющими катушками переменные резисторы R6 ЛГ-В и R27 ЛГ-Р. Создаваемое на этих резисторах падение напряжения от сигналов коррекции вызывает протекание в отклоняющих катушках пилообразных токов, модулированных сигналами пилообразной и параболической формы частоты полей. Эти токи регулируют с помощью переменных резисторов R3, R5 ТР и R4, R6 БЧ, что позволяет корректировать трапецидальные и бочкообразные искажения в каналах R и В.

Подаваемые на переменные резисторы R45, R46 ДГ разнополярные параболические напряжения частоты полей снимаются с этих резисторов, поступают на цепи подачи напряжений формирователя «ромба» и создают параболический ток этой частоты в строчных отклоняющих катушках каналов В, R, обеспечивая тем самым коррекцию дугообразных искажений растров по горизонтали.

#### Список литературы

1. Телевидение. Под ред. В. Е. Джакония. — М.: Радио и связь, 1986.
2. Гершберг А. Е., Вишневский Г. И. Многосигнальные видиконы. — Л.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Секен К., Томпсет М. Приборы с переносом заряда: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978.
4. Гершберг А. Е. Электронный луч и потенциальный рельеф. Л.: Энергоиздат, 1981.
5. Однолько В. В. Новая камерная система вещательного телевидения // Техника кино и телевидения. — 1986. — № 3. — С. 4—11.
6. Флори Р. Е. Технические средства получения изображений // ТИИЭР, 1985. — Т. 73. — № 4. — С. 131—162.
7. Бычков Б. Н., Дамбит В. А. и др. Микропроцессорная система для автоматической настройки камер ЦТ //



Техника кино и телевидения.— 1984.— № 8.— С. 35—41.

8. Чесноков В. Н. Устройства автоматической фокусировки для фото-, кино- и ТВ камер // Техника кино и телевидения.— 1982.— № 3.— С. 63—69.
9. Пат. США 4320417, кл. H04N 3/26.

### 3.6. Телекино- и диапроекторы

**3.6.1. Общие сведения.** В отличие от студийной передачи, где объект освещен непрерывно, при телекинопроекции (ТКП) стандартный ТВ сигнал должен быть получен от кадров кинофильма, смена которых обеспечивает восприятие движения в объекте. В кинотехнике стандартизованы размер, взаимное расположение и частота смены кадров; ТКП система должна обеспечить согласование кино- и ТВ стандартов; частота смены кадров кино 24 к/с, а в ТВ имеет два значения: 25 и 30 к/с. Демонстрация фильма, снятого с частотой 24 к/с по ТВ стандарту 25 к/с, не вызывает заметных искажений. В ТКП системах, используемых в ТВ стандарте с 50 п/с, частоту смены кинокадров выбирают почти всегда 25 к/с. В этом случае устраняются помехи в изображении, возникающие с разностной частотой 1 Гц. При ТВ стандартах с 60 п/с повышать частоту смены кинокадров до 30 к/с недопустимо из-за значительных изменений как темпа движений, так и тональности звука. Стандартные театральные кинопроекторы сменяют кадры примерно за 8 мс, и ясно, что при использовании их механизмов невозможно произвести развертку всех активных строк обеих полей за время стояния кадра в кадровом окне (34 мс). Для решения этой проблемы возможны четыре пути: 1) сократить время транспортирования фильма до длительности гасящего импульса поля; 2) ввести элемент, сохраняющий зрительную информацию, а транспортирование фильма и ТВ развертку производить в одно и то же время; 3) растянуть транспортирование на весь период кадра и сделать движение равномерным, а вертикальную развертку изменить так, чтобы учесть это движение; 4) получить ТВ сигнал с нужным стандартным расположением строк во времени из ЗУ, а информацию заносить в него в том порядке, который легко согласуется с непрерывным транспортированием фильма.

*Системы с быстрым протягиванием фильма.* При завершении смены кинокадров в течение длительности гасящего импульса поля оба цикла вертикальной развертки можно расположить в интервале стояния фильма; при этом передача кинофильма не будет отличаться от передачи диапозитива и может быть осуществлена как передающими трубками, так и методом бегущего луча. Однако создать лентопротяжный механизм, в котором транспортирование фильма и придание кадру устойчивого положения завершилось бы за 1,6 мс, представляет весьма сложную техническую задачу. Успешное ее решение было достигнуто только для 16-мм киноплёнки, которую в современных условиях транспортируют сжатым воздухом за 800 мкс. Лучшие устройства для 35-мм киноплёнки транспортируют ее примерно за 3,5 мс, что, естественно, ведет к необходимости увеличивать до этого значения длительности гасящих импульсов обеих полей кадра, но при этом теряется около 60 строк полезной информации. Сложность конструкции механических узлов, относительно быстрый их износ, значительный шум, ненадежность работы при использовании киноматериалов, содержащих склейки, а также потери информации ограничили область применения систем с быстрым протягиванием в основном системами записи ТВ программ на 16-мм киноплёнку.

*Системы с импульсным засветом.* В трубках с внешним фотоэффектом зрительная информация запоминается в виде зарядов, распределенных по поверхно-

сти мишени, и эту информацию можно превратить в ТВ сигнал как во время освещения мишени, так и после, но уровни сигналов, полученные в первом и втором случаях, различны. Это приводит к дефекту воспроизводимого изображения в виде широкой горизонтальной полосы. Поэтому при использовании таких трубок применялся метод импульсного засвета. Каждый кинокадр освещают дважды в течение весьма коротких интервалов, проходящих на время вертикальных гасящих импульсов. Возникающий на накапливающей поверхности трубки потенциальный рельеф развертывают «по памяти», а кадры сменяются в течение примерно 10 мс во время одного из двух затемнений, проходящих на кадр. Импульсы засветки в большинстве систем создавались обтюратором с весьма узкими щелями, вращаемым отдельным двигателем; в более совершенных системах использовали импульсные источники света. Системы с импульсным засветом обладают крупным недостатком: по мере продвижения луча к низу изображения он развертывает потенциальный рельеф, хранящийся в течение более длительного времени, что снижает контраст в нижней части изображения. В системах цветной ТКП трубки с внешним фотоэффектом, а следовательно, и импульсный засвет не используют.

**3.6.2. Телекинопроекторы с передающими трубками.** Трубки с внутренним фотоэффектом являются основными для студийной и внестудийной передачи. Их использование для ТКП с прерыванием света на время транспортирования позволяет избавляться от горизонтальной полосы на изображении, причем засветка не ограничивается временем гасящего импульса.

При ТКП на части длительности кадра объект не освещен; свет прерывается для всех элементов, находящихся в разных местах по высоте мишени одновременно, т. е. в разное время по отношению к моментам их коммутации электронным лучом. Во время затемнений проводимость фотослоя мишени падает почти до нуля и заряд не изменяется, поэтому потенциал элемента к моменту коммутации получается одинаковым, если суммарная длительность освещения между коммутациями постоянна. Это равенство обеспечивает равенство сигналов, проходящих от разных мест изображения (по высоте), что позволит обойтись в ТКП системах данного типа без фазирования работы лентопротяжного механизма и ТВ развертки. Более того, допускается некоторая несинхронность в их работе при номинальном равенстве частот. Однако при разнице частот кино- и ТВ кадров возникают бинации, которые появляются на изображении в виде яркостных пульсаций с разностной частотой [4].

*Метод 2-3-2* используется для ТКП при частоте ТВ кадров 30 (рис. 3.6.1). Здесь кинокадры меняются 24 раза в секунду, причем нечетные кадры передаются тремя полями, а четные — двумя (или наоборот). Пленкотранспортирующий узел сменяет кадры фильма в кадровом окне за время затемнений, при этом обеспечивается разное время стояния четных и нечетных кадров.

На рис. 3.6.1, г видно, что изменение заряда элементов мишени у всех кадров одинаковы, что исключает заметность полосы и пульсаций яркости, а нарушение ритма движения в изображении практически не наблюдается.

Конструкция механической части ТКП, использующего трубки с внутренним фотоэффектом, весьма проста: кинопроектор с обычным временем транспортирования (8...10 мс) и обтюратор с одной лопастью на кадр, закрывающей свет во время транспортирования. Частота проекции 25 к/с, но синхронизация от синхронимпульсов телецентра необязательна. Телевизионную часть системы составляет цветная передающая камера с камерным каналом, аналогичная используемым в студиях; наряду с плюмбиконами применяют и видиконы.

В установки последних лет включен ряд устройств,

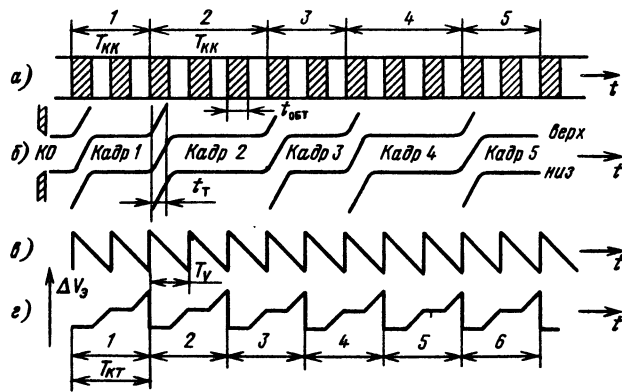


Рис. 3.6.1. Метод ТКП «2-3-2» (24 кинокадра на 30 ТВ кадров): а — обтюрация,  $T_{кк}$  — периоды кинокадров (четные и нечетные отличаются по длительности),  $t_{обт}$  — длительность затемнения (обтюрации); б — график транспортирования фильма, КО — кадровое окно,  $t_t$  — длительность транспортирования; в — график вертикальной ТВ развертки,  $T_\gamma$  — период ТВ поля; г — коммутация в видеоконе при 60 п/с,  $\Delta V_\varepsilon$  — изменение потенциала элемента,  $T_{кт}$  — период ТВ кадра

облегчающих их эксплуатацию, улучшающих качество изображения и расширяющих возможности показа. Так, в установку Magcon В 3404 входят два кинопроектора, два диапроектора, цветная камера, можно передавать фильмы при транспортировании их вперед и назад с разными скоростями от нулевой до удвоенной, передавать негативные киноматериалы; осуществляются быстрая перемотка фильма вперед и назад, мгновенные пуск и остановка, воспроизведение склеенного в кольцо куска фильма, работа как с оптической, так и с магнитной фонограммами. Облегчена зарядка фильма, можно (в черно-белом варианте) видеть на ВКУ кадр фильма или слайда, заряженного во втором кино- и диапроекторе во время передачи с первого. Автоматически выполняются: образование петель и поддержание их размера во время работы, остановка и переход на

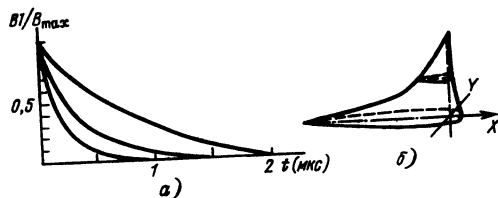


Рис. 3.6.3. Послесвечение развертывающих кинескопов и его влияние на ТВ сигнал: а — характеристики послесвечения; б — распределение энергии в развертываемом пятне; в — развертываемый диапозитив: узкая и широкая белые полосы на черном фоне; г — ТВ сигнал на выходе ФЭУ от этих полос,  $E_B$  — уровень белого без учета послесвечения

второй кинопроектор по металлической метке, наклеенной в конце части, переключение проекционных и читающих ламп при их перегорании, совмещение растров передающих трубок и т. п. Для повышения качества изображения предусмотрены регулировка светового потока с помощью нейтрального фильтра с переменной плотностью, балансировка по белому и черному, а также цветокоррекция и регулировка гаммы, которые выполняются автоматически или по заранее составленной программе.

Кроме комплексных установок многие фирмы (RCA, JVC, Ikegami) производят оборудование, которое можно комплектовать в двухпостовые теледиапроекторы. Кроме камер, ТВ кино- и диапроекторов в их состав входит оптический коммутатор (рис. 3.6.2). Параметры некоторых камер, проекторов и установок Magcon В 3404 приведены в табл. 3.6.1 (в конце раздела).

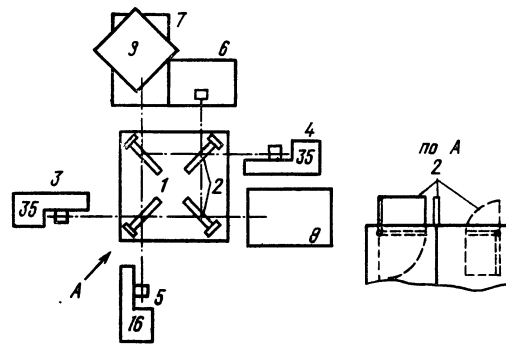
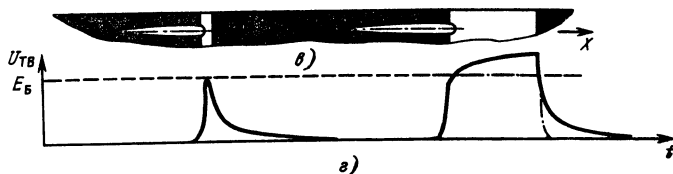


Рис. 3.6.2. Структурная схема телекинопроекционной установки с оптическим коммутатором (ОК) (1 — ОК; 2 — опускающиеся зеркала с двусторонним алюминированием; 3, 4 — 35 мм кинопроекторы, 5 — 16 мм кинопроекторы, 6 — диапроектор; 7 — основная, 8 — вторая (или резервная) ТВ кинокамера; 9 — ВКУ на поворотной платформе)

### 3.6.3. Телекинопроекторы с бегущим лучом:

1. Общие сведения. В современных системах бегущего луча в качестве источника света и одновременно развертывающего устройства используют кинескоп с коротким послесвечением. Но все же время послесвечения развертывающих кинескопов превышает длительность ТВ элемента разложения для разных спектральных областей в 4—25 раз. В этих условиях развертка ведется пятном сложной формы, в которой можно различить «голову» и «хвост». Голова представляет обычную колоколообразную апертуру, соответствующую тому месту, где луч находится в настоящий момент; хвост — затухающее свечение мест экрана, где луч побывал ранее (рис. 3.6.3, б).

Если развертывается изображение объекта в виде узкой белой полосы на черном фоне с шириной, заметно меньшей длины хвоста, то форма сигнала на выходе соответствует закону распределения интенсивности свечения в пятне по направлению развертки. В таком случае объект и развертывающий элемент как бы меняются местами (рис. 3.6.3, в). Когда ширина белой



полосы больше длины пятна, включая хвост, сигнал приобретает форму, показанную на рис. 3.6.3, г; здесь штрихпунктирной линией показана форма сигнала при отсутствии послесвечения. Из-за послесвечения уровень сигнала превышает уровень белого, а за белой полосой на ВКУ будет серая зона. Видеосигнал, содержащий такие искажения, можно корректировать с помощью пассивных линейных цепей. Влияние послесвечения на него весьма близко к действию интегрирующей цепи с резистором, включенным последовательно с конденсатором (рис. 3.6.4, а). Если такую цепь включить как элемент обратной связи, то сигнал приобретет нужную форму. Можно производить коррекцию и в цепи сигнала; здесь нужна дифференцирующая цепь с резистором, параллельным конденсатору (рис. 3.6.4, б). Люминофоры для трубок, работающих в цветных системах, многокомпонентные, и их свечение затухает по сложному закону, который можно представить как сумму не-

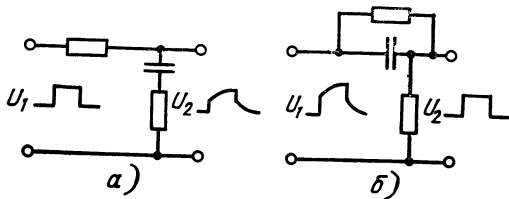


Рис. 3.6.4. Цепи коррекции послесвечения для включения в цепи: а — обратной связи; б — сигнала

скольких экспонент. Это заставляет применять для коррекции несколько цепей с разными значениями постоянных времени; точные устанавливают с помощью переменных резисторов при смене развертывающей трубки [3].

Сочетать систему передачи бегущим лучом с прерывистым движением кинофильма весьма сложно, если время смены кадров превышает длительность гасящего импульса поля, поэтому в таких системах используют непрерывное движение фильма и развертку его кадров «на ходу». Особенности развертки кадров 35 мм — фильма, движущегося с постоянной скоростью, рассмотрим для основного варианта, когда частота смены кинокадров 25 к/с и достигнуто фазирование (рис. 3.6.5). Здесь ломаная линия *abcdef* изображает график

разверткой со скоростью 25 к/с снизу вверх, то за период кадра  $T_k$  пленка продвинется на шаг кадра  $P$  и верх изображения 2 займет то место кадрового окна, которое в начале периода занимал верх изображения кадра 1. Развертывающий элемент, как и при неподвижном фильме, перемещается от верха к низу изображения. За время активной части первого поля развертывают нечетные строки *a—b*; во время вертикального гасящего импульса элемент перемещается вверх *b—c*, а затем развертываются четные строки *c—d*. Следует заметить, что скорость вертикального движения пятна примерно в 2 раза ниже, чем при развертке неподвижного фильма, так как пленка движется навстречу пятну и за время поля проходит примерно половину высоты изображения. Во время следующего вертикального гасящего импульса пятно развертывает следующий кадр, поэтому оно перемещается вниз через междукладовый промежуток *d—e* и далее движением *e—f* развертывает нечетные строки следующего кадра.

График вертикального перемещения развертывающего пятна справедлив для всех ТКП при плавном движении фильма, а также для систем записи стандартного ТВ сигнала на равномерно движущуюся кинолентку, создающих стандартный кинофильм. В некоторых ТКП в плоскости пленки создают в определенные интервалы времени два развертывающих пятна благодаря расщеплению света в оптической системе [5].

На разных этапах развития кинотехники промыш-

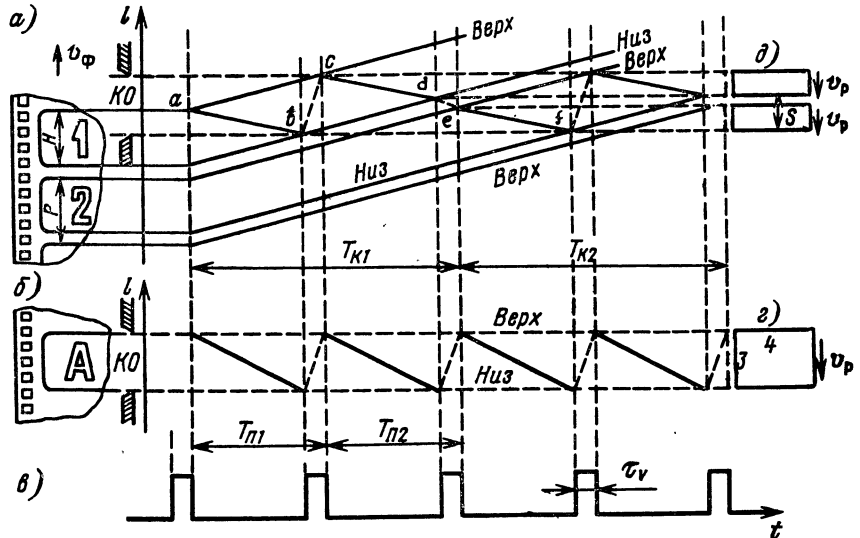


Рис. 3.6.5. Графики вертикальной развертки: а — кадров фильма, двигающегося непрерывно; б — неподвижного кинокадра ( $l$  — вертикальная координата; КО — кадровое окно;  $P$  — шаг кадра,  $H$  — высота изображения;  $U_{\Phi}$  — направление движения фильма,  $T_k$  — период кадра;  $T_{\Pi}$  — период поля), в — вертикальные гасящие импульсы ( $\tau_V$  — длительность гашения по полям); г — растр с соотношением сторон 4:3 при развертке неподвижного кинокадра ( $v_p$  — направление вертикальной развертки в плоскости кадрового окна); д — полурастры при развертке движущегося фильма ( $S$  — расстояние между центрами полурастров)

вертикального перемещения развертывающегося элемента в плоскости фильма, учитывающий его перемещение. В отличие от обычного чересстрочного растра  $g$  с отношением сторон 3:4 в этом случае четные и нечетные строки не чередуются, а располагаются отдельно, образуя два узких полурастра  $d$ . Нижний из них образован нечетными строками (поле 1), а верхний четными (поле 2). Стандарт на кинофильм определяет высоту изображения  $H$ , шаг кадра (длину пленки, приходящуюся на один кадр)  $P$ , а также направление движения фильма по отношению к верху сюжета. Телевизионный стандарт определяет направление вертикальной развертки (от верха к низу сюжета) и ее периодичность — два цикла за время кадра (нечетное и четное поля). Отсюда следует, что разлагающий элемент (пятно) в плоскости фильма должен перемещаться по единственно возможному графику.

В отличие от развертки неподвижного кадра  $b$ , где верх и низ сюжета представлены горизонтальными линиями, при развертке движущегося фильма  $a$  эти прямые наклоняются, повторяя график его равномерного движения. Так как фильм движется синхронно с ТВ

ленность выпускала кинопроекторы и съемочные камеры, в которых использовалось непрерывное движение пленки. В них перед пленкой расположено оптико-механическое устройство — выравниватель или компенсатор, которое изменяет направление световых лучей так, что они следуют за движущимся кадром.

2. ТКП с компенсатором в виде качающегося зеркала. Как видно из оптической схемы (рис. 3.6.6) и графиков работы (рис. 3.6.7), зеркало, поворачиваясь, «провождает» движущийся кадр и быстро возвращается назад, чтобы следить за следующим кадром. Такой компенсатор неоднократно пытались реализовать, поворачивая зеркало кулачковым механизмом. Была создана система, в которой зеркало двигалось по инерции. Разгон зеркала производился импульсом тока в рамке, жестко связанной с зеркалом и расположенной в поле мощного постоянного магнита. Быстро вернуть зеркало таких размеров, при которых обеспечивается необходимая светосила системы, технически сложно; трудно избежать вибраций и других нестабильностей при смене направления его движения. В механических системах серьезную проблему представляет из-

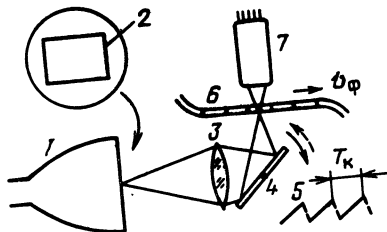


Рис. 3.6.6. Упрощенная оптическая схема устройства телекинопроектора с компенсатором в виде качающегося зеркала (1 — развертывающая трубка; 2 — растр на ее экране; 3 — объектив; 4 — качающееся зеркало; 5 — график его углового перемещения;  $T_k$  — период кадра; 6 — фильм;  $v_\phi$  — направление его движения; 7 — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ))

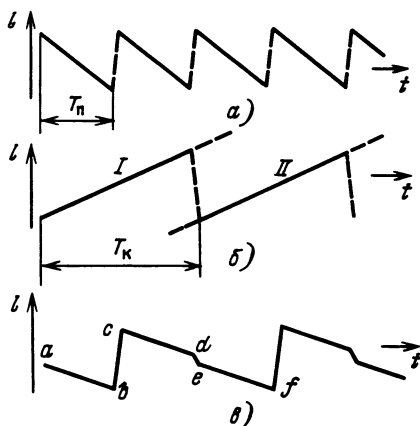


Рис. 3.6.7. Графики работы ТКП с оптической компенсацией: а — вертикальной развертки; б — перемещения пятна компенсирующими элементами; в — вертикального перемещения развертывающего пятна в плоскости пленки ( $l$  — вертикальная координата)

нос, поэтому они не вышли из стадии лабораторных разработок. Распространение получили системы, в которых два или большее число элементов осуществляют компенсацию по очереди — *системы компенсации с вытеснением*. Общее для таких конструкций — расщепление светового потока на два с тем, чтобы можно было их направлять на компенсирующие элементы, работающие последовательно. Это значит, что отрезок I графика (рис. 3.6.7, б) образуется действием одного компенсирующего элемента, а отрезок II — другого, и для возврата их в исходное состояние имеется отрезок времени, равный длительности кадра. Телекинопроекторы с попеременно работающими зеркалами выпускали многие фирмы. Такие системы могут иметь высокую светосилу, но сложны в производстве, в них трудно устранить мигания, особенно с частотой смены компенсирующих элементов 12,5 Гц.

3. Призмённые компенсаторы (рис. 3.6.8) широко распространены. Каждая пара параллельных граней призмы представляет собой плоскопараллельную стеклянную пластину. При ее повороте происходит параллельное смещение проходящих через нее лучей, пропорциональное углу поворота (при малых углах). Световой поток от любой точки растра, выходящий из объектива при определенных положениях призмы, делится ее ребром на две части, идущие внутри призмы по разным путям. Вращение призмы увязано с перемещением фильма, и поворот на одну грань соответствует продвижению фильма на один кадр. Два изображения пятна следуют за соответствующими точками двух смежных кадров. По мере входа грани в

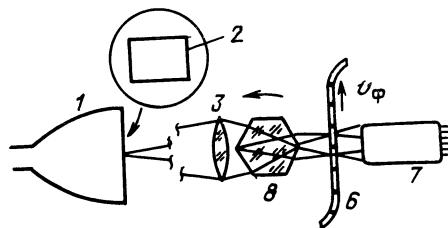


Рис. 3.6.8. Устройство телекинопроектора с компенсатором в виде многогранной призмы 8 (остальные обозначения как на рис. 3.6.6)

световой поток яркость пятна, создаваемого проходящим сквозь нее светом, растет, а другого пятна — падает, то же происходит с следующей парой граней и т. д. Время, в течение которого развертываются два смежных кадра, называют интервалом вытеснения.

Призмённый компенсатор широко применяется для 16-мм телекинопроекторов, используемых в кинопроизводстве. Качество создаваемого им изображения не очень высоко из-за неточности компенсации, низкой световой эффективности и ряда других причин, но они просты в эксплуатации, мало подвержены износу и не требуют периодической юстировки. Создать их для широкой пленки весьма трудно.

Два элемента изображения, расположенные рядом по вертикали, при чересстрочной развертке развертываются строками, принадлежащими разным полям. Чтобы это выполнялось в ТКП системе с непрерывным движением пленки, где соседние строки четных и нечетных полей развертываются в разных местах кадрового окна, необходима высокая точность компенсации, т. е. соответствие перемещения пятна оптическим элементом реальному перемещению кадра. Небольшая неточность положения центров полурастров по отношению к кадру фильма приведет к снижению четкости изображения, а при большой ошибке — к его «двоению» с частотой 25 Гц. Этот дефект называют несовмещением центров. Аналогичные ошибки могут быть локальными, например, возникать по углам изображения. Это зональное несовмещение. Эксперименты показывают, что для высококачественных ТКП систем несовмещение центров не должно превышать трети диаметра развертывающего элемента, т. е. примерно 10 мкм для 35-мм кинофильма. Допустимые зональные несовмещения сильно зависят от площади зоны, где они наблюдаются. Можно считать, что для углов изображения допустима ошибка в два диаметра развертывающего элемента. На точность совмещения центров влияют три причины: неточность перемещения пятна компенсирующим элементом, неравномерность движения фильма лентопротяжным механизмом и усадка фильма. Зональное несовмещение вызывается дисторсией оптических систем и ВЧ колебаниями скорости фильма; на практике решающее значение имеют систематические ошибки в вертикальном направлении. Точное перемещение пятна и транспортирование фильма требует хорошо продуманных конструктивных решений и высококачественного исполнения ТКП. Усадка основы современных фильмов обычно меньше 1%, но изменение ее даже на 0,5% ведет к появлению ошибки совмещения порядка 100 мкм, что в 10 раз превышает допустимое значение. Поэтому системы с непрерывным движением фильма снабжаются устройствами, с помощью которых вручную или автоматически изменяется размах перемещения пятна компенсирующим элементом в зависимости от усадки основы фильма.

4. Электронные ТКП. График вертикального перемещения развертывающего элемента в плоскости фильма можно получить и другим путем — суммированием пилообразной составляющей частоты 50 Гц и П-импульсной составляющей частоты 25 Гц (рис.

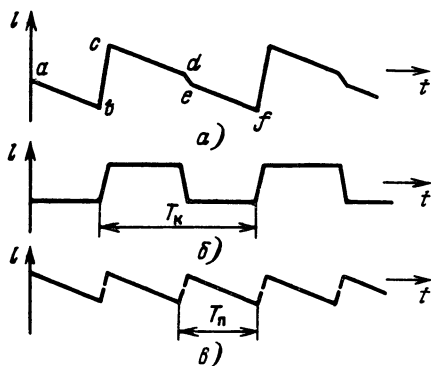


Рис. 3.6.9. Графики работы электронной системы ТКП: *а* — перемещение развертывающего пята — результат суммирования; *б* — П-импульсы частоты 25 Гц; *в* — вертикальная ТВ развертка уменьшенного размаха; (*l* — вертикальная координата)

3.6.9). Этот путь определяет системы кинопроекции, в которых движение фильма участвует в вертикальной развертке. В них размах пилообразных колебаний вертикальной развертки уменьшен примерно вдвое, недостающую часть добавляет встречное движение фильма. Благодаря наличию импульсной составляющей частоты 25 Гц пята «догоняет» ушедшую вверх пленку, чтобы развернуть четные строки.

В электронной системе два полурастра получают непосредственно на экране развертывающей трубки (рис. 3.6.10). Для вертикального перемещения луча слу-

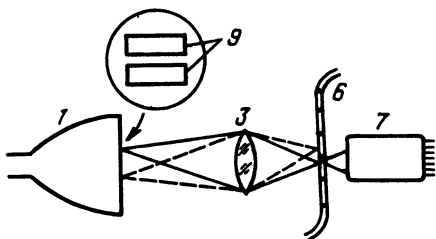


Рис. 3.6.10. Оптическая схема электронного ТКП: 9 — полурастры на экране развертывающей трубки. Остальные обозначения как на рис. 3.6.6

жат два генератора — пилообразного и П-импульсного тока. Оптическая часть состоит из одного объектива, поэтому система может обладать высокой светосилой и, следовательно, создавать высококачественное цветное изображение. В ней отсутствуют механические устройства, кроме лентопротяжного механизма, что существенно упрощает конструкцию. Недостатком следует считать необходимость получения двух идентичных по геометрии полурастров на вполне определенном расстоянии друг от друга. Требуемая точность совмещения ограничивается подушкообразными искажениями раstra при плоском экране трубки, влиянием импульсной составляющей отклонения на линейно изменяющийся ток, зависимостью размеров полурастров (в том числе и расстояния между ними, определяющего смещение) от высокого ускоряющего напряжения кинескопа, которое трудно стабилизировать с необходимой точностью. Однако эти задачи на современной технической основе могут быть решены успешно, но, чтобы обойти затруднения, возникающие в электронной системе, был предложен ряд вариантов систем с расщеплением и удвоением развертывающего раstra [1].

5. ТКП с оптическим расщеплением (или удвоением развертывающего раstra). В большинстве конструкций применялась одна

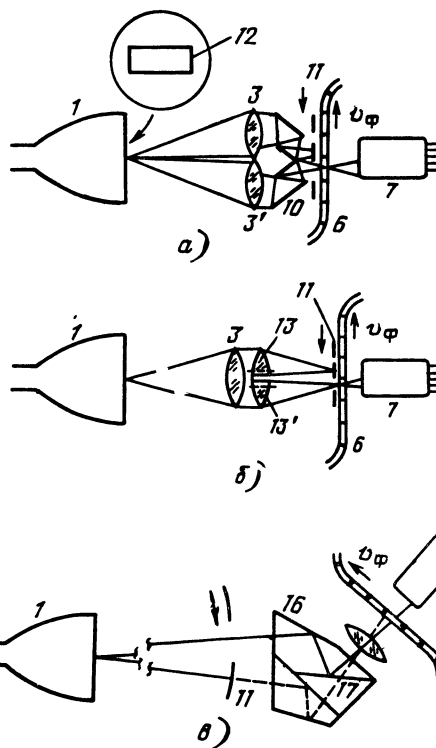


Рис. 3.6.11. Оптические схемы ТКП: *а* — с удвоением развертывающего раstra; *б*, *в* — с его расщеплением; 3, 3' — объективы; 10 — зеркальная сближающая система; 11 — лопасти обтюратора (стрелкой показано направление их движения); 12 — развертывающий растр уменьшенной высоты; 13, 13' — спиленные объективы; 16 — расщепляющий призмный блок; 17 — полупрозрачная отражающая поверхность. Остальные обозначения как на рис. 3.6.6

из трех оптических систем. В первой (рис. 3.6.11, *а*) развертывающий растр удваивается с помощью двух объективов и системы сближающих зеркал. Эта система светосильна, однако трудно реализуема из-за необходимости подбора двух объективов со строго одинаковыми фокусными расстояниями. Во второй системе (рис. 3.6.11, *б*) использованы три объектива: первый — с большим фокусным расстоянием, а за ним два рядом, расщепляющие световой поток и для этого срезаемые так, чтобы их оптические оси можно было расположить на расстоянии  $S=9,5$  мм. В промежутке между длиннофокусным объективом и парой других лучи идут параллельно. Благодаря этому срезаемые объективы пропускают больше света, однако светосила таких систем невысока. Третья оптическая система (рис. 3.6.11, *в*) содержит блок, склеенный из трех призм. Благодаря алюминированным поверхностям лучи претерпевают два отражения в каждом из оптических каналов. Ограждающая поверхность 17 полупрозрачна, это позволяет применить один светосильный объектив, но выполнить эту поверхность с высокой равномерностью значений коэффициентов отражения и пропускания весьма сложно. Такая система использована в ТКП типа TTV 2530. Принцип работы всех трех систем одинаков. На экране развертывающей трубки формируется растр с соотношением сторон 1:3 (1:2,93). С помощью оптической системы он проецируется на плоскость фильма два раза так, чтобы изображения находились на расстоянии  $S$ , а начало вертикальной развертки у обоих растров было сверху. Для получения графика рис. 3.6.9, *в* необходимо, чтобы верхний полурастр соответствовал четным полям, а нижний — нечетным. Это достигается применением обтюратора, который поочередно закрывает одно из двух изображений раstra так, что на пленку по-

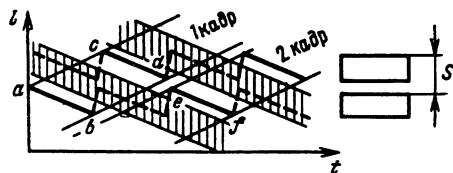


Рис. 3.6.12. График вертикального перемещения развертывающего пятна ( $a, b, c, d, e, f$ ) в системах с удвоением и расщеплением (заштрихованные области — движение «тени» от лопастей obtюратора в плоскости пленки;  $S$  — расстояние между центрами полурастров,  $l$  — вертикальная координата в плоскости кадрового окна)

падает только одно изображение развертывающего пятна. Чтобы не требовать от obtюратора перекрытия света за длительность гасящего импульса, его располагают вблизи пленки, где световые пучки частично сфокусированы; лопасти obtюратора движутся навстречу движению пленки, чтобы промежутки между лопастями следовали за лучом. В результате получается необходимый график вертикального отклонения (рис. 3.6.12).

6. ТКП с удвоением раstra параллельными зеркалами. Достоинство в простоте конструкции оптической части (один объектив) и высокой светосиле (рис. 3.6.13). Для наглядности угол  $2\beta$  резко

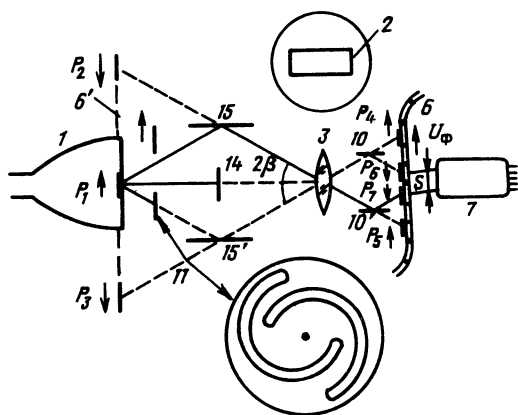


Рис. 3.6.13. Оптическая схема ТКП с удвоением раstra параллельными зеркалами (10, 10' — сближающие зеркала; 11 — obtюратор; 14 — заслонка; 15, 15' — удваивающие зеркала. Остальные обозначения аналогичны рис. 3.6.7.  $P$  — полурастры в сопряженных плоскостях. Стрелками показано направление развертки. Для наглядности угол  $2\beta$  резко увеличен)

увеличен. На экране развертывающей трубки 1 формируются растр 2 с отношением высоты к ширине примерно равным один к трем. Свет от пятна не может попасть в объектив 3 из-за заслонки 14 и попадает в него, отразившись от плоских зеркал 15 и 15', установленных параллельно оптической оси объектива. Таким образом, объектом для объектива являются два изо-

бражения  $P_2, P_3$  раstra  $P_1$ , которые так же, как и  $P_1$ , лежат в плоскости экрана трубки 6'. Эти изображения проецируются на плоскость фильма в уменьшенном виде ( $P_4$  и  $P_5$ ). В действительности лучи не достигают пленки 6 в этих местах: отражаясь от второй пары зеркал 10 и 10', они образуют два одинаковых раstra  $P_6$  и  $P_7$  на необходимом расстоянии  $S$  между центрами. Чтобы получить развертку только одним пятном, используют obtюратор 11. Он может быть расположен вблизи пленки, однако удобнее размещать его вблизи экрана трубки, придав форму диска со спиральными прорезями.

В ТКП отсутствуют трапециевидные искажения, так как на плоскость пленки проецируются растры, лежащие в плоскости экрана трубки. Если объектив в пределах рабочего угла  $2\beta$  обеспечивает высокую разрешающую способность и имеет малые значения дисторсии, точность совмещения весьма высока [6].

Параметры ряда ТКП с бегущим лучом приведены в табл. 3.6.1.

**3.6.4. Телекинопроекторы с однострочными ПЗС.** Последнее поколение ТКП базируется на линейных светочувствительных приборах с зарядовой связью ПЗС. В частности, прибор FCCD 133 DC, выпускаемый фирмой Fairchild, использован в ТКП фирм Bosch (EDL 60), Marconi (B 3404) и Rank Cintel (ADS 1). Преимуществами ТКП с такими преобразователями являются долговечность ПЗС по сравнению с передающими и развертывающими трубками, отсутствие влияния инерционности и послесвечения, а также «пропечатывания» и «выгорания», свойственных фотослоям и люминофорам этих трубок, отсутствие миганий с частотой полей. Для работы преобразователя на ПЗС не требуются высокие напряжения, а трудности совмещения возникают только при изготовлении, а не в эксплуатации. К этому следует добавить большой уровень сигнала, практическое отсутствие геометрических искажений изображения и высокую разрешающую способность. Главный недостаток линейных (однострочных) систем — вертикальная полосатость изображения, возникающая даже при незначительных отличиях в уровнях сигналов соответствующих различным элементам строки. Для устранения заметности этих фиксированных помех (ФП) требуются корректоры КФП. Получить стандартный чересстрочный сигнал с однострочного преобразователя без сложных оптико-механических устройств невозможно, поэтому все установки имеют кадровую память, с помощью которой построчный сигнал, полученный от ПЗС при равномерном движении фильма, преобразуется в стандартный чересстрочный.

**Однострочный ПЗС FCCD 133DC** (рис. 3.6.14) оформлен в виде микросхемы, имеющей 24 вывода с оптическим окном на верхней поверхности. Продольная структура представляет собой линейку из 1024 фотодиодов 2 и связанных с каждым из них накопительных конденсаторов (емкостей), а также нескольких элементов, создающих опорный уровень черного 3. Каждый фотодиод, имеющий активную площадь 13  $\text{м}^2$ , соединен с накопительной емкостью; на них за время актив-

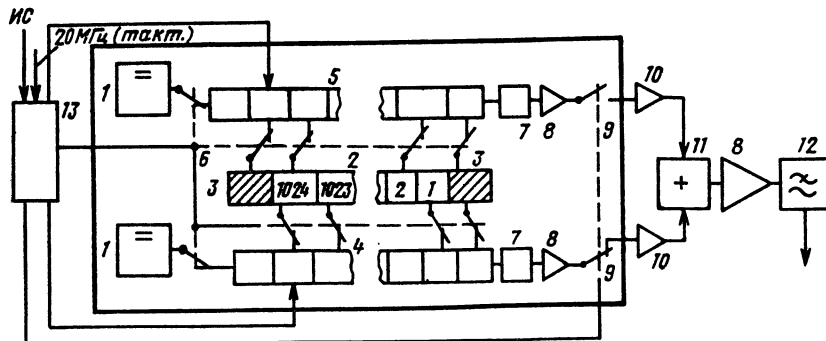


Рис. 3.6.14. Устройство линейного ПЗС (1 — источник опорного белого; 2 — линейка фотодиодов; 3 — ячейки генерирования уровня черного; 4, 5 — регистры нечетных и четных диодов; 6 — управление ключами занесения; 7 — плавающий затвор — преобразователь заряда в напряжение; 8 — усилители; 9 — стробирующие ключи; 10 — эмиттерные повторители; 11 — сумматор; 12 — ФНЧ; 13 — источник коммутирующих и продвигающих импульсов (ИС — импульсы строк))

ной части строки накапливаются заряды пропорционально освещенностям соответствующих фотодиодов. По обеим сторонам линейки фотоячеек расположено два регистра 4, 5. Четные ячейки подключены к параллельным входам верхнего регистра, а нечетные — к входам нижнего через ключи переноса 6, выполненные по МОП технологии. Эти ключи открыты в течение длительности строчного гасящего импульса, и за это время заряды с емкостей фотодиодных ячеек переходят на емкости регистров. Крайние секции регистров подключены к источникам опорного напряжения белого уровня 1. В момент окончания строчного гасящего импульса ключи переноса отключают фотоячейки от регистров, и на регистры начинают поступать тактирующие продвигающие импульсы с частотой 20 МГц. Каждый импульс переводит заряды из секции в секцию, а из крайних заряды попадают на элементы 7, преобразующие заряд в напряжение; образуется амплитудно-модулированный импульсный сигнал, соответствующий освещенностям нечетных (четных) ячеек. Вывод информации завершается за время активной части следующей строки; последним выходит импульс опорного белого. Продвигающие импульсы в верхнем и нижнем регистрах противоположны, благодаря чему импульсы сигналов на входах верхнего и нижнего усилителей 10 чередуются. В общую последовательность эти импульсы объединяются во внешнем сумматоре 11, но перед этим с помощью ключей 9 они попеременно стробируются, что повышает разрешающую способность прибора. Окончательную форму видеосигнал приобретает после ФНЧ 12, который устраняет частоту тактирования, ее гармоники и первую субгармонику, возникающую в сумматоре [7].

Телекинопроекторы с ПЗС содержат преобразователь построчного разложения в чересстрочное на базе цифровой кадровой памяти, что требует преобразования аналоговых сигналов в цифровые перед занесением в память и обратного преобразования после извлечения из нее. Сигнал, полученный с киноплёнки, нуждается в коррекциях апертурных искажений, цветопередачи и  $\gamma$ -коррекции. Корректоры могут быть как цифровыми, так и аналоговыми. В ТКП FDL-60 полученные с ПЗС аналоговые сигналы вначале корректируются (устраняется фиксированная помеха, производится цвето- и гамма-коррекция), устанавливается их необходимый уровень, и только затем аналоговые сигналы преобразуются в цифровые.

В канале ТКП типа ВЗ410 АЦП подключены после ФНЧ, следующих за ПЗС, а все коррекции и регулировки осуществляются по цифровым сигналам. Следует отметить, что это требует применения 11-разрядных АЦП и 13-разрядных устройств матрицирования, что заметно усложняет схемотехнику [8].

Телекинопроектор ADS1 отличается модульной компоновкой: к стойке с основными электронными устройствами и панелями управления можно пристыковать от одной до трех стоек с лентопротяжными механизмами, пригодными как для 35-мм, так и для 16-мм фильмов. Число ПЗС в оптическом блоке увеличено до четырех; четвертый работает через инфракрасный световой фильтр и служит детектором для компенсации дефектов изображения, вызванных царапинами фильма. Параметры ТКП на ПЗС приведены в табл. 3.6.1.

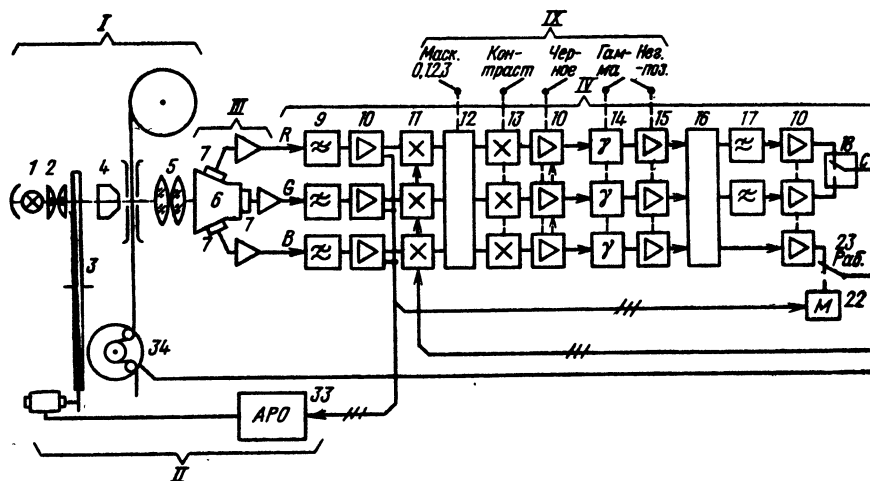
Телекинопроектор FDL-60 (рис. 3.6.15). Лентопротяжный механизм ТКП непрерывно движет фильм с помощью ведущего вала и двигателя 34 с системой автоматического регулирования 32, аналогичной используемой в видеомагнитофонах (САР-ВД). Тракты ленты универсальны — для 35 мм-, 16 мм- и «супер-8» фильмов; сменным для этих форматов является только оптический блок 5. Свет от осветителя с ксеноновой лампой 1, пройдя конденсатор 2, регулируется диодным фильтром с переменной прозрачностью 3 и формируется в виде узкой горизонтальной полосы устройством 4. Изображение части (по высоте) кинокадра проецируется объективом 5 на три линейных ПЗС 7. На каждый

из них приходит только определенная спектральная область, так как перед ними находится призма 6 с дихроичными светофильтрами. Сигналы R, G, B с ПЗС, работающих на тактовой частоте 19,6 МГц, усиливаются предварительными усилителями 8 и фильтруются от импульсной несущей фильтрами 9.

В усилителях 10 фиксируется уровень черного, ограничиваются пики белого и очищаются площадки гасящих импульсов. Подобные операции в каждом из каналов выполняются три раза. Быстродействующие модуляторы (перемножители) 11 осуществляют динамическое управление уровнем каждого из сигналов для устранения фиксированной помехи (ФП) по программе, находящейся в памяти устройства КФП 21. В память программа заносится нажатием кнопки «компенсация ФП» (переключатель 23) при включенной лампе до зарядки фильма в тракт. Для коррекции ФП сигналы R, G, B берутся из канала до модуляторов 11. Эти же сигналы в рабочем режиме используются после интегрирования для авторегулировки освещенности системой АРО 33 путем вращения диска 3. Первичная цветокоррекция и маскирование осуществляются матрицами 12 (три разных матрицы или обход). С помощью перемножителей 13 устанавливаются размахи сигналов. Эта и большинство других регулировок могут производиться как вручную, так и по программе от внешнего программатора (FRP 60); программу заносит в него во время просмотра фильма. Регулируется уровень черного, гамма (устройство 14); полярность сигнала для воспроизведения негатива сменяется в усилителях 15. Перед занесением в память для уменьшения ее объема сигналы R, G, B превращаются в Y, R—Y и B—Y матрицей 16; полоса цветоразностных сигналов ограничивается до 3 МГц (ФНЧ 17), и два сигнала объединяются в один «через элемент» мультиплексором 18. Два АЦП 19, 20 превращают сигнал Y и мультиплексированный сигнал цветности C в 8-разрядные цифровые коды, которые заносятся в память 24, состоящую из 480 16-килобитных микросхем. Четные и нечетные строки, следующие одна за другой, заносятся соответственно в память первого П1 и второго П2 полей, а извлекаются оттуда со сдвигом во времени на 20 мс, образуя сигналы чересстрочного разложения; АЦП канала Y 19 используется также для занесения в память КФП информации (переключатель 23) для коррекции фиксированной помехи. Сигналы R, G, B от «белой» строки мультиплексируются при этом в устройстве 22. С помощью ЦАП 25, 26 кодовые последовательности Y и C превращаются в аналоговые сигналы. Память яркостного сигнала выполняет также функцию задержки на одну и две строки для устройства вертикальной апертурной коррекции 28. Демультимплексор 27 превращает сигнал C в R—Y и B—Y. Эти сигналы, используя сигнал Y без введенных в него ВЧ составляющих от апертурного корректора, могут быть откорректированы в дополнительном цветокорректоре 29. В нем предусмотрена независимая регулировка по яркости, насыщенности и цветовому тону в шести цветовых областях: пурпурный, красный, желтый, зеленый, голубой и синий, а также регулировка общей насыщенности и насыщенности цвета в тенях. Этот корректор необходим при воспроизведении фильмов с низким качеством цвета (старых). Он позволяет также регулировать уровень черного, контраст и гамму при воспроизведении стоп-кадра из памяти, когда канал занесения в память (IV) не работает. Этот блок имеет также режим автоматической цветокоррекции баланса по цветности. В матрице 30 получают сигналы R, G, B, необходимые, например, для электронной рипроекции, а в кодере 31 — композитный сигнал цветной СТБ.

Система управления режимами аппарата VIII позволяет вести проекцию с разной скоростью: 50, 25, 18,  $16\frac{2}{3}$ ,  $6\frac{1}{4}$  к/с и с плавно регулируемой скоростью в пре-





делах 16...30 к/с (1400 ступеней) вперед и назад. Имеются режимы шаговый и стоп-кадра. Обеспечивается «поиск» — перемотка с видимым изображением со скоростью, превышающей нормальную в 10 раз (35 мм) и 25 раз (16 мм). В аппаратах модификаций с индексом В1, В2 предусмотрено воспроизведение анаморфированных фильмов не только с затемнением сверху и снизу (Letterbox), но и с выборкой нужной части кадра панорамированием при заполнении всей высоты (PanScan). На мониторе при этом виден весь кадр и границы, отделяющие непередаваемые участки.

**3.6.5. Теледиапроекторы.** Неподвижные изображения — диапозитивы (слайды) используют как заставки, иллюстрации, а также фоновые изображения для комбинированных кадров, получаемых с помощью электронной рирпроекции. Иногда такие изображения передают с помощью студийных камер, однако более удобно и экономично применять диапозитивы и теледиапроектор (ТДП).

В последнее время используют также накопители неподвижных изображений (ННИ) на магнитных дисках. Благодаря управлению от ЭВМ и большому объему одновременно «заряженных» изображений (примерно 1000) во время вещания ННИ не нуждаются в обслуживании. Однако ТДП не потеряли своей роли, так как служат источником информации для ННИ. Надо также иметь в виду, что стоимость ННИ существенно выше, чем ТДП. Объект передачи — цветной диапозитив размером 24×36 мм, вмонтированный в стандартную рамку 50×50×6 мм. Цветной ТДП можно построить объединением диапроектора и цветной передающей ка-

меры. Однако стоимость таких устройств, как первоначальная, так и в обслуживании, высока, и они используются только в составе комбинированной установки, состоящей из одной камеры, нескольких кинопроекторов, одного-двух диапроекторов и оптического коммутатора. В цветных ТДП широко применяется метод бегущего луча. В последних разработках используют линейный ПЗС.

В теледиапроекторе с бегущим лучом (рис. 3.6.16) источником света служит растр, создаваемый немодулированным электронным лучом на экране развертывающего кинескопа 4. Изображение раstra проецируется объективом 7 на диапозитив 8. Поскольку послесвечение люминофора кинескопа мало, можно считать, что по диапозитиву пробегает световое пятно, развертывающее изображение. Световой поток прошедший через элемент изображения, модулируется тремя цветными слоями красителей диапозитива и поступает на светоделительный блок 9. Здесь оптической системой 10 он превращается в практически параллельный и делится по спектру на три составляющие с помощью дихроических зеркал 11, 12. От каждой точки диапозитива свет через линзы 13 попадает на всю светочувствительную поверхность фотокатодов трех фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) 14—16. Это исключает появление паразитной АМ из-за неравномерности чувствительности фотокаатода. Сигнал на выходе ФЭУ пропорционален прозрачности диапозитива для данной спектральной области. Пройдя усилители 17, корректоры послесвечения 18 и корректоры 19—21 (см. ниже), сигналы с выходов 22 подаются в тракт телецентра. Диапозитивы хранятся

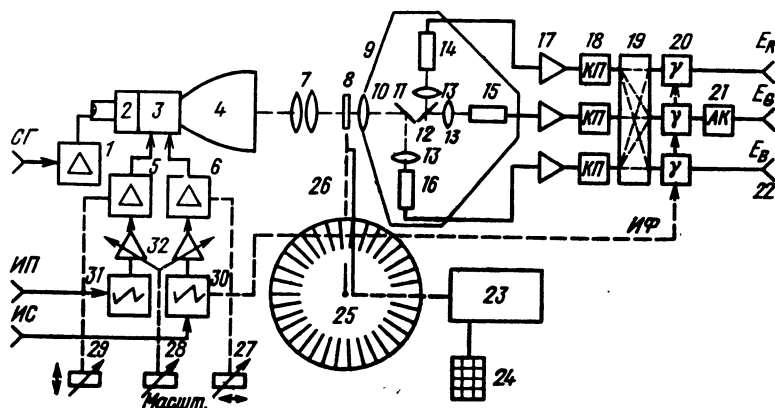


Рис. 3.6.16. Структурная схема теледиапроектора с бегущим лучом (ИП, ИС, ИФ — импульсы полей, строк и фиксации. Остальные обозначения в тексте)



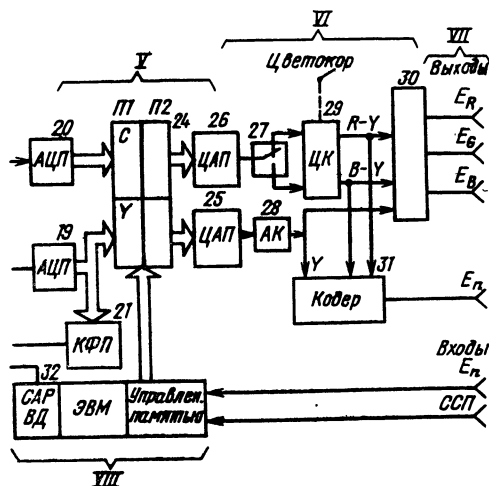


Рис. 3.6.15. Структурная схема ТКП FDL601 — лентопотяжный механизм (II — система автоматической регулировки освещенности; III — узел преобразователей «свет—сигнал»; IV — система обработки аналоговых сигналов; V — цифровая система; VI — система коррекции и кодирования; VII — панель входных и выходных сигналов; VIII — система управления режимами аппарата; IX — панель управления коррекцией. Остальные обозначения в тексте)

в магазине 25. Смена диапозитивов производится механизмом 26 и сервосистемой 23 с управлением вручную с помощью клавиатуры 24 или автоматически по командам ЭВМ. При смене осуществляется «уход в затемнение» путем гашения кинескопа, подаваемым с управляемого усилителя 1. Отклоняющие токи по строкам и полям с генераторов 30, 31 подаются на фокусирующе-отклоняющую систему 2, 3 через выходные каскады 5, 6. Изменяя размах этих токов в усилителях 32, управляемых регулятором 28, можно масштабировать изображение. Можно также перемещать его по горизонтали и вертикали с помощью регуляторов 27, 29. Если размеры раstra превышают номинальные, то участки «превышения» гасятся по строкам и полям; изображение будет уменьшено, и его используют для полиэкрана, угловой «врезки» и т. п. Если растр на развертывающем кинескопе меньше номинального, то получается увеличенное изображение части кадра. Предел увеличения устанавливается разрешающей способностью кинескопа.

Современные киноплёнки, из которых изготавливают диапозитивы, позволяют получить изображение высокого качества, в том числе и по цветопередаче. Однако трудно согласовать характеристики цветоделиения системы бегущего луча и спектральные характеристики поглощения слоев красителей позитивной или обращаемой пленки. Идеальные кривые поглощения каждого из слоев должны были бы пропускать без ослаблений две из трех спектральных областей, например красную и синюю, и модулировать световой поток третьей области значений. На практике этого нет. Каждый из слоев воздействует на световые потоки и в других спектральных областях. Это требует применения электронной коррекции цветопередачи путем перекрестных связей между каналами, т. е. подачи сигналов каждого из цветовых каналов в два другие в необходимой полярности, что осуществляется в матричном цветокорректоре 19. Коэффициенты рассчитывают исходя из характеристик цветоделиения бегущего луча и данной пленки.

Устройства  $\gamma$ -коррекции 20 и апертурной коррекции (оконтуривания) 21 практически не отличаются от аналогичных устройств в передающих камерах.

Теледиапроектор на линейном ПЗС создан Фирмой Thomson videoequipment (Франция). В компактном ТДП TTV 2710 использованы три ПЗС с 2048 элементами и оптико-механическое устройство для вертикальной развертки в сочетании с цифровой кадровой памятью. При этом нет необходимости иметь цикл его срабатывания, равный длительности поля или кадра, и могут быть применены простые и надежные устройства. Полученные от ПЗС сигналы R, G, B фильтруются от паразитных устройств частоты тактирования, подвергаются

коррекции неравномерности фона,  $\gamma$ - и апертурной коррекции, а затем в АЦП превращаются в восьмибитовые импульсные последовательности с частотой квантования 13,5 МГц. В таком виде они направляются в память, в которой может храниться информация о двух полных кадрах, что обеспечивает мгновенный переход от кадра к кадру или смену изображений наплывом. Отдельный ЦАП позволяет просматривать второй слайд во время передачи первого. В основном канале предусмотрена программируемая для каждого из 80 слайдов коррекция цифровых сигналов по уровню черного, размаху, гамме, а также маскирование. Выходные цифровые сигналы могут быть использованы в цифровой аппаратуре, а для других применений превращаются в аналоговую форму. Развертка позволяет работать и при стандарте с 60 п/с.

### Список литературы

1. Graziano V., Schlesinger K. Continuous all electronic Scanner for 16 mm color motion picture film // JSMPTE 1954, Vol. 62.— № 6.
2. Ranc Cintel Mark III FbyingSpot Telecine // JSMPTE. — 1982.— Vol. 91.— № 10.
3. Van der Poel F. A Flying Spot Scanner for TV35mm film // Philips techn. review.— 1956.— Vol. 18.— № 7.
4. Кинотелевизионная техника / М. В. Антипин, Ю. С. Косарский, Л. Л. Полосин, Д. А. Таранец/М.: Искусство, 1984.
5. Гольдин А. А., Таранец Д. А. Система телекинопроекции и видеозаписи с оптическим удвоением развертывающего раstra // ТКиТ.— 1959.— № 11.— С. 25.
6. Таранец Д. А. Двухпостовый телекинопроектор для непрерывной передачи цветных кинофильмов // ТКиТ.— 1962.— № 10.
7. Linnemann G., Wurmus H. CCD-Bildsensor technik Suhl // THI/KDT.— 1983.— Vol. 52.— № 3.
8. Matchell R. The Marconi B3410 Line Arrey Telecine // JSMPTE.— 1982.— Vol. 91.— № 11.

Таблица 3.6.1. Параметры

Параметры	Элементы установок				Комбини- рованная установка	Телекино		
	ТВ кинокамеры		ТВ кинопроек- торы			с бегущим лучом		
	ТК 28	IVC 240 (241)	FR 35B	TR 66		В3404	МК II	МК III
1	2*1	3	4	5	6	7	8	9
<b>Кинопараметры</b>								
Вид фильма Плотность Усадка, % Формат, мм { 35 16 S8			+	+	ПН  +УВ +	ПН** 2 2	ПН** 3,5 3 +УВ + +	ПН** 2,5 — + +
Число ЛПМ			1	1	2**	1	1	1
Частота проекции, к/с {24 25			+0 +0	+	+0	+ +		+
Режимы			Р ШС	Р ШС	РИ Ш	— —	РИ —	РИ —
Вид движения фильма			ПР 3	ПР 3	ПР 3*10	НП	НП	НП
Время разгона, с { ИЗО звук			— 1	—	0 0,25 5*11	3 5	— 0,1	— 1
Катушки: метраж, км {16 мм 35 мм диаметр, см			0,91 — —	2,4 — —	1,22 0,91 51	0,91 43	— — 50	1,2 — —
Скорость перемотки { 35 мм в разях по от- ношению к рабочей { 16 мм			— —	— —	— —	— —	20 10	25 10
Неустойчивость { горизонталь кадра, ± % { вертикаль			0,2 0,2	0,1 0,1	0,1 0,1	— —	— 0,15	0,3 0,2
Мерцание, %						3		2
<b>Видеопараметры</b>								
Стандарт { 525/60 625/50 Цветная СТВ	+ + NPM	+ + —	—	—	+ PS	—	+ + —	+ — —
Разрешение, ТВЛ	600 —	400 —			— A 100	400 —	400 A 100	— A 100
Глубина модуляции на 5 МГц, %		35						
Неравномерность АЧХ, ± дБ, не более К-фактор, %, не более Перекас П-импульса 50 (60) Гц, %, не более	0,5 — (2)	— (2)	— —	— —	0,5 1,5 —	0,5 1 —	(1) —	(0,5) 1 —

телекино- и диапроекторов

проекторы			Диапроекторы		Условные обозначения, сокращения, условия измерений, вид
с линейным ПЗС			с бегущим лучом	с линейным ПЗС	
ADS1	B3410	FDL60	TAD701	TTV2710	
10	11	12	13	14	
ПН — —	ПН — — + +	ПН — — +УВД +	П —	ПН —	Н-негатив П-позитив  + — анаморфированный: обычный У — узкий* <sup>6</sup> , В — высокий* <sup>6</sup> , Д — с панорамированием* <sup>7</sup>
1...3* <sup>9</sup>	1	1			
+0 +0	+ +	+0 +0			О — проекция на обратном ходу
— С	Р ШС	РИ ШС			Р — регулировка частоты, И — поиск с ИЗО, Ш — шаговый, С — стоп-кадр
НП	НП	НП			ПР — прерывистое НП — непрерывное 3 — «2—3—2» (24 на 30 кадров)
— 0,1	— 0,1	0,1			Время установления номинальных параметров
— — 54	1,5 — 55	1,2 — 54			
20 10	25 10	— —			
— 0,15	0,1 0,1	0,1 0,1			Соответственно от ширины и высоты кадра
+ + NPS	+ + —	+ + NPMS	+ PS	+ + NPS	N — NTSC P — PAL M — PAL—M S — CEKAM
— A 100	400 A 100	— — 60...70	— — 50	— A 85...95	A — с апертурной коррекцией
1 — —	0,5 — —	3  2	0,5 — —	— — —	Без А в пределах 0,1...5 (5,5) МГц  Импульс 2 Т

Параметры	Элементы установок				Комбини- рованная установка	Телекино			
	ТК кинокамеры		ТВ кинопроек- торы			с бегущим лучом			
	ТК 28	IVC 240 ±(241)	FR 35B	TR 66		В3404	МК II	МК III	TR2530
1	2*1	3	4	5	6	7	8	9	
Отношение сигнал-шум, дБ, не менее	$\begin{cases} Y \\ R \\ G \\ B \end{cases}$	48*12	—			—	—	47	55(53)
		—	—			52	43	40	50(48)
		—	47			48	49	47	53(51)
		50*13	—			52	39	38	51(49)
Шум позиционный, % Когерентный, дБ						0,1 50	0,1 50		
Несовмещение, % высоты раstra (нс)	$\begin{cases} 1 \\ 2 \\ 3 \end{cases}$	0,05	0,15			0,1 (50)	—	—	—
		0,1	0,25			0,2 (100)	—	—	—
		0,2	0,25			0,3 (150)	—	—	—
Геометрические искажения, % высоты, не более	$\begin{cases} 1 \\ 2 \\ 3 \end{cases}$	0,5	1,0			0,25	} 1,0		} 1,0
		1,0	2,0			0,5			
		2,0				1,0			
Неравномерность фона, %, не более	$\begin{cases} \text{общая} \\ \text{местная} \end{cases}$	10					7,5 3	5 3	10
Коррекции:									
апертуры, дБ							12	12	12
наличие вертикальной АК							+	+	+
Гамма	$\begin{cases} \min \\ \max \end{cases}$	0,4	0,3			0,25	0,24	0,24	0,25
		(4)	(4)			P	P	P	P
Цветокоррекция, число матриц		0,7	1,0			1,6	0,76 7	0,76 7	0,55 P
Звуковые параметры									
оптическая фонограмма				10	7	7	8	7	7
Полоса частот $\begin{cases} f_{\text{в}}, \text{кГц, для 35 мм} \\ f_{\text{н}}, \text{Гц} \end{cases}$				40	50	8 50	50	8 50	10 40
ОСШ, дБ, не менее				55	55	—	—	53	60
Магнитная фонограмма:									
полоса частот $\begin{cases} f_{\text{в}}, \text{кГц} \\ f_{\text{н}}, \text{Гц} \end{cases}$				—	7 50	8 60	9 70	9 70	10 40
ОСШ, дБ, не менее				—	52	—	—	53	54
Детонация, %				— 0,15	—	(0,2)	0,1	0,1	0,15
Плавание, %					—		0,15	0,15	
Коэффициент нелинейных искаже- ний, %, не более				0,5		0,6	0,2...0,6	0,2...0,6	1
Общие параметры									
Вид преобразователя		В(П)	В			П	К	К	К
Диаметр, см		2,6	2,6			3,0	13	18	13

проекторы			Дианпроекторы		Условные обозначения, сокращения, условия измерений, вид
с линейным ПЗС			с бегущим лучом	с линейным ПЗС	
ADSI	B3410	FDL60	TAD701	TTV2710	
10	11	12	13	14	15
50 — — —	50 — — —	53 — — —	48 — — —	— 54 54 54	Значения в скобках — для 16 мм
			50		
} 0,1	} 0,1	— — —	— — —	— — —	Зоны: 1 — круг 0,8 высоты; 2 — круг 1,0 ширины
	} 1,0		} 1,0	} 1,5	3 — углы
	2		10 5	7	
12 + 0,24 Р 0,76 8	0,25 Р 1,2	+ 0,3 Р 1,0 Р, 3	0,4 (2) 1,0 4	+    	Р — плавная регулировка, в скобках — число ступеней регулирования
7 8 50 55	8 50 55	7 8 40 56 <sup>11</sup> 53			±2 дБ Невзвешенный шум
9 70 53	14 40 45	12,5 40 —			±2 дБ Невзвешенный шум
0,15	0,15	0,15 0,1 <sup>11</sup>			Эффективное значение в полосе 0,5...200 Гц (3 кГц)
—	0,5	—			
Л	Л	Л	К 13	Л	В — видикон, П — плумбикон, К — кинескоп + ФЭУ, Л — линейный ПЗС

Параметры	Элементы установок				Комбини- рованная установка	Телекино			
	ТВ кинокамеры		ТВ кинопроек- торы			с бегущим лучом			
	ТК 28	IVC 240 (241)	FR 35B	TR 66		B3404	МК II	МК III	TTV 2530
1	2*1	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Питание</b>									
Напряжение, В	100	115	115	115	110	200	110	117	
	130		208	208	125			127	
	200		230	230	200			220	
	260	(230)			250	250	240	240	
	допуск ±, %			10	10	6	6		7
Частота, Гц { от до	47	50—60	50	50	50	48	50	50	
	60	(50)	60	60	60	62	60	60	
Потребление, кВт	—	0,26	0,75	0,75	3,0	1,25	1,1	1,4	
<b>Размеры, мм:</b>									
высота	1470	1290 1375	2000	2000	1780	1830	1980	2005	
ширина	610	535	712	712	1950	2080	1340	950	
		562 535							
<b>Глубина масса, кг</b>									
	457	318	380	380	817	760	920	770	
	118	—	166	166	450	543	550	380	
<b>Число слайдов</b>									
Время { смен перехода, мс		200		2×30			16		
				2,5 10			40		

<sup>1</sup> Изготовители (по номерам столбцов): 2, 4, 5 — фирма RCA, США; 3 — IVC, США; 6, 11 — Marconi, Великобритания; 7, 8.

<sup>\*2, \*3, \*4</sup> Оптические схемы аналогичны рис. 3.6.11, б, рис. 3.6.10, рис. 3.6.11, а соответственно.

<sup>\*5</sup> С затемнением сверху и снизу.

<sup>\*6</sup> С обрезанием справа и слева.

<sup>\*7</sup> Панорамным движением выбирается сюжетно важная часть изображения по ширине.

<sup>\*8</sup> Два ЛПМ в установке могут быть различны: 2×35, 2×16 мм или 16 и 35 мм.

<sup>\*9</sup> Установка может содержать от одного до трех универсальных ЛПМ (35, 16 мм S 8).

<sup>\*10</sup> Для 16-мм пленки.

<sup>\*11</sup> Для 35-мм пленки.

<sup>\*12, \*13</sup> Для ПТВС ПАЛ и НТСЦ соответственно.

### 3.7. Кодирование устройств системы СЕКАМ

**3.7.1. Кодеры для ТВ комплексов.** Кодировщик устройство (кодер) предназначено для формирования из сигналов основных цветов  $E_R'$ ,  $E_G'$  и  $E_B'$  полного цветового ТВ сигнала (ПЦТС) по ГОСТ 7845—79. Основные технические требования: соответствие всем требованиям ГОСТ 7845—79; унификация с конструктивной базой оборудования ТВ комплексов; унификация присоединительных параметров, в том числе: размах входных видеосигналов 0,7 В, положительная полярность, входные и выходные импульсы в уровнях ТТЛ с отрицательной полярностью, полные сопротивления входов и выходов 75 Ом. Предусматривается возможность введения в ПЦТС сигналов испытательных строк (ИС), позволяющих автоматически контролировать параметры последующего тракта; электропитание 220 В  $\pm$  10 %, 50 Гц; диапазон рабочих температур 5...50°С; время непрерывной работы 24 ч.

В схеме кодера (рис. 3.7.1) можно выделить три основных канала формирования сигналов: яркости (узлы 3—7); модулирующего  $D_R/D_B$  (узлы 9—15); цветности (узлы 16—19).

1. Канал сигнала яркости. Сигналы  $E_R'$ ,  $E_G'$  и  $E_B'$  основного датчика и контрольные сигналы от

генератора цветных полос 1 подаются на коммутатор входов 2, который выбирает режим работы кодера, коммутируя тройки сигналов на входы матриц 3, 9, 11. Сигнал яркости  $E_Y'$  формируется матрицей 3 путем суммирования сигналов  $E_R'$ ,  $E_G'$ ,  $E_B'$  в нормированных весовых соотношениях. Корректор перекрестных искажений «яркость—цветность» 4 ослабляет спектральные составляющие сигнала яркости в полосе частот, соответствующей сигналу цветности. Амплитудный ограничитель 5 ограничивает сигнал яркости на 5 % выше номинального уровня белого и на 3 % ниже уровня черного. Линия задержки 6 (0,6...0,85 мкс) выравнивает во времени сигналы яркости и цветности. ПЦТС формируется в усилителе 7 путем суммирования сигналов яркости, цветности и ССП. Здесь же замешиваются сигналы испытательных строк ИС. Усилитель 7 имеет 3—5 выходов, рассчитанных на нагрузку в 75 Ом. Дополнительно может быть использована цепь очищения гасящих интервалов 5а, которую вводят после ограничителя 5.

2. Канал модулирующего сигнала. Цветоразностные сигналы  $D_R$  и  $D_B$  формируются матрицами 9 и 11, в каждой из которых замешиваются сигналы цветовой синхронизации СЦС—девять трапециевидных импульсов, генерируемых блоком 21. Далее сигналы  $D_R$  и  $D_B$  подвергаются НЧ предискажениям в корректорах

проекторы			Диапроекторы		Условные обозначения, сокращения, условия измерений, вид
с линейным ПЗС			с бегущим лучом	с линейным ПЗС	
ADSI	B3410	FDL60	TAD701	TTV2710	
10	11	12	13	14	15
110	110	110		110	Вариант I
240	125 200	120 220	220	220	Вариант II
50	250	240	10	47	
60	6	+5—10	47	63	
3,2—7,2	48	—	53	—	
	62	—	0,68		
	2,5	1,6—2,0			
1897	1985	1900	2005	330	
1200—2516	1290	1160	548	480	
780	590	835	736	730	
360—800	400	420	260	35	
			32	80	Слайды 50×50
			2	4	
				0,01	

10 — Rank Cintel, Великобритания; 9, 14 — Thomson video equipment, Франция, 12 — Bosch, Германия, 13 — Tesla, Чехословакия.

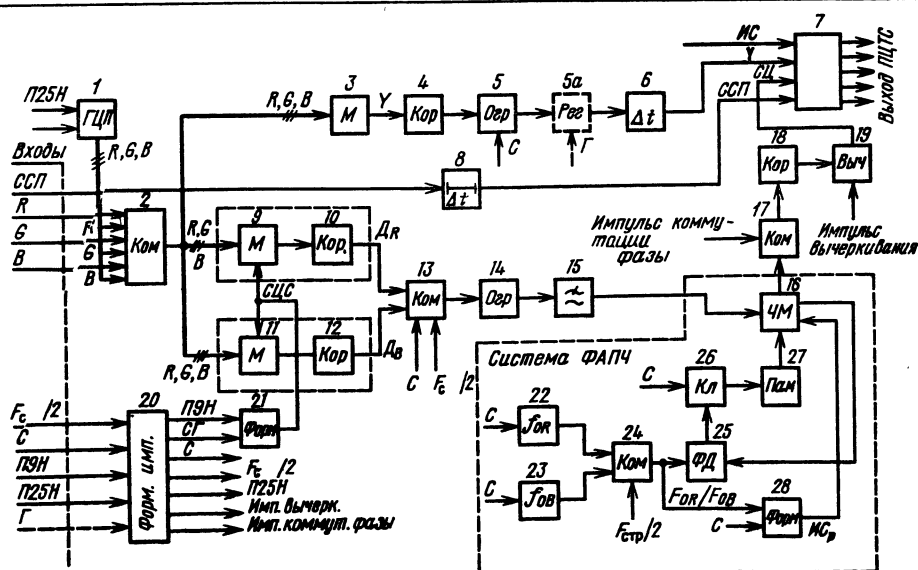


Рис. 3.7.1. Структурная схема кедера SEKAM

10 и 12. Коммутатор 13 построчно (с частотой  $F_c/2$ ) переключает их, образуя последовательность  $D_R/D_B$ , в которой каждый из сигналов имеет свой уровень постоянной составляющей. Несимметричное двухстороннее ограничение максимальных уровней цветоразностных сигналов, общее для  $D_R$  и  $D_B$ , определяет максимальные значения нормированной девиации. Пьедестал формируют коммутацией цветоразностных сигналов с разными постоянными уровнями или сигналов, приведенных к одному постоянному уровню, и последующим замешиванием импульсов частоты  $F_c/2$  определенного размаха. Фильтр нижних частот 15 (с граничной частотой 1,3 МГц на уровне —3 дБ) формирует спектр модулирующего сигнала.

3. Канал сигнала цветности. Частотный модулятор 16 выполнен в виде генератора, управляемого напряжением (ГУН), где цветные поднесущие  $f_{0R} = 4406,25 \pm 2$  кГц и  $f_{0B} = 4250 \pm 2$  кГц модулируются по частоте сигналами  $D_R$  и  $D_B$  соответственно. Стабильность частот, генерируемых ГУН, поддерживается системой ФАПЧ, которая работает следующим образом: сигнал ГУН и одна из поднесущих частот от генератора 22 или 23 через коммутатор 24 подаются на фазовый детектор 25, который вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный разности частот (фаз) сравниваемых колебаний. Через ключ 26, замыкаемый только в интервале строчного гасящего импульса на время примерно 8...10 мкс, сигнал ошибки поступает на элемент памяти 27 — конденсатор, включенный на одном из управляющих входов ГУН. На нем образуется напряжение, сдвигающее частоту колебаний ГУН в нужном направлении до значения, равного опорной поднесущей частоте. При размыкании ключа 26 напряжение на элементе памяти сохраняется неизменным, поддерживая заданное номинальное значение частоты колебаний ГУН. В интервале активной части строки на ГУН поступает модулирующий сигнал  $D_R/D_B$ , соответственно изменяющий частоту его колебаний.

В рассматриваемой системе ФАПЧ на элементе памяти при коммутации строк с сигналами  $D_R$  и  $D_B$  и синхронном переключении опорных поднесущих частот  $f_{0R}$  и  $f_{0B}$  вырабатываются попеременно два соответствующих значения напряжения, подстраивающие частоту колебаний ГУН к «своей» опорной частоте с точностью до ее фазы. Возможен вариант построения системы ФАПЧ с двумя элементами памяти, каждый для подстройки к одной из опорных частот, и дополнительным коммутатором, подключающим к ГУН либо один элемент памяти, либо другой. Такие системы имеют меньшее время установления и в них можно несколько сократить время работы ФАПЧ в замкнутой петле.

Опорные поднесущие, когерентные с частотой строк, формируются генераторами 22 и 23; на них поступают импульсы частоты строк  $C$ , из которых путем кварцевой фильтрации выделяются 272- и 282-я гармоники строчной частоты. Широко применяется и другая система, обеспечивающая жесткую связь (кратность) между опорными поднесущими и частотой строк — использование автоколебательного генератора с системой ФАПЧ. В него входит кварцевый генератор, перестраиваемый в пределах примерно  $\pm 400$  Гц с помощью варикапа, фазовый детектор, на вход которого подаются генерируемая поднесущая и импульсы частоты строк, и усиленно-фильтрующая цепь, управляемая варикапом. Система ФАПЧ работает в замкнутой петле. Сигнал ошибки, выделяемый фазовым детектором, через усиленно-фильтрующую цепь изменяет емкость варикапа, подстраивая частоту кварцевого генератора до номинального значения с точностью до фазы.

Повышение стабильности частоты ГУН и быстрого действия системы ФАПЧ обеспечивается срывом колебаний ГУН на время 0,7...1,5 мкс специальными импульсами с формирователя 28. Импульс срыва ИСР предшествует импульсу, управляющему ключом 26. Длительность ИСР такова, что он оканчивается всегда в

фазе с фронтом колебаний чередующихся опорных частот поднесущих, что достигается дополнительным управлением формирователя 28 колебаниями опорных частот. С приходом ИСР колебания ГУН прерываются, а затем вновь возникают в строго одинаковой фазе с колебаниями опорной поднесущей. Таким образом, на фазовом детекторе 25 в момент замыкания ключа 26 сравниваются сфазированные колебания. При этом создаются оптимальные условия работы системы ФАПЧ, когда процесс ее установления единообразен во всех строках поля с минимальным временем установления 2...3 мкс, а частота колебаний ГУН поддерживается с точностью  $\pm 1,5$  кГц. В противном случае при неблагоприятных начальных фазовых соотношениях сравниваемых колебаний  $+\pi/2$  или  $-\pi/2$ , выделенного времени работы системы ФАПЧ на строчном гасящем интервале не хватает для установления ее переходного процесса.

Сформированный ГУН частотно-модулированный сигнал (сигнал цветности) подается на коммутатор 17, изменяющий его фазу на противоположную в каждой третьей строке и от поля к полю. Закон изменения фазы определяется формой управляющих импульсов, генерируемых блоком 20. Введение ВЧ предискажений и ограничение спектра частот сигнала цветности полосовым фильтром осуществляется в цепях 18. В интервалах строчного и кадрового гасящих сигнал цветности подавляется цепью 19. Сформированный сигнал цветности подается на усилитель 7 для образования ПЦТС.

Кодер работает от унифицированных импульсов, поступающих от синхрогенератора: частоты строк  $C$ ; полустрочной частоты  $F_c/2$  для цветовой синхронизации — их положительные полупериоды соответствуют строкам  $D_R$ ; полевые гасящие П25Н (где  $H$  — длительность строки); импульсы частоты полей П9Н, определяющие место сигналов цветовой синхронизации; сигнал синхронизации приемников ССП; смесь гасящих  $G$  — в случае применения в канале сигнала яркости регенератора гасящих сигналов. Все импульсы имеют отрицательную полярность (кроме импульсов  $F_c/2$  — меандры) и размах 3...4 В. (В последних моделях кодеров оговорены входные уровни ТТЛ.)

Применяют также варианты построения кодеров, в которых сигналы цветности красных и синих строк формируют в отдельных каналах, а затем подвергают построчной коммутации. Для таких кодеров из структурной схемы рис. 3.7.1 исключается коммутатор 13 и каждый из цветоразностных сигналов  $D_R$  и  $D_B$  поступает в свой канал, содержащий амплитудный ограничитель 14, ФНЧ 15 и систему ФАПЧ с частотным модулятором 16. В этой системе содержится только один генератор опорной поднесущей частоты 22 или 23 и исключается коммутатор 24. Перед коммутатором фазы 17 вводится дополнительный коммутатор, переключающий построчно сигналы цветности красных и синих строк. При таком построении кодера несколько повышается стабильность частот покоя цветных поднесущих — она становится не хуже  $\pm 1$  кГц, так как система ФАПЧ работает с одной некоммутируемой опорной поднесущей, однако существенно усложняется и увеличивается по объему устройство в целом. Предъявляются также дополнительные требования к идентичности характеристик ФНЧ в разных каналах.

Для упрощения системы ФАПЧ — наиболее сложного функционального узла кодера, снижения требования к ее быстрдействию в двухканальном варианте построения в каждый канал вводят коммутатор, который запирает свой канал на время работы другого. В этом случае появляется возможность существенно — на время строки 64 мкс — увеличить интервал работы системы ФАПЧ, когда она находится в замкнутой петле. Тогда схема 28, уменьшающая время установления системы ФАПЧ, может быть исключена.

Кроме системы ФАПЧ к наиболее сложным функциональным узлам кодера относится корректор перекрестных искажений «яркость — цветность», который



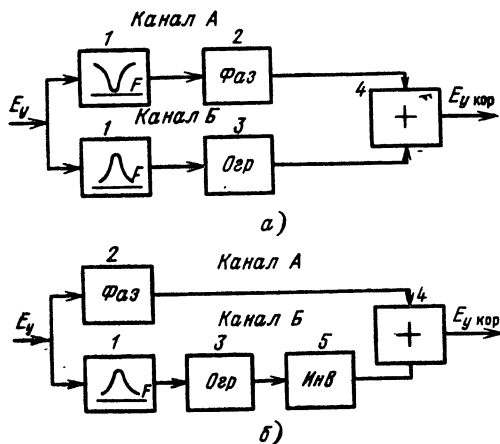


Рис. 3.7.2. Структурные схемы вариантов корректора перекрестных искажений «яркость—цветность»

может быть выполнен в двух вариантах (рис. 3.7.2). Коррекция состоит в частичном подавлении спектральных составляющих сигнала яркости, передающихся в полосе частот сигнала цветности, и каналом Б, в котором пропускаются только эти составляющие. Избирательные цепи 1 обоих каналов настроены на частоту 4286 кГц и являются взаимодополняющими. При реализации корректора обычно используют одну и ту же резонансную цепь для формирования АЧХ каналов А и Б. В канале Б применяют симметричный двухсторонний амплитудный ограничитель 3, ограничивающий сигнал сверху и снизу. Если уровень выделенного в этом канале сигнала ниже порога ограничения, то сигнал свободно проходит ограничитель и поступает на один из входов сумматора 4. Выделенный в канале А сигнал через фазосдвигающую цепь 2, компенсирующую временную задержку, вносимую в канале Б, подается на второй вход сумматора 4. На выходе формируется неискаженный сигнал, так как искажения, вносимые в канале А, компенсируются сигналом канала Б; АЧХ корректора в этом случае равномерна.

Первый вариант корректора рис. 3.7.2, а образован каналом А, в котором режектируются составляющие сигнала яркости, попадающие в полосу частот сигнала цветности, и каналом Б, в котором пропускаются только эти составляющие. Избирательные цепи 1 обоих каналов настроены на частоту 4286 кГц и являются взаимодополняющими. При реализации корректора обычно используют одну и ту же резонансную цепь для формирования АЧХ каналов А и Б. В канале Б применяют симметричный двухсторонний амплитудный ограничитель 3, ограничивающий сигнал сверху и снизу. Если уровень выделенного в этом канале сигнала ниже порога ограничения, то сигнал свободно проходит ограничитель и поступает на один из входов сумматора 4. Выделенный в канале А сигнал через фазосдвигающую цепь 2, компенсирующую временную задержку, вносимую в канале Б, подается на второй вход сумматора 4. На выходе формируется неискаженный сигнал, так как искажения, вносимые в канале А, компенсируются сигналом канала Б; АЧХ корректора в этом случае равномерна.

При превышении порога ограничения сигнал канала Б уже не будет компенсировать искажения, вносимые в сигнал каналом А. АЧХ корректора приобретает провал в области коррекции с максимальным ослаблением на частоте 4286 кГц. Таким образом, корректор перекрестных искажений работает так, что уровень сигнала на частоте 4286 кГц остается постоянным, а глубина режекции является функцией уровня составляющих сигнала яркости, попадающих в полосу частот сигнала цветности. В последних моделях кодеров АЧХ корректора нормируется (рис. 3.7.3). Максимальное ослабление сигнала на частоте 4286 кГц составляет —20 дБ с возможностью регулировки (путем изменения порога ограничителя) в пределах —12...—20 дБ.

Во втором варианте корректора (рис. 3.7.2, б) АЧХ формируется одной избирательной цепью 1, введенной в канал Б. Здесь амплитудный ограничитель 3 не пропускает сигналы малых размахов, ослабленные на 20 дБ и более, т. е. работает с ограничением середины сигнала. При малых размахах сигналов канал Б закрыт и на выход корректора проходит сигнал канала А, не подвергаясь коррекции. Сигналы, размах кото-

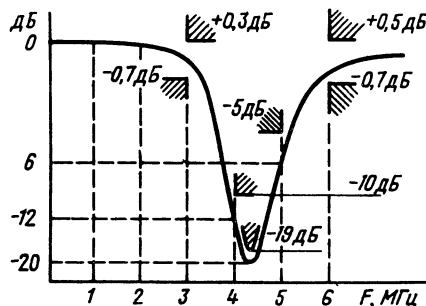


Рис. 3.7.3. Амплитудно-частотная характеристика корректора перекрестных искажений

рых превышает порог ограничения, проходят через ограничитель 3, изменяют полярность в инверторе 5 и суммируются с сигналами канала А. Таким образом, из сигналов канала А вычитаются сигналы канала Б, внося соответствующее ослабление составляющих сигнала в области коррекции.

### 3.7.2. Особенности работы кодеров:

1. Кодеры для ТЖК. Основные требования: малые габариты, масса, энергопотребление, расширенный температурный диапазон работы (—10...50°С), практическое соответствие электрических параметров требованиям ГОСТ 7845—79. Реализация этих требований связана с функциональным и схемотехническим упрощением, применением технологическо-конструктивных методов, позволяющих повысить плотность монтажа, увеличить степень интеграции применяемых ЭРЭ. Возможность функционального упрощения показана на примере структурной схемы рис. 3.7.1. В канале яркости исключается амплитудный ограничитель 5. ССП замешивается непосредственно в матрице 3, поэтому блок 8 только нормирует длительность фронтов ССП без внесения дополнительной задержки. В кодерах ТЖК применяют методы автоподстройки частоты, не требующие жесткой связи опорных поднесущих частот с частотой и фазой строк. Следовательно, упрощаются генераторы 22 и 23. Коммутацию фазы сигнала цветности выполняют непосредственно в частотном модуляторе 16 без применения отдельного коммутатора 17. Число рабочих выходов ПЦТС уменьшается до двух. Из оперативных переключений остается только выбор режима работы (с сигналами внешнего датчика или с ГЦП) и выключение сигнала цветности.

В кодерах ТЖК, как и в кодерах ТВ комплексов, вся последовательность формирования сигналов сохраняется. Поэтому рассмотрим систему АПЧ, которая содержит характерные отличия. В одном из вариантов (рис. 3.7.4) в нее входят два однотипных канала, один

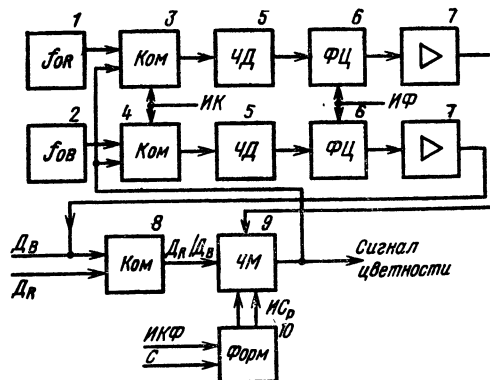


Рис. 3.7.4. Структурная схема системы автоподстройки частоты (ИК — импульс коммутации, ИФ — импульс фиксации, ИКФ — импульс коммутации фазы, ИСР — импульс срыва)

из которых формирует сигнал ошибки для красных строк, другой — для синих. Автоколебательные кварцевые генераторы 1 и 2 подают опорные поднесущие на коммутаторы 3 и 4, куда поступает также сигнал цветности с частотного модулятора 9. Коммутатор 3 замещивает в сигнал опорной поднесущей  $f_{0R}$  немодулированную цветовую поднесущую  $f_R$  в интервале строчного гасящего импульса при передаче красных строк, а коммутатор 4 замещивает в сигнал опорной поднесущей  $f_{0B}$  немодулированную цветовую поднесущую  $f_B$  в интервале строчного гасящего импульса при передаче синих строк. Образуется непрерывный сигнал двух частот — опорной поднесущей и сравниваемой немодулированной цветовой. При разнице в значениях этих частот на выходах частотных детекторов 6 образуется разница в уровнях детектированных сигналов, т. е. сигнал ошибки. Протектированные сигналы в усилителях 7 фиксируют по уровню в интервале передачи поднесущих  $f_R$  и  $f_B$ . Затем каждый из сигналов интегрируют цепью с постоянной времени в несколько секунд. Выделенная постоянная составляющая поступает как сигнал ошибки для управления частотой покоя частотного модулятора. При этом один из сигналов ошибки (например, красных строк) подают прямо в цепь управления модулятора для подстройки его частоты к частоте опорной поднесущей  $f_{0R}$ , а другой суммируют на входе коммутатора 8 с сигналом синих строк, изменяя его постоянную составляющую, т. е. создавая пьедестал, который в синих строках перестраивает частоту модулятора до значения опорной поднесущей  $f_{0B}$ .

Использование метода частотной автоподстройки позволяет свободно изменять фазу колебаний частотного модулятора ГУН, что не сказывается на точности работы системы АПЧ. Фаза колебаний ГУН устанавливается путем их срыва импульсами коммутации фазы. Обычно в качестве ГУН используют симметричный автоколебательный мультивибратор. Начальная фаза колебаний в строках изменяется путем поочередной подачи импульсов срыва длительностью 0,7...1,5 мкс в разные плечи мультивибратора. Чтобы получить изменение фазы в трех строках по закону 0,  $\pi$ ,  $\pi$ , необходимо в начале первой строки подать импульс срыва в одно плечо мультивибратора, а в начале второй и третьей — в другое. Таким образом, необходимый закон изменения фазы сигнала цветности обеспечивается подачей на ГУН двух последовательностей ИСр, формируемых блоком 10 из импульсов частоты строк и импульсов коммутации фазы. В описанной системе АПЧ нестабильность частоты покоя поднесущей не превышает 1,5...2,5 кГц. Применение одного или двух генераторов (1 и 2), формирующих строчно-когерентные опорные частоты, позволяет уменьшить нестабильность частоты покоя до 1,5 кГц.

2. Кодеры для прикладных ТВ устройств. Кодеры СЕКАМ широко применяют в прикладных ТВ системах, где необходимы консервация, тиражирование и просмотр ТВ изображений с использованием серийно выпускаемых средств видеозаписи и цветных телевизоров. Требования, предъявляемые к этим кодерам, направлены в основном на получение малых габаритов, энергопотребления, зачастую — малой стоимости; к ним не предъявляют требования полного соответствия ГОСТ 7845—79. Поэтому здесь допустимо упрощение схем и узлов. Так, систему АПЧ строят на основе одного генератора опорной поднесущей, которая определяет значение одной из частот покоя цветовой поднесущей; вторая частота покоя формируется соответствующим смещением уровня модулирующего сигнала. Применяют также системы АПЧ, в которых опорный уровень запоминается в интервале гасящего импульса полей и удерживается на время передачи остальных строк поля. Фаза сигнала цветности в этом случае устанавливается методом срыва колебаний ГУН. Нестабильность частот покоя таких систем АПЧ дости-

гает  $\pm 3,5$  кГц. В канале яркости вместо динамического корректора перекрестных искажений применяют пассивный режекторный контур с нормированной частотной характеристикой, настроенный на частоту 4286 кГц. В канале модулирующего сигнала используют только один корректор НЧ предискажений, установленный после коммутатора  $D_R/D_B$ . Основные параметры и характеристики кодеров СЕКАМ приведены в табл. 3.7.1.

Таблица 3.7.1. Основные параметры кодеров системы СЕКАМ

Параметр	Кодеры		
	ТВ комплексов	ТЖК	Прикладных устройств
Соответствие требованиям ГОСТ 7845—79	Да	Да	Не нормируется
Допуск на частоту покоя цветовой поднесущей, кГц	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 4$
Допуск на девиацию частоты цветовой поднесущей в строках, кГц:			
в красных	$\pm 5$	$\pm 9$	$\pm 12$
в синих	$\pm 4$	$\pm 7$	$\pm 10$
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	1,5	3	5
Дифференциальная фаза, град, не более	0,5	1,5	—
Неравномерность плоской части прямоугольных импульсов частоты полей, %, не более	1	1	5
Неравномерность АЧХ канала яркости, дБ, не более:			
при уровне сигнала менее 0,07 В в полосе частот 0,5...6 МГц при номинальном уровне сигнала:	0,5	1	2
в полосе частот 0,5...3 МГц	0,5	1	—
на частоте 6 МГц	19	19	—
на частоте 4,286 МГц, дБ, не менее	20	30	50
Расхождение во времени сигналов яркости и цветности, нс, не более	5...50	—10...45	—
Диапазон рабочих температур, °С	5...7	1,5...2,5	—
Потребляемая мощность, Вт			

### 3.8. Аппаратура формирования сигналов ТВ программ

3.8.1. Видеокмутаторы (ВКМ). Это устройства, переключающие ТВ сигналы от источников к потребителям. В ТВ аппаратуре ВКМ широко используют для формирования ТВ программ, контроля сигналов и т. п. Будем рассматривать матричные коммутаторы аналоговых видеосигналов, в которых любой из  $n$  входов можно коммутировать на любой из  $m$  выходов. Коммутационное поле имеет объем  $nm$  ключей. Применяемые типы коммутаторов разработаны на основе сочетания потребностей телецентра в объемах коммута-

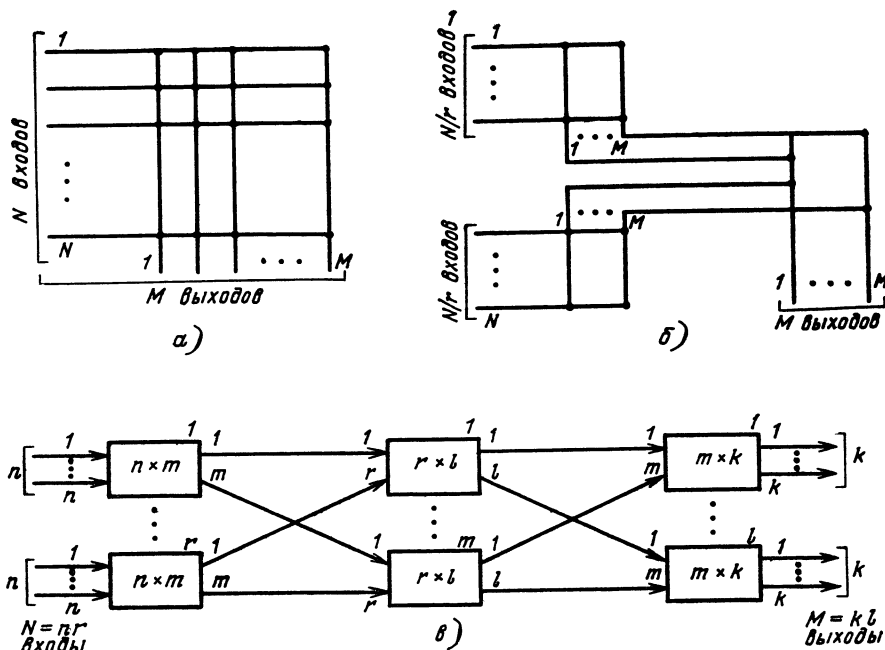


Рис. 3.8.1. Структуры матричных коммутаторов: а — одноступенчатая, б — двухступенчатая, в — трехступенчатая

ционных полей с обеспечением высокой надежности, ремонтопригодности, минимальных объема, энергопотребления и стоимости. Матричные коммутаторы строят по одно-, двух- и трехступенчатым схемам. Наиболее просты коммутаторы, построенные по одноступенчатой схеме (рис. 3.8.1, а). Они содержат  $nm$  коммутирующих ячеек и коммутируют любой вход на любой из выходов независимо от наличия в данный момент других соединений. Их преимущество — минимальная длина тракта видеосигнала с любого входа на любой из выходов, что позволяет достичь минимальных искажений. Однако пропорционально увеличению объема коммутационного поля увеличивается уровень наводки входных сигналов на выходы, что ограничивает допустимые объемы коммутационных полей. Двухступенчатые коммутаторы (рис. 3.8.1, б) позволяют коммутировать видеосигнал также независимо от предыдущего состояния коммутатора. В них общее число входов разбито на ряд групп, так что наводка входных сигналов на выходы коммутатора зависит от числа входов в одной группе первой ступени коммутации и практически не зависит от числа входов в коммутаторе в целом. По сравнению с одноступенчатыми ВКМ двухступенчатые имеют большее число коммутирующих ячеек (на число ячеек во второй ступени коммутации) и длиннее тракт видеосигналов. Однако в ряде случаев им отдается предпочтение из-за более высоких параметров.

Трехступенчатые коммутационные матрицы (рис. 3.8.1, в) позволяют существенно сократить объем оборудования. Кроме того, в них при возникновении неисправности в каком-либо из трактов возможен обход неисправного. Однако могут возникать состояния, когда невозможно соединить заданные входы с выходами, не перестраивая ранее выполненных соединений. Поэтому система управления такими коммутаторами, как правило, должна обеспечивать обход неисправных трактов в матрице и реорганизацию ранее произведенных соединений. Для обеспечения вновь заданных она оказывается значительно более сложной, чем в одно- и двухступенчатых коммутаторах. Тракт видеосигнала в таких коммутаторах самый длинный, и соответственно видеосигнал подвержен максимальным искажениям.

Базовый матричный коммутатор, используемый в отечественном ТВ оборудовании 3-го поколения, в пер-

вую очередь в центральных аппаратных — шкаф С-08 (рис. 3.8.2), имеет объем коммутационного поля  $80 \times 10$ . В него встроен также коммутатор контроля, позволяющий подключать к контрольному выходу видеосигнал с любого из десяти выходов. Видеокоммутатор построен по двухступенчатой схеме и содержит восемь блоков коммутатора БК-02 (первая ступень коммутации), каждый из которых представляет собой матрицу с объемом коммутационного поля  $10 \times 10$ , и один блок групповых коммутаторов БК-03 (вторая ступень коммутации).

Входам видеосигналов восьми блоков БК-02 присвоены номера 1—10, 11—20 и т. д. до 71—80. Сигнал «Разрешение» разрешает коммутацию тому блоку БК-02, номера входов которого содержат заданный

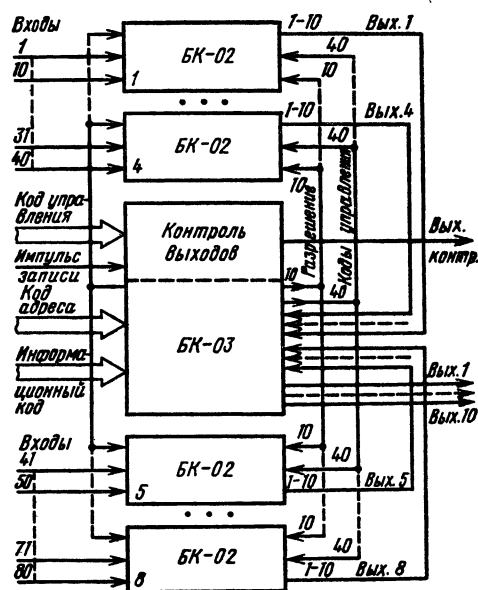


Рис. 3.8.2. Структурная схема видеокоммутатора С-08

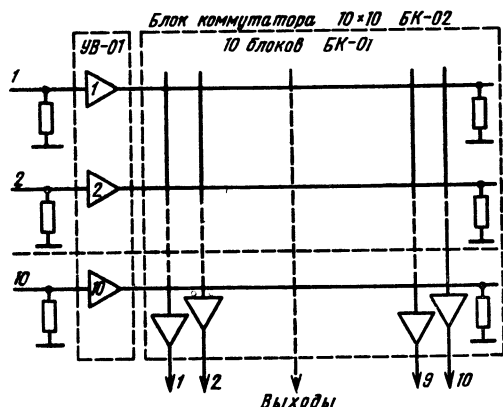


Рис. 3.8.3. Структурная схема блока коммутатора 10×10 БК-02

вход, а сигнал «Код управления входами» определяет, какой из десяти входов этого блока должен быть коммутирован на данный выход.

На входах блока БК-02 (рис. 3.8.3), являющихся и входами видеокоммутатора, имеется десять входных видеоусилителей (блок УВ-01), которые «привязывают» синхронные и несинхронные видеосигналы вершинами синхрипульсов к нулевому уровню и подают каждый видеосигнал на входы десяти блоков коммутаторов 10×1 БК-01. В блоке БК-01 в соответствии с поданной командой управления один из десяти входных видеосигналов коммутируется на выход и через согласующий усилитель подключается на выход блока БК-02.

Технические параметры блоков	БК-01	БК-02
Объем коммутационного поля . . . . .	10×1	10×10
Коэффициент передачи . . . . .	1±0,01	1±0,01
Неравномерность АЧХ в полосе 0,5...7 МГц относительно частоты 1 МГц, %, не более . . . . .	1	2
Переходные затухания на частоте 4,43 МГц, дБ, не более . . . . .	—70	—50

Блок БК-03 содержит десять блоков коммутаторов второй ступени БК-05 и блок управления БУ-01. На восемь входов каждого из блоков БК-05 заведены видеосигналы с одноименных выходов восьми блоков БК-02, а на девятые входы — сигнал ССП. В соответствии с выработанными от внешнего сигнала командами управления в одном из восьми блоков БК-02 и в блоке БК-03, выходы которого служат и выходами видеокоммутатора, коммутируется видеосигнал или сигнал ССП. Каждый из выходов блока БК-03 с помощью усилителя-распределителя нагружается на три потребителя; кроме того, каждый из выходов заведен на плату контрольного коммутатора (расположенного в блоке БУ-01), с помощью которого любой из десяти видеосигналов, набранных на выходы видеокоммутатора, коммутируется на контрольный выход. Этот выход используется в системах тестирования и контроля прохождения видеосигнала и имеет автономную линию управления. Команда управления, поступающая на блок БК-03, содержит две группы кодов: первая — информационный код, вторая — адресный. Информационный код содержит информацию о номере входа, который необходимо коммутировать на выход, адресный — о номере этого выхода. Оба кода подаются синхронно. Команда управления поступает на блок БУ-01, входные цепи которого обеспечивают гальваническую развязку между внешними системами управления и цепями внутреннего видеокоммутатора. В блоке БУ-01 из адресного кода формируются импульсы предварительной записи, адресующие пришедшую команду управления определенному выходу видеокоммутатора, т. е. определенному блоку БК-05. В блоке БК-05 из инфор-

мационного кода формируется один из восьми сигналов «Разрешение», поступающий на блок БК-02, на вход которого заведен нужный видеосигнал, а также сигнал «Код управления входами», поступающий на все блоки БК-02 параллельно. Кроме того, в блоке БУ-01 из внешних импульсов частот строк и полей на шестом или 319-м синхрипульсах строк формируется сигнал «Импульс переключения», который подается на все коммутационные блоки и обеспечивает переключение коммутатора во время кадрового гасящего импульса.

Видеокоммутатор С-08 выполнен в 9-этажной стойке унифицированной конструкции «База-2». Для аппаратурных с меньшим числом источников разработана его модификация С-08-1 с объемом коммутационного поля 40×10.

#### Технические параметры видеокоммутатора С-08

Размах коммутируемых видеосигналов, В	1
Коэффициент передачи . . . . .	1±0,02
Дифференциальное усиление, %, не более	1
Дифференциальная фаза, град, не более	1
Неравномерность АЧХ в полосе 0,5...6 МГц, %, не более . . . . .	2
Изменение уровня привязки видеосигнала, измеренное с помощью пилособразных ТВ сигналов с пропусками на уровне белого и черного, мВ, не более . . . . .	5
Переходные затухания на частоте 4,43 МГц, дБ, не более . . . . .	—50
Потребляемая мощность, Вт, не более . . . . .	700

В отличие от видеокоммутатора С-08, который является функционально законченным устройством, выпускают С-43 и С-44, предназначенные для создания ТВ комплексов с разными объемами коммутационных полей. Видеокоммутатор С-43 содержит три коммутационные матрицы с объемом 20×10 каждая, структура которых аналогична структуре С-08. В качестве первой ступени коммутации использован блок БК-02, в качестве второй БК-14, который содержит десять блоков коммутатора БК-15 и блок управления БУ-09. Функциональное назначение блоков БК-15 и БУ-09 аналогично назначению БК-05 и БУ-01. В отличие от

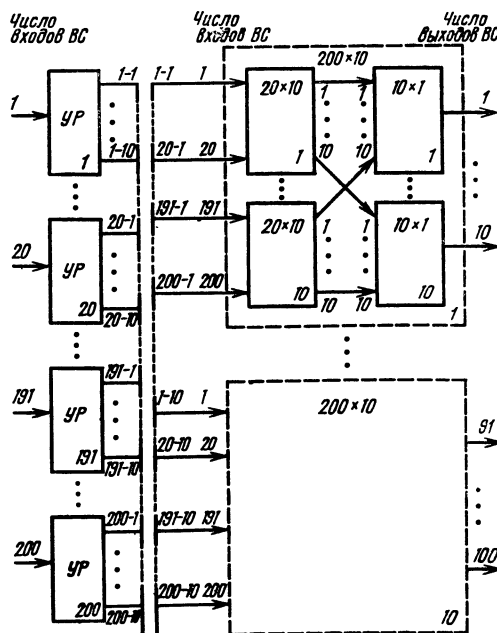


Рис. 3.8.4. Структурная схема двухступенчатой коммутационной матрицы с объемом 200×100

видеокоммутатора С-08 каждый выход сигнала в видеокоммутаторе С-43 управляется по отдельной шине пятиразрядным кодом. Видеокоммутатор С-44 представляет собой набор из шести блоков БК-17, каждый из которых содержит четыре автономных коммутатора  $10 \times 1$  типа БК-01 и блок приема команд управления ПР-02.

Технические параметры видеокоммутатора С-43 аналогичны параметрам видеокоммутатора С-08.

В трехступенчатой коммутационной матрице с объемом  $200 \times 100$  на базе стоек С-43 (рис. 3.8.4) и блоков БК-02 (рис. 3.8.5) входные видеосигналы подаются

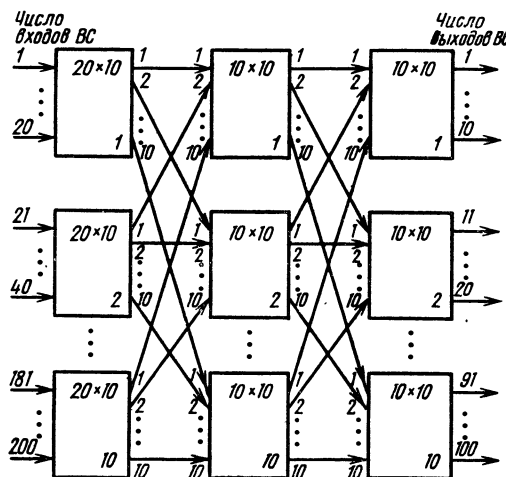


Рис. 3.8.5. Структурная схема трехступенчатой коммутационной матрицы с объемом  $200 \times 100$

на 10 коммутирующих матриц первой ступени, каждая из которых имеет объем коммутационного поля  $20 \times 10$ . Каждый выход матрицы первой ступени соединен со входом матрицы второй ступени, номер которой совпадает с номером этого выхода, а каждый выход матрицы второй ступени соединен со входом матрицы третьей ступени, номер которой совпадает с номером выхода матрицы второй ступени. Число входов в каждой матрице второй ступени коммутации равно числу коммутирующих матриц первой ступени 10, число выхо-

дов — числу матриц третьей ступени, также 10. Такая структура матрицы позволяет коммутировать видеосигнал с любого из входов на любой из выходов по нескольким путям с обходом неисправных коммутационных точек и содержит значительно меньше коммутирующих ключей (4 тысячи), чем двухступенчатая матрица такого же объема (21 тысяча ключей).

На базе блока с объемом коммутационного поля  $10 \times 10$ , выполненного на одной печатной плате, разработан ряд видеокоммутаторов АБ12-1—АБ12-15 с улучшенными техническими, энергетическими и массогабаритными характеристиками. Эти коммутаторы предназначены для использования в центральных аппаратах, коммутационно-распределительных аппаратах или им подобных. В зависимости от варианта исполнения они имеют переменный объем коммутационного поля от  $20 \times 20$  до  $20 \times 50$  и от  $80 \times 10$  до  $120 \times 10$ .

#### Технические параметры видеокоммутаторов АБ12-1—АБ12-15

Коэффициент передачи	$1 \pm 0,01$
Неравномерность АЧХ в полосе	$0,2 \dots$
$\dots 6$ МГц, %, не более	$\pm 2$
Перекосы П-импульсов частоты строк и полей, %, не более	$0,5$
Разброс уровня привязки, мВ, не более	$\pm 100$
Изменение уровня привязки видеосигнала, измеренное с помощью пилообразных ТВ сигналов с пропусками на уровне белого и черного, мВ, не более	$\pm 5$
Дифференциальная фаза, град, не более	$\pm 0,2$
Дифференциальное усиление, %, не более	$\pm 0,2$
Перекрестные затухания между каналами, дБ, не более	55

Каждый видеокоммутатор АБ12-1—АБ12-15 (рис. 3.8.6) содержит одну или несколько коммутационных групп А1—Аг, а также плату сигнализации аварии АГ34-1 и может содержать интерфейс коммутатора АВ31-2. Каждая коммутационная группа представляет собой коммутатор  $n$  входов на 10 выходов, и поэтому их число  $r$  в данном коммутаторе определяется объемом его коммутационного поля по выходам  $M$ :  $r = M/10$ .

Одноименные входные видеосигналы подают на все группы параллельно «шлейфом», в конце которого ставятся согласующие резисторы  $75 \text{ Ом} \pm 0,1\%$ . Однако, так как кабельная линия имеет отводы, к которым под-

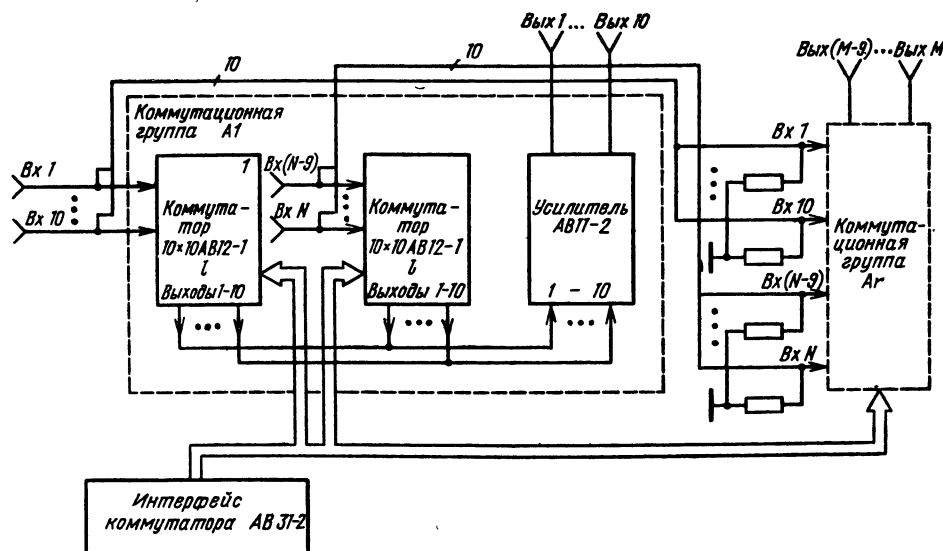


Рис. 3.8.6. Структурная схема видеокоммутаторов АБ12-1—АБ12-15

ключены входные цепи блоков АВ12-1, условия согласования линии нарушаются и ее сопротивление носит емкостной характер. Для устранения этого входные сигналы подают через дроссели. Допускается соединение «шлейфом» не более четырех групп. Если требования к разбросу значений коэффициента передачи и неравномерности АЧХ меньше приведенных выше, то допускается соединение «шлейфом» большего числа коммутационных групп. Каждая коммутационная группа содержит один выходной усилитель видеосигналов АВ11-2 и 1 коммутаторов видеосигналов 10×10 АВ12-1. Значение  $l$  определяется числом входов коммутационного поля  $N$ :  $l = N/10$ .

Все одноименные выходы видеосигналов АВ12-1, входящих в одну коммутационную группу, объединяют методом «монтажное ИЛИ» и подают на соответствующий вход усилителя видеосигналов АВ11-2. Команды управления подают на коммутаторы АВ12-1, входящие во все коммутационные группы, параллельно в последовательном коде. Длина слова управления 32 бита (рис. 3.8.7).

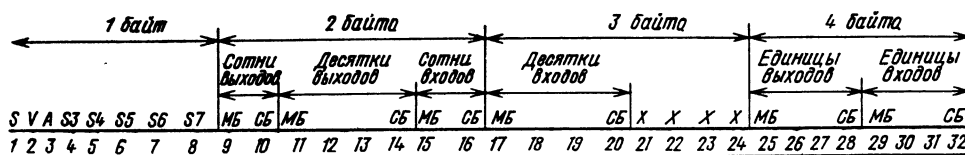


Рис. 3.8.7. Структура управляющего слова команды управления видеокоммутаторами АВ-12 (S — стартовый бит; V — уровень видео; A — уровень звука; S3 ... S7 — уровни, определяющие другие классы аппаратуры; МБ — младший бит; СБ — старший бит; X — резервные биты)

На коммутаторе АВ12-1 установлены два переключателя, с помощью которых можно набрать код коммутационной группы, к которой он принадлежит (т. е. номера сотен и десятков выходов, на которые он коммутирует любой из входов). С помощью этих переключателей также кодируются номера сотен и десятков входов, которые коммутируются на данный десяток выходов (кодируется номер коммутатора АВ12-1 внутри данной группы). Так как интерфейс коммутатора АВ31-2 может управлять не только видеокоммутаторами, но и коммутаторами звука, контрольными коммутаторами видео и звука, то с помощью этих же переключателей всем коммутаторам присваивают «уровень» или класс аппаратуры. Команда воспринимается только если в ней присутствует уровень, присвоенный данному коммутатору, и если она обращена к данной коммутационной группе. Внутри одной группы коммутаторы АВ12-1 воспринимают команду по-разному: если она относится не к данному десятку входов, то от выхода, номер которого содержится в команде, отключается любой вход (если он был подключен), а если команда относится к данному десятку входов, то на этот выход коммутируется вход, номер которого содержится в команде.

Объем ПЗУ, установленного в интерфейсе коммутатора АВ31-2, позволяет ему управлять 256 коммутаторами АВ12-1 одновременно (такими могут быть коммутаторы звука, контрольные коммутаторы и т. д.); длина линии связи не должна превышать 10 м.

С внешней стороны интерфейс коммутатора подключают к групповой линии передачи данных, соответствующей рекомендации 126 ОИРТ. Он может быть установлен как в самом коммутаторе, так и в отдельном каркасе управления. Питаются все видеокоммутаторы АВ12 нестабилизированными напряжениями 18, —18 и 8 В. Для повышения надежности по питанию приняты следующие меры: 1) любой видеокоммутатор питается от двух блоков БП-43, соединенных параллельно и имеющих коэффициент загрузки 0,5, поэтому он может нормально работать при выходе из строя одного из них; 2) в коммутаторах АВ12-1, усилителе

АВ11-2 и интерфейсе АВ31-2 стабилизаторы установлены на платах и при выходе любого из напряжений за пределы допустимых значений все три напряжения отключаются, вырабатывается световой сигнал «Авария» с индикацией платы, на которой произошел отказ; 3) при замене блоков в работающем каркасе напряжения питания можно снять только с дефектного. При установке резервного блока питание на нем включается с задержкой в 20 с.

Разработанные и выпускаемые видеокоммутаторы позволяют создавать матрицы разных размеров и конфигураций. При использовании видеокоммутаторов необходимо принимать компромиссное решение между объемами оборудования, надежностью и допустимыми искажениями коммутируемых сигналов. Дальнейшее совершенствование аналоговых видеокоммутаторов идет путем уменьшения массогабаритных характеристик и потребляемой мощности, введения автоматизированного поиска и отображения возникших неисправностей, а также допускового контроля по основным электрическим параметрам.

**3.8.2. Видеомикшеры.** Видеомикшер в ТВ комплексе служит для монтажа изображений, составляющих программу. Он объединяет сигнал от многих внешних и внутренних датчиков и формирует на выходе сигнал комбинированного и преобразованного изображения, которое создается режиссером с помощью различных технических приемов. Это микширование двух изображений, спецэффекты (СЭ), когда одно изображение включается в другое, а переключающий сигнал генерируется устройством спецэффектов, электронная рирпроекция (ЭРП), когда изображение переднего плана (актера или диктора), снятое на равномерном цветном фоне, переносится на произвольное изображение заднего плана, ввод титров и титровых надписей и т. д.

Существует разное определение состава (границ) видеомикшера. В отечественной литературе под видеомикшером понимают только ту часть комплекса, в которой непосредственно формируется комбинированное изображение. В проспектах зарубежных фирм понятие видеомикшер охватывает, как правило, и входной матричный коммутатор видеосигналов, выходные усилители-распределители, контрольные коммутаторы и цепи контроля. В последовательных видеомикшерах одни или другие функции выполняются направлением видеосигналов через различные устройства (микшерные усилители, блоки введения спецэффектов, введения титров и т. д.), а комбинируются несколько функций последовательным соединением таких устройств. В смешанных параллельно-последовательных видеомикшерах часть функций осуществляется параллельно в одной микшерной ступени, однако полную структурную схему микшерного узла составляют 2—3 последовательно соединенные ступени. Третий вид — это параллельные микшеры, в которых все входные видеосигналы проходят минимально короткий и одинаковый путь — через управляемый аттенуатор входного канала поступают на общий для всех каналов сумматор и через буферный усилитель подаются на выход. В параллельном микшере искажения видеосигнала минимальны, так как сигнал проходит только через один входной аттенуатор (как правило, это балансный ана-

логовый перемножитель). Разные варианты микширования, ввода СЭ, ввода ЭРП и титров в параллельном микшерном узле осуществляются формированием сложных сигналов управления раздельно для каждого из входных аттенуаторов. Микшерный видеотракт как составную часть видеотракта аппаратной можно построить по одно-, двух- или трехсигнальной схеме (см. п. 3.2.1).

1. Односигнальные видеомикшеры используются в АСБ и АПБ 3-го поколения модели «Перспектива»; их структура (рис. 3.2.1) описана в п. 3.2.1. Это последовательные микшеры. Для каждого вида обработки сигнала (плавное микширование, СЭ, ЭРП, титры) установлено свое устройство, а видеотракт содержит ряд коммутаторов для организации соответствующего пути прохождения сигналов. Видеомикшер «Перспектива» имеет четыре входные наборные линии сигналов А, Б, В, Г и следующие возможности создания комбинированного изображения: двойное микширование с введенными титрами; микширование заднего плана ЭРП с введенными титрами; уход от микширования на СЭ с введенными титрами.

Имеется возможность просмотра титров до введения их в программу. Устройство ЭРП, применяемое в данном видеомикшере, формирует лишь двухуровневый (коммутационный) силуэтный сигнал. В состав микшера входит одно устройство спецэффектов на 49 эффектов (только с резкой границей). В видеомикшере отсутствует программно-подготовительный микшер, что ограничивает его использование при проведении передач в «прямом эфире».

2. Двухсигнальные видеомикшеры используются в АСБ модели «Перспектива-85» (п. 3.2.2). В состав видеомикшера большой АСБ (рис. 3.8.8) вхо-

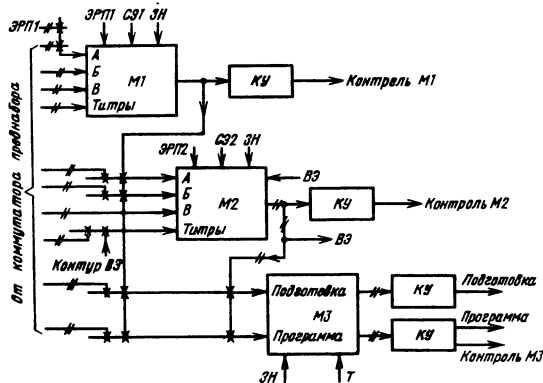


Рис. 3.8.8. Структурная схема двухсигнального входного видеомикшера модели «Перспектива-85», предназначенного для одного сигнала (—/— линии сигналов V и  $D_R/D_B$ , —\*— точка коммутации)

дят два входных микшера M1, M2 и выходной M3. Микшеры M1 и M2 имеют свои устройства ЭРП. В видеомикшере задействовано шесть фонов. Входной микшер M2 можно стыковать с блоком видеоэффектов типа «Эстамп». Для этого установлен узел, позволяющий на вход блока ВЭ коммутировать либо набор А, либо выход M2 (см. рис. 3.2.2). Коммутация выхода M2 на вход ВЭ и с выхода ВЭ на вход M2 позволяет реализовать эффект «галерея». На вход первой микширующей группы дополнительно подаются сигналы Y,  $D_R/D_B$  первого блока ЭРП, сигналы титров, управляющие сигналами ЭРП и спецэффектов. Входной микшер (рис. 3.8.9) позволяет на первом сдвоенном перемножителе смешивать сигналы А и Б (т. е. набранные на линиях А и Б) или переходить спецэффектом между сигналами А и Б. Может быть два вида: X- и V-микширование. Возможен переход с одновременным X-микшированием и спецэффектом. Спецэффект может иметь жесткую, плавную или

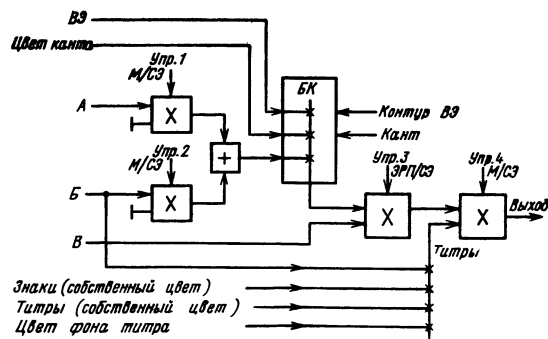


Рис. 3.8.9. Структурная схема микшерной группы M1 (M2) для одного сигнала

окантованную границу. Граница может быть промодулирована НЧ синусоидальным колебанием с регулируемой частотой и амплитудой. Ширина плавной границы регулируется до половины ширины изображения. Окантовка имеет плавные регулировки ширины и цвета. Для раскрашивания окантовки и титров первая микшерная группа обеспечена двумя генераторами цветного фона.

На втором перемножителе первой группы осуществляется электронная рипроекция (ЭРП) — ввод сигнала актера на сигнал заднего плана путем аналогового перемножения с использованием силуэтного сигнала, формируемого в блоке ЭРП (блок ПБ-30Б). Может быть собственная ЭРП, когда силуэтный сигнал формируется из того же источника, что и сигнал актера, или «маскированная», когда силуэтный сигнал — «маска» — формируется из третьего сигнала, набираемого на панели ЭРП. Можно формировать сигнал маски из внешнего сигнала СЕКАМ, для чего последний декодируют до сигналов R, G, B и подают через коммутатор на входы блока ЭРП. При этом качество изображения несколько снижается из-за присущих декодированным сигналам искажений. Задним планом ЭРП служит комбинированное изображение, сформированное в первом сдвоенном перемножителе того же микшера.

Комбинированное изображение, формируемое блоком ЭРП ПБ-30Б, отличается высоким качеством границы «сшивания» изображений переднего и заднего планов, в нем воспроизводятся мелкие детали в зоне границы, отсутствуют локальные нестабильности границы под воздействием шумов сигнала камеры, отсутствует подкрашивание волос и полупрозрачных предметов в цвет фоновое экрана. Эти показатели достигаются благодаря работе подавителя сигналов фона, устраняющего компоненты сигналов переднего плана, соответствующие вектору цвета фона. Обработанные подавителем цвета фона сигналы соответствуют изображению объектов переднего плана на черном фоне, без подкрашивания в цвет фоновое экрана, используемого в студии.

Возможна также работа микшерной группы в режиме «Микширование внутри спецэффекта» или «Микширование снаружи спецэффекта» (на инверсных спецэффектах). В этом случае на второй перемножитель вместо управляющего сигнала ЭРП подают управляющий сигнал спецэффекта. Микширование осуществляется между линиями набора А и Б, а введение спецэффекта — между комбинированным изображением А/Б и сигналом с линии набора В. Можно использовать данный режим работы со сложением по схеме ИЛИ сигналов управления спецэффекта и ЭРП.

На третьем перемножителе вводятся титры, источники которых линии видео, Знакогенератор, Знак повтора R, Часы, Указка. Титры можно вводить с собственным цветом или раскрашивать в цвет фона, плавно регулируемый по цветовому тону, насыщенности и яркости. Для обеспечения лучшей видимости титров от знакогенератора для них разработана матрица, в которой



предусмотрена регулировка (уменьшение) насыщенности сигнала титра при сохранении исходной яркости. При работе микшера в режиме ЭРП/СЭ/М переключатель А ставится в положение прямого пропускания на задний план ЭРП сигнала с линии А, а выходной сигнал после ввода ЭРП и титров может быть изменен в третьем перемножителе, где с помощью микширования или спецэффекта можно перейти от комбинированного изображения на любой источник, набираемый на линии Б. При этом титры, если они были введены, сохраняются. Блок титров имеет два канала обработки для формирования сигнала титра из видеосигналов линии набора Т, а также из видеосигнала, поступающего по входу «Табло» («Часы»). Блок титров вычеркивает краевые эффекты и формирует сигнал штормки с режимом листания. В блоке титров размещены коммутаторы титровых сигналов на М1, М2, М3, управляемые кнопками переключателями, установленными на панелях управления всеми микшерами. В комплексе имеется блок формирования знака повтора R. Знак можно вводить через блок титров в любой микшер или накладывать в виде черно-белого титра на входные видеосигналы СЕКАМ (без декодирования) на двух из восьми внешних входов, обеспечивая оперативное введение знака вместе с вводимым в программу изображением повтора сюжета. Сигнал с первого микшера М1 поступает на М2 и М3 для создания еще более сложного изображения или для набора в программу, а также на кодирующее устройство микшера для последующего контроля по сигналу СЕКАМ. Второй микшер обладает теми же функциональными возможностями со следующими отличиями: на него можно набирать сигнал с первого микшера; сигнал маски формируется упрощенным блоком электронной рипроекции, дающим только управляющий (силуэтный) сигнал. Входными сигналами упрощенной ЭРП являются R, G, В. Силуэтный сигнал выделяется путем трансформации системы цветowych координат входных сигналов, усиления и ограничения трансформированного сигнала. Сигналы со второго микшера, как и с первого, поступают на третий для набора в программу или создания перехода, а также на кодер СЕКАМ для контроля. Выходной микшер (рис. 3.8.10) — программно-подготовительный, предназначен

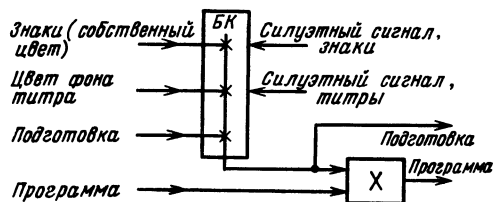


Рис. 3.8.10. Структурная схема выходного микшера

для перехода от сигнала, набранного в линии набора «Программа», к сигналу, набранному на линии набора «Подготовка». Переход осуществляется быстрым включением, микшированием или тремя видами штормок. Микшер работает в режиме «листание», направление перехода к новому сигналу программы индицируется на панели сигнальной лампочкой в виде стрелки.

При достижении микшерным потенциометром конечного выключателя набор на линии «Подготовка» автоматически переписывается в набор на линии «Программа», а набор линии ПРОГРАММА переписывается на линию «Подготовка», что позволяет при ошибочном переходе быстро исправить ошибку, сделав еще один переход. В третьем (выходном) микшере вводятся выходные титры от знакогенератора или титров, выделенных из видеосигнала (линия набора «Титры»), а также знака повтора R и сигнала «Часы». При наборе титров они включаются на изображение выхода «Подготовка».

Титры в программу вводят нажатием одной из четырех клавиш — быстрый ввод, вводы микшированием, вертикальной и горизонтальной штормками. Для лучшей линейности перемножители в М3 выполнены в виде управляемых аттенуаторов, каждый из которых представляет собой 8-разрядную матрицу R—2R.

3. Трехсигнальный видеомикшер разработан для новых моделей АСБ и АПБ. Его структурная схема аналогична показанной на рис. 3.8.8 и отличается следующим: 3-сигнальные линии, 4-входные микшеры М1, М2 с входными линиями А, В, С, D, а также отсутствие коммутации на входах А и Б микшера М2. Входной микшер М1, как и М2, построен по параллельной схеме (рис. 3.8.11) — четыре перемножителя рабо-

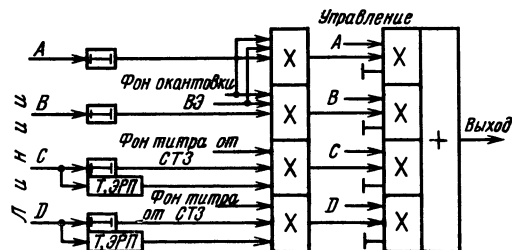


Рис. 3.8.11. Структурная схема параллельного 4-входового микшера

тают на общий сумматор. Предварительно каждый видеосигнал проходит через перемножитель, вводящий знаки, титры, ЭРП или ВЭ (в локальной зоне), т. е. выполняющий роль, аналогичную быстродействующим коммутаторам БК (см. рис. 3.8.9 и 3.8.10). В данном случае можно вводить эффекты не только с резкими, но и с плавными границами.

Микшер позволяет создавать изображение, состоящее из четырех планов: двух передних (наборы С и D) и двух задних (наборы А и В). Предусмотрено раздельное управление переходами между задними и передними планами. Возможны три режима управления: раздельные независимые переходы между задними и передними планами; одновременный переход между двумя задними и двумя передними планами, но с разными видами переходов (например, напылом между изображениями переднего плана и штормкой между изображениями заднего плана); одновременный переход с одинаковыми видами перехода и законами развертывания. В первом случае работают оба микшерных потенциометра, во втором и третьем — только потенциометр управления переходом заднего плана. В каждой линии набора переднего плана (С и D) можно формировать ЭРП и титры. Можно также линии С и D соединять как бы последовательно — это двойная ЭРП, или ЭРП с наложением видеотитров; при этом в комбинированное изображение можно вводить титры с двух входов микшера, предназначенных для сигналов от СТЗ.

Сигналы управления перемножителями А, В, С, D формирует микропроцессорная система из сигналов фигур СЭ, контуров ВЭ, силуэтных сигналов ЭРП, контуров знаков и титров, сигналов микширования по логическим правилам в соответствии с наборами и операциями, производимыми с панели управления.

Несмотря на большие функциональные возможности группы входного микширования, в состав видеомикшера введены две такие группы, что позволяет режиссеру делать заготовки в ходе передачи и облегчает его работу. Эта избыточность принята при построении аналогичных видеомикшеров в мировой практике. Иногда при работе в прямой передаче режиссеру необходимо контролировать будущий эффект при работе на входном микшере. При нажатой кнопке «Будущий эффект» на панели М3 в качестве рабочего микшера можно использовать только М2, а М1 переводится в режим подсмотра



будущего эффекта (изображения, которое будет после продвижения микшерного потенциометра M2). Благодаря наличию микропроцессора будущий эффект контролируется автоматически.

Выходное микширование заключается в переходе от сигнала программы к сигналу преднабора «Подготовка» путем плавного микширования, вытеснения спецэффектом и наплыва (т. е. микширования через черное поле). Будущее изображение создается на выходе «Подготовка» и вводится в программную линию заданным переходом. На линии «Программа» всегда можно также набрать источник или выходы M1, M2. Выходной микшер (рис. 3.8.12) позволяет осуществлять переход как

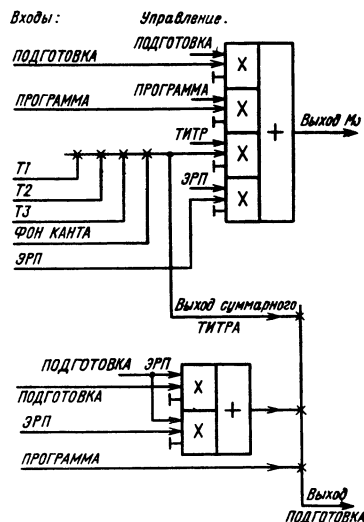


Рис. 3.8.12. Структурная схема микшера «Подготовка — Программа»

между входными изображениями, так и между входным и полученным после входного микширования. Можно также «врезать» изображение с выхода блока видеоэффектов в изображение источника или в изображение с выхода M1 или M2; врезать титры в суммарное изображение.

Выходной микшер работает в режиме «листание». Переход заключается в замене программного изображения новым, набранным на линии набора «Подготовка». В конце перехода изображение «Подготовка» становится новым изображением «Программа». Во время перехода индикация на линиях набора «Подготовка» и «Программа» не изменяется. После окончания перехода источник, набранный в линии набора «Подготовка», автоматически переписывается в линию набора «Программа», источник, набранный в линии набора «Программа», переписывается в линию набора «Подготовка», а микшерный потенциометр обнуляется и готов к следующему переходу. Такая логика перезаписи источников позволяет при ошибочном переходе следующим движением микшерного потенциометра вернуться к исходному изображению.

Переходы в выходном микшере осуществляются потенциометром полуавтоматически при нажатии клавиши «Исполнение» или автоматически по команде ЭВМ (при работе от внешней управляющей ЭВМ или от системы монтажа видеофонограмм). При работе в ручном режиме скорость перехода задается клавишами СКОРОСТЬ (малая, средняя, большая и ручное управление). Сдвоенный микшерный потенциометр необходим при работе видеомикшера совместно со звуковыми микшерами в режиме «звук следит за видео» для раздельного управления видео и звуковыми переходами при

необходимости небольшого временного смещения переходов. Линия набора «Подготовка» имеет свой контрольный ЦВКУ. На нем возможен, в частности, просмотр титра, наложенного на сигнал программы до ввода титра в изображение «Программа». При наборе на линию «Подготовка» несинхронного источника срабатывает линия обхода микшера «Подготовка», ЦВКУ «Подготовка» переключается автоматически на вход сигнала СЕКАМ и на него поступает сигнал набранного несинхронного источника. При попытке ввода титров на несинхронный источник срабатывают коммутаторы обхода микшера и на выход видеотракта выдается сигнал несинхронного источника без титров. При переходе микшерным потенциометром на несинхронный источник сначала изображение выводится на черный фон, а по достижении конца микширования быстрым переключением вводится несинхронный источник.

Электрическая схема выходного видеомикшера построена на основе параллельной четырехходовой ступени аналогично входному микшеру. Устройство управления трехсигнальным видеомикшером построено на основе микропроцессоров. В него поступают все входные данные, обрабатываются и в виде команд рассылаются по всем блокам видеомикшера. Пульт управления имеет свой встроенный контроллер. С пультом видеомикшер соединяется через интерфейс RS 422, на который заведены также входы внешнего управления. Видеомикшер может дополнительно комплектоваться устройством видеоэффектов, видеомагнитофонами, знакогенератором. При наличии у этих устройств входов дистанционного управления по интерфейсу RS 422 (или в будущем по 126-й рекомендации ТК ОИРП) они могут быть подключены к видеомикшеру через эти интерфейсы.

Все регулировки и команды управления микшера доступны внешнему управлению через встроенный микропроцессор. Внешнее управление видеомикшером осуществляется так, что всегда можно органами регулировки, расположенными на пульте, без отключения ЭВМ корректировать все регулировки («Управление по направлению»). Можно предварительно выбирать состояния регулировок и коммутаций и вводить в память для последующего их вызова оттуда в процессе передачи. В видеомикшере реализована диагностика, позволяющая определить и локализовать место неисправности.

**3.8.3. Генераторы спецэффектов (СЭ).** Предназначены для формирования сигнала, определяющего границы раздела (в виде геометрических фигур) двух или более изображений при их зональном микшировании. Применение СЭ позволяет повысить информативность передаваемых сообщений, а также усилить художественное впечатление от ТВ передач. Из функциональной связи генератора 4 СЭ с аппаратурой микширования в комплексе АСБ (рис. 3.8.13) видно, что он управляет мик-

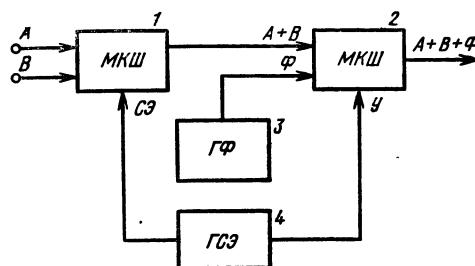


Рис. 3.8.13. К включению генератора спецэффектов в видеомикшер

шированием двух ТВ сигналов А и В и вводом в полученный сложный сигнал (рис. 3.8.14) указателя У с выбранным фоном Ф от генератора фона 3. С помощью микшера 1 в зоне СЭ отображается сигнал В, вне ее — сигнал А. Указатель занимает произвольное положение

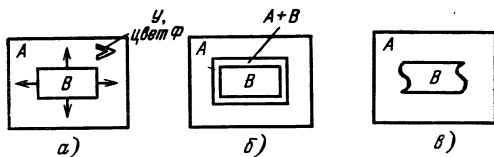


Рис. 3.8.14. Спецэффекты на ТВ экране: а — с резкой границей и указателем; б — с плавной границей или рамкой; в — с модулированной границей

на ТВ растре и окрашивается сигналом «фон» с помощью микшера 2. Область зоны В может изменяться по размерам и местоположению; граница раздела может быть резкой или плавной. В последнем случае в зоне перехода наблюдается сумма изображений А и В, интенсивность одного из которых убывает, а другого нарастает. Ширина зоны плавного перехода может изменяться. Возможен вариант получения границы с временной модуляцией; вид границы определяется размахом и формой модулирующего сигнала, который может быть сформирован в ГСЭ или подан от внешнего генератора.

Для перебора массива изображений применяют режим «листание», позволяющий последовательно выводить на экран различные источники ТВ сигналов при одноподвижном движении границы (рис. 3.8.15). При



Рис. 3.8.15. Смена изображения спецэффектом в режиме «листание»

изменении полярности сигнала СЭ места микшируемых сигналов на растре меняются.

На рис. 3.8.16 приведены наиболее часто применяемые виды СЭ.

При микшировании с использованием СЭ на экране можно отображать два или более ТВ сигнала с помощью коммутаторов импульсов определенной формы. Их генерирование сводится к электронному синтезу сигналов вытеснения, методы формирования которых изложены в [3.8.3.1—3.8.3.3]. Термин «вытеснение» обозначает электронный способ смешивания нескольких изображений без наложения одного на другое. Наи-

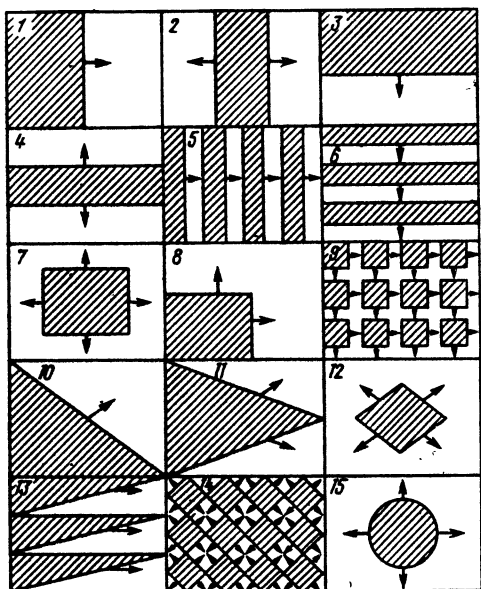


Рис. 3.8.16. Основные виды спецэффектов

большее распространение получил метод широтно-импульсной модуляции, основанный на теории развертывающих функций (РФ) [4], согласно которой сигналы вытеснения, соответствующие СЭ с наклонными и криволинейными границами, а также с границами, параллельными одной из сторон раstra, формируют по операционной схеме рис. 3.8.17. Формирователи РФ по го-

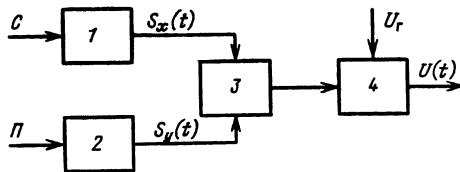


Рис. 3.8.17. Операционная схема формирования развертывающих функций

ризонталю 1 и вертикали 2 синхронизируются соответственно импульсами частоты строк и полей и генерируют периодические напряжения  $S_x(t)$  и  $S_y(t)$  пилообразной, треугольной или параболической формы (рис. 3.8.18). Эти напряжения в различных комбинациях по-

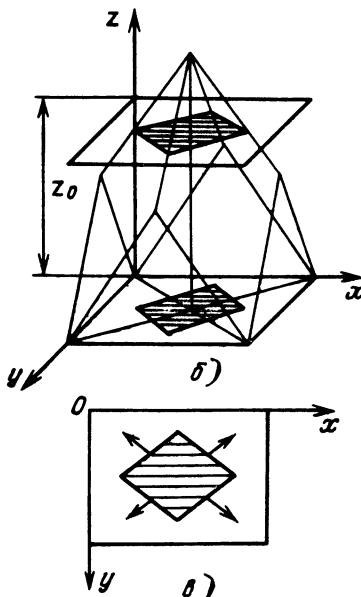
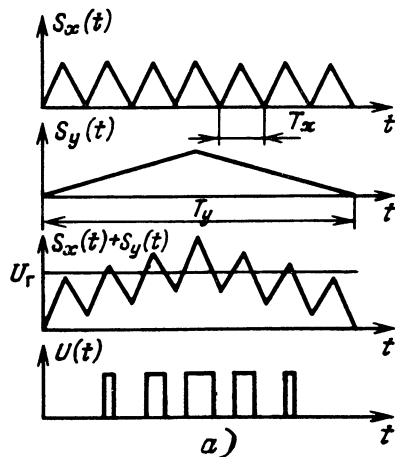


Рис. 3.8.18. Формы развертывающих функций: а — форма напряжений; б — пространственная фигура вытеснения; в — вид на экране

ступают на линейный сумматор 3, а затем на компаратор 4. На второй вход компаратора подается изменяющееся напряжение сравнения («границы»)  $U_{\Gamma}$ . На выходе компаратора формируются сигналы вытеснения в виде коммутирующих импульсов  $U(t)$ . Если требуется получить мультиплицирование СЭ в  $n$  раз по горизонтали и вертикали, то частоты соответствующих РФ увеличиваются в  $n$  раз.

По коммутирующим импульсам  $U(t)$  трудно представить вид формируемой фигуры вытеснения и ее динамику. Для этого по виду РФ строят пространственно-временную диаграмму, позволяющую наглядно представить формируемую фигуру вытеснения (рис. 3.8.18, б, в). Сигналы вытеснения, соответствующие СЭ с границами, параллельными двум сторонам раstra, формируют по операционной схеме рис. 3.8.19. Формирователи РФ

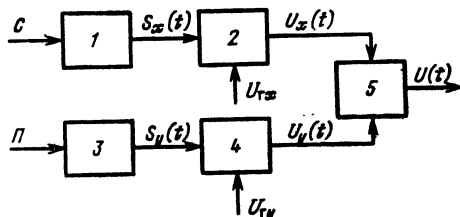


Рис. 3.8.19. Операционная схема формирования РФ для спецэффектов с границами, параллельными двум сторонам раstra

по горизонтали 1 и вертикали 3 синхронизируются соответственно импульсами частот строк и полей и генерируют периодические напряжения  $S_x(t)$  и  $S_y(t)$  пилообразной и треугольной формы (рис. 3.8.20). Эти напряжения в различных комбинациях поступают на компараторы 2 и 4, на вторые их входы подаются изменяющиеся напряжения «границы» по горизонтали  $U_{\Gamma x}$  и вертикали  $U_{\Gamma y}$ . На выходах формируются коммутирующие импульсы по горизонтали  $U_x(t)$  и вертикали  $U_y(t)$ , которые поступают на входы логического устройства 5, на выходе которого под действием сигнала управления формируются сигналы вытеснения в виде коммутирующих импульсов  $U(t)$ .

В табл. 3.8.1 показаны развертывающие функции  $S_x(t)$  и  $S_y(t)$ , соответствующие СЭ рис. 3.8.16. В ГСЭ (рис. 3.8.21), построенном по схемам рис. 3.8.17 и 3.8.19, импульсы частоты строк поступают на генератор 1 РФ по горизонтали; РФ отображаются напряжением пилообразной, треугольной и параболической

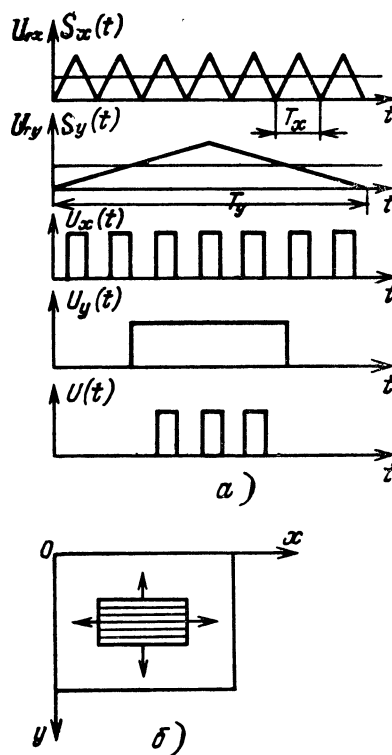


Рис. 3.8.20. Формы развертывающих функций: а — форма напряжений; б — вид СЭ на экране

формы с помощью соответствующих генераторов 3—5. Для получения мультиплицированных СЭ применяют  $n$ -кратное повторение пилообразной РФ на интервале прямого хода, формируемой генератором 6. Вид РФ и ее полярность выбирают с помощью первого коммутатора 7, управляющие сигналы на который поступают от устройства управления 20. Аналогично построен генератор РФ по вертикали 19, на который поступают импульсы частоты полей.

Напряжение РФ с выхода первого коммутатора 7 поступает на первый сумматор 8 и на второй коммутатор 9, а напряжение РФ по вертикали — на первый сумматор 8 и на первый фиксатор уровня 11. В первом

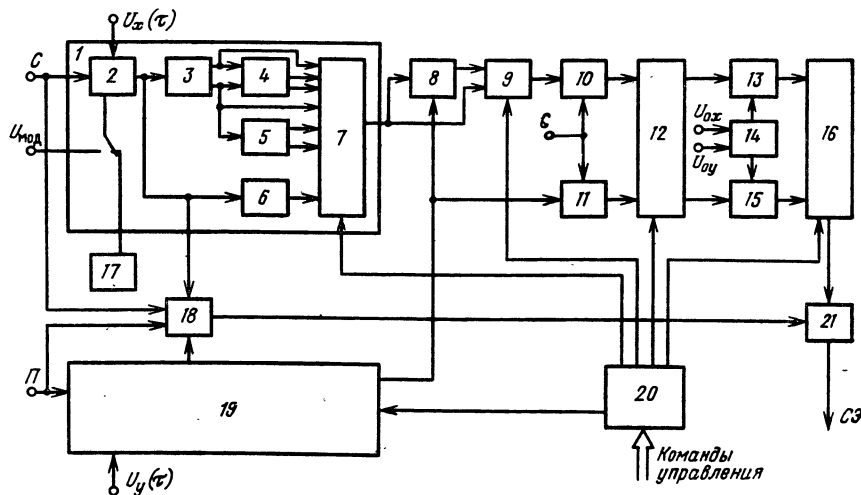
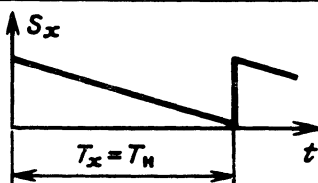
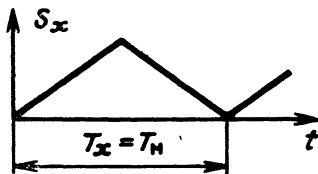
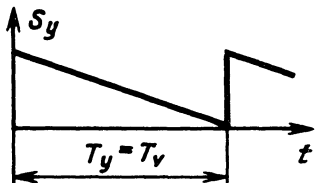
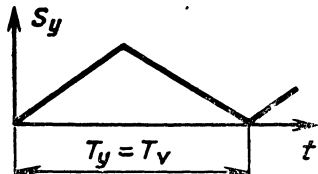
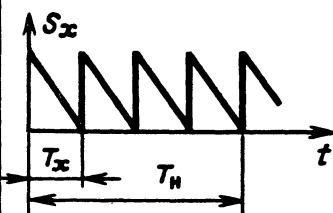
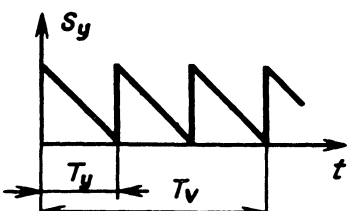
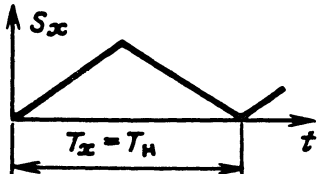
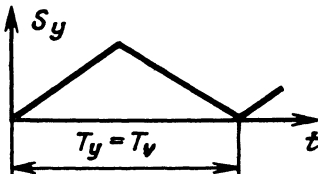
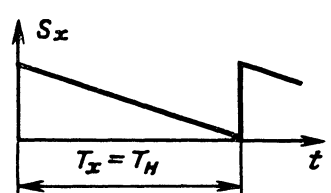
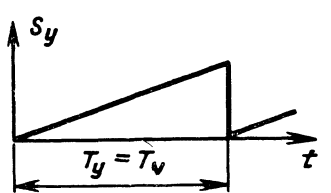
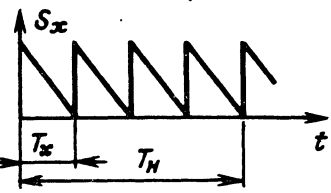
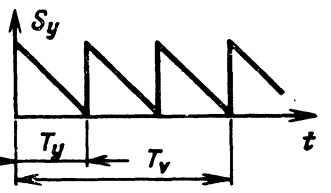
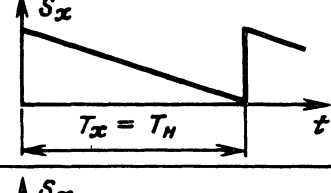
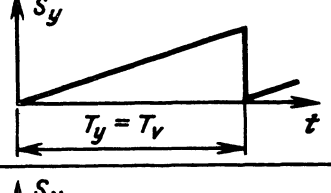
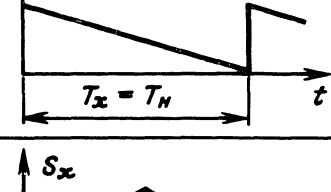
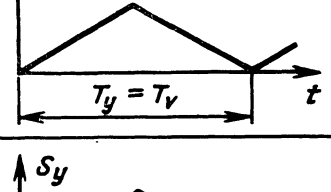
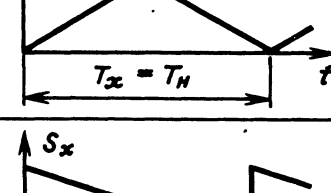
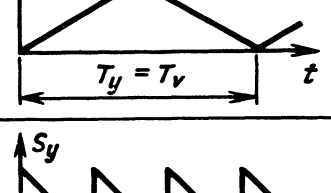
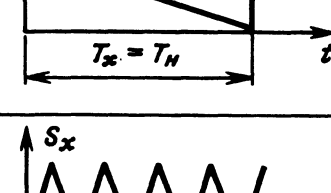
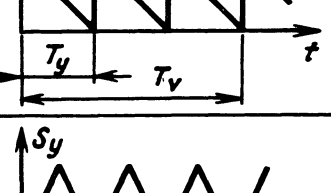
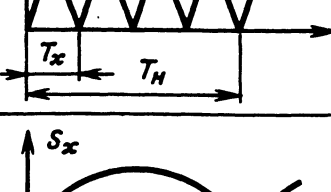
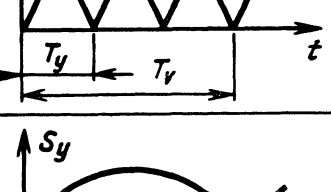
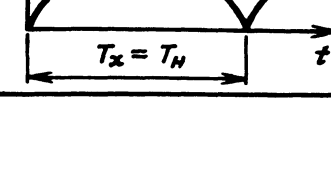
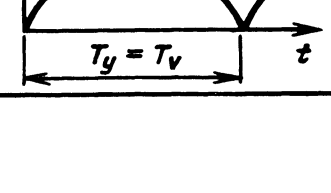


Рис. 3.8.21. Структурная схема аналогового генератора спецэффектов

Таблица 3.8.1 Формы развертывающих функций

№ № СЗ на рис.3.8.16	Развертывающие функции		Способ объединения
	$S_x(t)$	$S_y(t)$	
1		0	—
2		0	—
3	0		—
4	0		—
5		0	—
6	0		—
7			Логическое сложение

8			Логическое сложение
9			—
10			Суммирование
11			Суммирование
12			Суммирование
13			Суммирование
14			Суммирование
15			Суммирование

сумматоре 8 образуется напряжение сложной суммарной функции, из которого формируются сигналы вытеснения СЭ с наклонными и криволинейными границами. В зависимости от вида СЭ на второй фиксатор уровня 10 второй коммутатор 9 может подаваться напряжение суммарной функции или РФ по горизонтали. Напряжения всех РФ на входах управляемого фазоинвертора 12 имеют нормированный размах и зафиксированы на определенном уровне с помощью строчных синхроимпульсов. С выходов управляемого фазоинвертора 12 эти напряжения подаются на первое 13 и второе 15 пороговые устройства, где сравниваются с напряжением, определяющим положение границы СЭ на ТВ растре, поступающие через нормирователь порогового напряжения 14. Пороговые устройства 13 и 15 вырабатывают коммутрующие импульсы, поступающие на логическое устройство 16, способ обработки в котором задается устройством управления 20.

Для перемещения СЭ по растру напряжения РФ по горизонтали и вертикали формируются с задержкой по отношению к входным синхроимпульсам с помощью устройства управляемой задержки 2, на которое подается внешнее напряжение  $U_x(\tau)$ . Для исключения повторов при смещении части СЭ за край растра в ГСЭ включен генератор 18 сигнала гашения по горизонтали и вертикали, который замешивается в последовательность выходных импульсов логического устройства с помощью второго сумматора 21. Для получения модулированной границы СЭ в устройстве управляемой задержки 2 генератор РФ по горизонтали применяют временную модуляцию строчных синхроимпульсов с помощью внутреннего генератора 17 или внешнего сигнала  $U_{\text{мод}}$ .

Выполненный по рассмотренной схеме ГСЭ является аналоговым устройством. Он прост в исполнении, но работает недостаточно стабильно. В настоящее время широко применяют цифровые генераторы спецэффектов

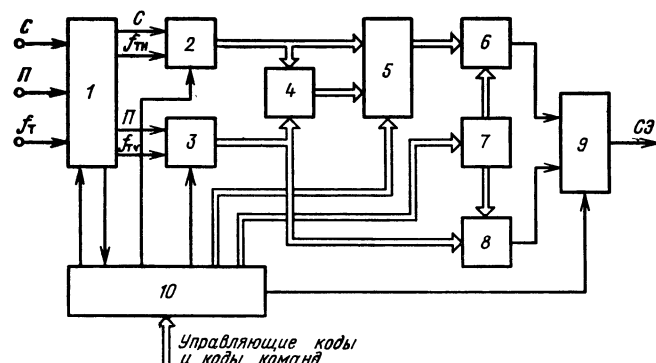


Рис. 3.8.22. Структурная схема цифрового генератора спецэффектов

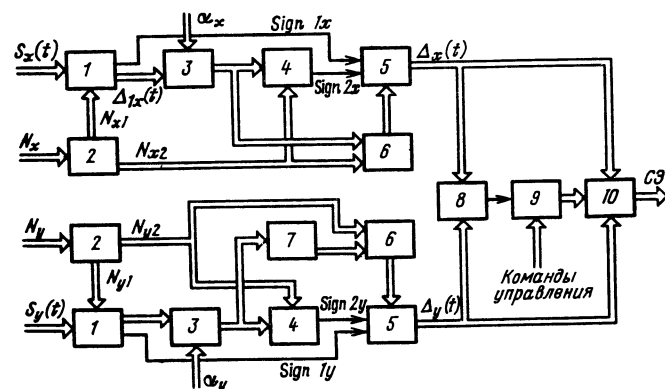


Рис. 3.8.23. Структурная схема ЦГСЭ с плавными линейными границами

(ЦГСЭ), которые при большей сложности исполнения и увеличении энергопотребления отличаются высокой стабильностью в работе. Существуют следующие *цифровые методы* формирования сигналов вытеснения: запоминающей матрицы, суммарной функции, непосредственного сравнения, сравнения с суммарной функцией, с применением специальных вычислителей. При построении ЦГСЭ для выдачи сигналов динамических фигур наибольшее применение нашли методы непосредственного сравнения ЦРФ и сравнения суммарной ЦРФ с кодом границы. В них РФ моделируется цифровой последовательностью на заданном временном интервале. В таком ЦГСЭ (рис. 3.8.22) импульсы строк и полей, а также тактовой частоты подаются на синхронизатор 1, который вырабатывает импульсы частот строк и полей, задержанные в соответствии с кодами, поступающими от устройства управления 10, а также импульсы частоты вертикальной дискретизации. Частоту горизонтальной дискретизации выбирают равной тактовой частоте цифрового ТВ. В ЦГСЭ частоты горизонтальной  $f_{\text{тн}}$  и вертикальной  $f_{\text{тв}}$  дискретизации выбирают из соотношения равенства числа отсчетов  $n_x$  и  $n_y$  за время прямого хода по горизонтали  $T_{\text{пхн}}$  и вертикали  $T_{\text{пхв}}$ , т. е.  $f_{\text{тв}} = f_{\text{тн}} T_{\text{пхн}} / T_{\text{пхв}}$ . Задержанные импульсы частот строк и горизонтальной дискретизации поступают на генератор цифровых развертывающих функций (ЦРФ) по горизонтали 2, а задержанные импульсы частот полей и вертикальной дискретизации — на генератор ЦРФ по вертикали 3.

Функции представляют собой последовательность отсчетов, взятых на интервалах горизонтальной и вертикальной разверток через промежутки времени, равные периодам частот горизонтальной и вертикальной дискретизации. Вид генерируемых ЦРФ определяется кодами, поступающими от устройства управления 10. Функции по горизонтали поступают на сумматор 4 и на коммутатор 5, по вертикали — на сумматор 4 и на

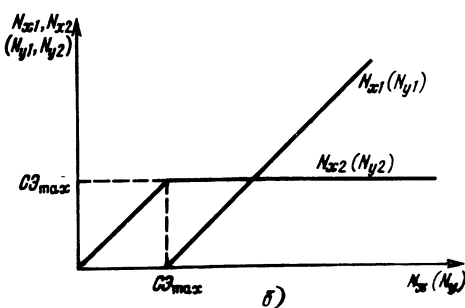
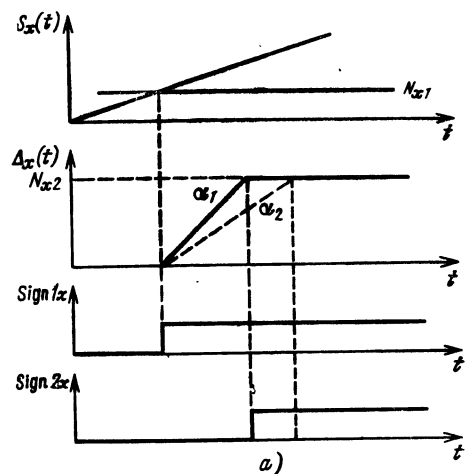


Рис. 3.8.24. Формы сигналов в схеме ЦГСЭ (рис. 3.8.23)

второй компаратор 8. Суммарная ЦРФ поступает на второй вход коммутатора 5, на управляющий вход которого подаются коды управления от устройства управления 10. С выхода коммутатора 5 ЦРФ по горизонтали или суммарная ЦРФ поступает на первый компаратор 6, на второй вход которого подаются код границы с выхода его формирователя 7. Код границы поступает также на второй вход второго компаратора 8. Компараторы формируют коммутирующие сигналы вытеснения по горизонтали и вертикали. Окончательно коммутирующие импульсы СЭ формируются в логическом устройстве 9, управляемом командами от устройства управления 10. Сигнал СЭ на выходе рассмотренного ЦГСЭ является двухградационным, что дает на ТВ растре резкую границу. Чтобы получить плавную границу, требуется многоградационный сигнал СЭ. Для получения его с линейными границами можно использовать устройство, структурная схема которого приведена на рис. 3.8.23, а; эпюры напряжений — на рис. 3.8.24. Сигнал  $S_x(t)$  поступает на один из входов первого вычитателя 1, на второй вход которого от шифратора 2 поступает смещенный код границы  $N_{x1}$  (рис. 3.8.24, б). Смещение этого кода определяется максимальным значением кода СЭ. На выходах первого вычитателя 1 формируются первая разность  $\Delta_{1x}(t) = S_x(t) - N_{x1}$  и ее знак  $\text{sign } 1x$ , который изменяется в момент равенства кодов  $S_x(t) = N_{x1}$ . Код первой разности через умножитель 3 подается на второй вычитатель 4, на второй вход которого от шифратора 2 поступает ограниченный код границы  $N_{x2}$ . Уровень ограничения этого кода также определяется максимальным значением кода СЭ. На выходе второго вычитателя 4 формируется знак  $\text{sign } 2x$  второй разности  $\Delta_{2x}(t) = \alpha_x \Delta_{1x}(t) - N_{x2}$ , который изменяется в момент равенства кодов  $\alpha_x \Delta_{1x}(t) = N_{x2}$ . С выхода умножителя 3 код  $\alpha_x \Delta_{1x}(t)$  поступает на один из входов сумматора 6, который складывает его с кодом, обратным коду  $N_{x2}$ , что обеспечивает полный вывод плавной границы за пределы ТВ растра, и подает полученный код на вход цифрового ограничителя 5. Под действием сигналов  $\text{sign } 1x$  и  $\text{sign } 2x$  на выходе ограничителя 5 формируется код разности  $\Delta_x(t)$  (рис. 3.8.24, а).

Аналогично работает канал формирования кода плавной границы по вертикали. Отличие состоит лишь в том, что в него введен умножитель 7 на  $3/4$ , учитывая формат ТВ растра. При изменении кодов границы  $N_x$  и  $N_y$ , поступающих с пульта управления, шифраторы 2 и 7 вырабатывают управляющие коды  $N_{x1}$  и  $N_{x2}$ ;  $N_{y1}$  и  $N_{y2}$  (рис. 3.8.24, б). Длительность плавной границы  $\tau_{п.г} = T_{пх} N_{x2} / S_{x \max} \alpha_x$ , где  $N_{x2}$  — пороговый уровень,  $S_{x \max}$  — размах ЦРФ,  $\alpha_x$  — коэффициент, определяющий ширину плавной границы.

Коды разностей по горизонтали  $\Delta_x(t)$  и вертикали  $\Delta_y(t)$  поступают на компаратор 8 и коммутатор 10, на который также поступают сигналы от устройства управления 9. Компаратор, коммутатор и устройство управления формируют коды СЭ, соответствующие различным фигурам вытеснения: шторкам по горизонтали и вертикали, диагоналям, ромбу или прямоугольнику.

#### Список литературы

1. Гуглин И. Н. Электронный синтез телевизионных изображений. — М.: Сов. радио, 1979, С. 255.
2. Гуглин И. Н. Телевизионные игровые автоматы и тренажеры. — М.: Радио и связь, 1982, С. 272.
3. Варбанский А. М. Телевизионная техника. — М.: Энергия, 1964, С. 544.
4. Темников Ф. Е., Славинский В. Л. Математические разветвляющие системы. — М.: Энергия, 1970, С. 121.

#### 3.8.4. Системы электронной рипроекции (ЭРП).

Предназначены для формирования комбинированных изображений, в которых объекты переднего плана (актеры и предметы реквизита) размещены перед выбранным изображением любого заднего плана. Такие системы позволяют, например, без значительных материальных затрат воспроизвести сцены общения Гулливера и лилипутов или же создать эффект присутствия комментатора, находящегося в ТВ студии, перед панорамой города, о событиях в котором он говорит. В простых системах ЭРП сигналы комбинированного изображения «сшиваются» с помощью микшерных усилителей из цветоделенных сигналов заднего и переднего планов. Сигналы переднего плана формируют ТВ камерой, снимающей актеров, размещенных перед одноцветным равномерно освещенным фоновым экраном. Из сигналов переднего плана (при достаточном цветовом контрасте между изображениями экрана и актеров) синтезируют силуэтный сигнал, чьи нулевые значения соответствуют объектам переднего плана, а единичные — фоновому экрану. Силуэтный сигнал, подаваемый на управляющие входы микшерных усилителей, определяет место «сшивания» изображений переднего и заднего планов.

Комбинированное изображение, формируемое системой ЭРП, должно быть таким, чтобы оно воспринималось зрителем как созданное одной ТВ камерой. Для этого необходимо, чтобы в комбинированном изображении были верно, без потери существенных мелких деталей, воспроизведены объекты переднего плана, отсутствовали локальные нестабильности границ этих объектов, цветные их окантовки, не были подкрашены в цвет фоновый экран полупрозрачные объекты, а также объекты, отражающие лучистый поток от фоновый экран в объектив камеры переднего плана. Кроме того, изображение заднего плана должно меняться в соответствии с изменениями положения камеры переднего плана и фокусного расстояния ее объектива, яркость же фрагментов изображения заднего плана должна соответствовать прозрачности объектов переднего плана, размещенных перед этими фрагментами, и при необходимости соответствовать неравномерностям яркости фоновый экран, которые задаются системой его освещения и тенями от актеров.

Комбинированное изображение, обладающее указанными свойствами, создает система ЭРП (рис. 3.8.25), которая в отличие от простейших систем содержит подавитель сигналов фона и формирователь сигналов заднего плана. Рассмотрим такую систему на примере отечественного блока ЭРП типа ПБ-30М. Будем при этом полагать, что источниками цветоделенных сигналов R, G, B переднего плана являются преобразователи «свет — сигнал», обладающие одинаковой разрешающей способностью и формирующие наряду с полезным сигналом шумовые компоненты, которые не зависят от уровня полезных сигналов. Пусть камере переднего плана «предъявлен» неравномерно освещенный фоновый экран Ф, перед которым на сто-

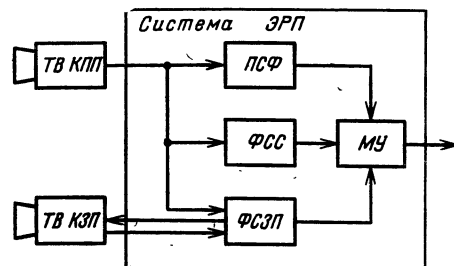


Рис. 3.8.25. Структурная схема системы ЭРП (КПП — камера переднего плана, КЗП — камера заднего плана, ПДФ — подаватель сигналов фона, ФСС — формирователь силуэтного сигнала, ФСЗП — формирователь сигналов заднего плана, МУ — микшерные усилители)

ле с красной полированной крышкой К (частично отражающей лучистый поток от экрана в объектив камеры) стоит полупрозрачный зеленый стакан П с цветами, имеющими непрозрачные белые Б и желтые Ж лепестки.

Воспользуемся далее представлением сигналов R, G, B в виде проекций некоторого вектора  $x$  на оси трехмерной прямоугольной системы координат. Обозначим как Ж, Б, П, К, Ф фиксированные положения вектора  $x$ , соответствующие перечисленным объектам переднего плана и фона (рис. 3.8.26). Вследствие ли-

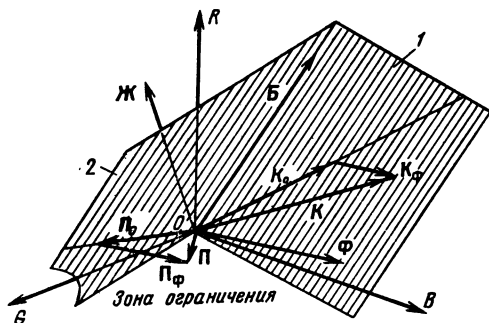


Рис. 3.8.26. Векторное представление сигналов переднего плана (1, 2 — створки разделительной поверхности ПСФ)

нейности преобразователей свет — сигнал каждый из векторов П и К есть сумма двух векторов: один из них характеризует собственный цвет объекта (это векторы  $P_0$  и  $K_0$ ), параметры же другого определяются лучистым потоком, покрашивающим изображение объекта в цвет фона (это векторы  $P_ф$  и  $K_ф$ , параллельные вектору фона Ф). Во введенном пространстве шумовые компоненты сигналов будем рассматривать как проекции на оси координат вектора шума  $x_{ш}$ , «вращающегося» вокруг вершины вектора  $x$ .

Подавитель сигнала фона устраняет в поступающих на его входы сигналах переднего плана составляющие, обусловленные лучистым потоком от фонового экрана. Подавитель является трехмерным ограничителем; его свойства определены, если в пространстве входных сигналов заданы форма и положение некоторой поверхности, разделяющей его на зоны пропускания и ограничения, и указаны «траектории» ограничения. Сигналы, чья изображающая точка попала в зону пропускания, поступают на выход подавителя без изменений. Изображающая же точка, попавшая в зону ограничения, переводится по проходящей через данную точку траектории ограничения на разделяющую поверхность; при этом на выходы подавителя поступают сигналы, соответствующие новому положению изображающей точки. В подавителях современных систем ЭРП траектории ограничения — прямые, параллельные вектору фона.

Известны подаватели с плоской разделительной поверхностью. Однако более удобны в эксплуатации устройства с разделительной поверхностью в виде «раскрытой книжки», створки которой могут вращаться вокруг общей оси — вектора белого (см. рис. 3.8.26); при этом векторы из зоны ограничения и пропускания всегда соответствуют объектам, отличающимся по цветовому тону. Двустворчатая разделительная поверхность использована и в подавителях блоков ПБ-30М, и Ultimatte (США). При подготовке подобных систем ЭРП к работе видеоинженер регулирует положение створок, контролируя свои действия с помощью ВКУ, подключенного к выходу подавителя. Сначала сближенные и «жестко скрепленные» друг с другом створки поворачивают так, чтобы получить на экране ВКУ изображение рассматриваемых объектов переднего плана

на черном, а не на синем фоне; при этом вектор фона Ф попадает в зону ограничения и подавляется. Затем при вращении только створки 1 в зону ограничения вводят (и подавляют) все большую часть вектора  $K_ф$ ; в результате на экране ВКУ ослабляется подкрашивание крышки стола в цвет фона. Видеоинженер прекращает поворот створки при совпадении восстановленного цвета крышки с цветом торцевых частей стола, на которые не попадает лучистый поток от фонового экрана. При этом створка 1 касается вектора  $K_0$ , соответствующего истинному цвету стола. Аналогично устанавливается створка 2; в рабочем положении она касается вектора  $P_0$ . Для указанного положения створок на выходы подавителя, как это и требуется, без искажений пройдут сигналы, соответствующие векторам желтого Ж и белого Б, попавшим в зону пропускания и на ее границу.

Отметим, что фиксированная траектория ограничения подавителя фактически отражает некоторое усредненное положение вектора фона. Колебания последнего обусловлены нелинейностями преобразования свет — сигнал в ТВ камере, неоднородностями окраски материала фонового экрана, выгородок и покрывал, а также различиями в цветовой температуре используемых светильников. В результате при передаче изображения фонового экрана подавитель формирует остаточные цветоделенные сигналы, размах которых обычно определяется качеством подготовки ТВ камер и студии к работе с системой ЭРП. Подавитель не может полностью устранить искажения цвета объекта, вектор собственного цвета которого размещен в глубине зоны пропускания. Если, например, объект Ж по какой-либо причине подкрашен в цвет фона и вершина соответствующего результирующего вектора принадлежит зоне ограничения, то она будет спроецирована подавителем на створку 2, которая касается вектора собственного цвета зеленого объекта П. При этом восстановленный цвет объекта Ж будет зеленым, соответствуя положению данной створки. Этот недостаток несуществен, ибо обычно подкрашивание должно быть ликвидировано лишь в изображениях одного-двух «обязательных» элементов сюжета, например лица и волос актера; элементы же декораций или одежды, мешающие такой коррекции или не поддающиеся ей, как правило, могут быть удалены режиссером после обязательной предварительной проверки качества комбинированного изображения.

Подавитель с двустворчатой разделительной поверхностью содержит три идентичных канала, в каждом из которых обрабатывается один из исходных сигналов переднего плана. Выходной сигнал канала

$$B_n = B - \frac{C^+(x)}{C(\Phi)} B_\Phi, \quad (3.8.1)$$

где  $B_\Phi$  — проекция на ось ОВ вектора фона Ф;  $C(x)$  — расстояние от вершины любого вектора  $x$  до разделительной поверхности, причем  $C(x) > 0$ , если эта вершина принадлежит зоне ограничения, и  $C(x) < 0$ , если вершина принадлежит зоне пропускания подавителя;  $C^+(x)$  — положительный фрагмент функции  $C(x)$ .

Выражение (3.8.1) и аналогичные выражения для выходных сигналов каналов R и G подавителя можно получить, решив систему трех уравнений. Два из них — уравнения пересекающихся плоскостей, параллельных вектору фона и проходящих через вершину исходного вектора  $x$  с координатами R, G, B; эти плоскости задают траекторию ограничения. Третье — уравнение  $C(x) = 0$  разделительной поверхности. Функция

$$C(x) = F(x) - \begin{cases} P_1 N(x) & \text{при } N \geq 0 \\ P_2 N(x) & \text{при } N \leq 0, \end{cases} \quad (3.8.2)$$

где  $P_1, P_2$  — коэффициенты, а сигналы  $N(x)$  и  $F(x)$  — проекции вектора  $x$  на соответствующие оси ортого-



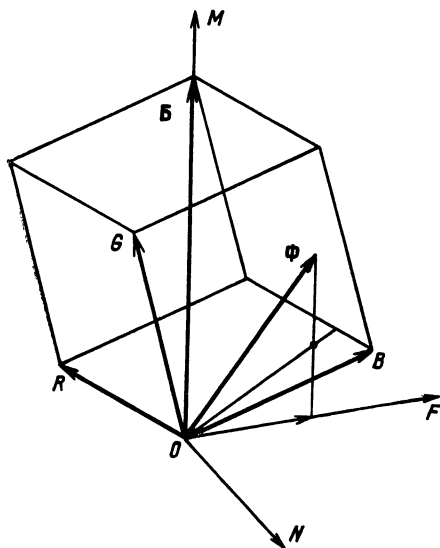


Рис. 3.8.27. Взаимное положение систем координат RGB и NFM

нальных координат NMF. Данная система, имея общее начало с исходной системой RGB, повернута относительно нее так, что ось OM совмещена с вектором белого, а ось OF с проекцией вектора фона (при любом цвете последнего) на плоскость, перпендикулярную оси OM (рис. 3.8.27). Требуемое положение осей ON и OF в этой плоскости устанавливается автоматическим устройством после предъявления камере переднего плана только изображения фонового экрана: система координат NMF поворачивается вокруг оси OM до получения нулевого уровня сигнала  $N(\Phi)$  и максимального значения сигнала  $F(\Phi)$ . При этом вектор фона попадает в зону ограничения подавителя, ибо  $C(\Phi) = F(\Phi)$  (см. (3.8.2)) при любых значениях коэффициентов передачи  $P_1$  и  $P_2$ , определяющих положение створок разделительной поверхности относительно оси OF.

Переход к системе координат NMF позволяет автоматизировать вычисление весовых коэффициентов  $B_{\Phi}/C(\Phi)$ ,  $R_{\Phi}/C(\Phi)$ ,  $G_{\Phi}/C(\Phi)$ , входящих в выражения вида (3.8.1) для выходных сигналов подавителя, и, следовательно, автоматизировать подавление вектора фона и «подкрашивающих» векторов, попавших в зону ограничения. Поскольку  $C(\Phi) = F(\Phi)$ , то значения коэффициентов не зависят от положения створок разделительной поверхности и могут быть найдены как решения уравнений  $B_{\Pi}(\Phi) = 0$ ,  $R_{\Pi}(\Phi) = 0$ ,  $G_{\Pi}(\Phi) = 0$  при предъявлении камере переднего плана только изображения фонового экрана. После вычисления всех упомянутых коэффициентов в поле зрения камеры вводят объекты переднего плана и видеоинженеру остается, меняя параметры  $P_1$  и  $P_2$  (см. (3.8.2)), установить створки разделительной поверхности в положение, определяемое собственным цветом данных объектов. При этом вычисляются сигнал  $C^+(\mathbf{x})$  и согласно (3.8.1) выходные сигналы подавителя. Отметим, что подаватель цвета фона блока ЭРП корпорации NHK (Япония) автоматически устраняет фоновые компоненты в полном ТВ сигнале (по системе НТСЦ), однако требуемый для этого сигнал  $C(\mathbf{x})$  формируется процессором, который не содержит автоматики и управляется видеоинженером. Аналогично вычисляется сигнал  $C(\mathbf{x})$  и в подавателе системы Ultimate, который устраняет фоновые компоненты лишь в сигнале В, что заставляет использовать фоновые экраны, близкие по цвету к чисто синему. Особенности эксплуатации подавителя с двустворчатой разделительной поверхностью:

1. Качество подавления сигналов фона не ухуд-

шается при изменениях освещенности объектов переднего плана или экрана, а также при диафрагмировании объектива камеры, ибо при этом изменяются только модули, а не угловое положение векторов в пространстве цветоделенных сигналов.

2. В выходных сигналах подавителя ОСШ остается таким же, как и во входных сигналах, когда соответствующий им вектор  $\mathbf{x}$  находится в глубине зоны пропуска. Если вектор  $\mathbf{x}$  попадает в зону ограничения, то шумовая составляющая  $\mathbf{x}_{ш}$  вектора выходных сигналов будет принадлежать (как и полезная составляющая  $\mathbf{x}_0$ ) плоскости створок, вызывая флуктуации насыщенности и яркости восстановленного цвета объектов переднего плана. На рис. 3.8.28 показано, как формируется эллипс рассеивания вектора  $\mathbf{x}_{ш}$  на створке 2 раздельительной поверхности, куда — при ограничении — переводятся точки из эллипсоида рассеивания исходного вектора шума  $\mathbf{x}_{ш}$  по ниспадающим траекториям, параллельным вектору фона  $\Phi$  (при любом цвете фона малая ось эллипсоида параллельна оси  $OG$  (см. рис. 3.8.27) из-за различия уровней шума в  $R$ ,  $G$  и  $B$  каналах). Проекция упомянутого эллипса на ось  $OM$ , нормальную плоскости  $N0F$ , характеризует уровень шума в сигнале яркости, который можно сформировать из выходных сигналов подавителя. Уровень этого шума зависит от цвета фоновой экран; при выбранном же цветовом тоне шум тем меньше, чем больше угол между вектором фона  $\Phi$  и осью  $OM$  и чем ближе к оси  $ON$  размещены (видеоинженером) створки раздельительной поверхности. Последнее возможно при достаточном цветовом контрасте между экраном и объектами переднего плана.

3. Подавитель не искажает сигнал апертурной коррекции, замешиваемый в каждый из цветоделенных сигналов: сигналу коррекции соответствует вектор, параллельный вектору белого и, следовательно, параллельным створкам разделительной поверхности; при этом вектор апертурной коррекции «переносится» на выход трехмерного ограничителя без изменений.

4. Подаватель может обрабатывать сигналы, подвергнутые  $\gamma$ -коррекции до введения в них сигнала апертурной коррекции (такие сигналы поступают на выходы R, G, B камеры КТ-132). При этом, однако, необходимо использовать фоновые экраны, цвет которых близок к чисто синему, зеленому или красному. Действительно, в пространстве  $\gamma$ -корректированных сигналов «подкрашивающие» векторы параллельны вектору фона, только если последний совпадает с одной из коор-

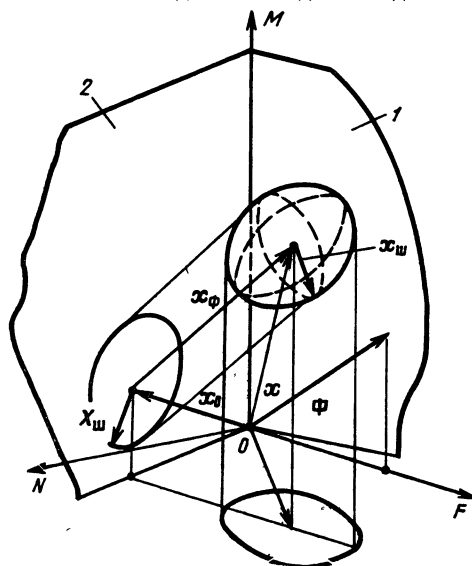


Рис. 3.8.28. К оценке шумовой компоненты выходных сигналов подавителя (1, 2 — створки разделительной поверхности)

динатных осей. В противном случае подавитель, восстанавливая истинные цветовые тона объектов переднего плана, искажает их насыщенность и яркость. Кроме того,  $\gamma$ -коррекция увеличивает размах шума при малых уровнях полезных сигналов, что ведет, например, к увеличению заметности флуктуаций на затененных ахроматических объектах переднего плана. Это результат перевода (по ниспадающим траекториям) вершин векторов шума, «проколовших» разделительную поверхность, на другие ее участки, которым соответствуют меньшие, чем для исходных сигналов, уровни яркости в выходном изображении подавителя. Флуктуации уменьшаются при переходе к более высоким траекториям ограничения, соответствующим фоновым экранам с высокой насыщенностью цвета. Создание таких экранов требует значительных усилий: необходимо правильно подобрать материал экрана, краситель и противопожарную пропитку, цветовую температуру источников освещения; следует также помнить, что характеристики экрана меняются в процессе эксплуатации из-за его выгорания и загрязнения.

5. Подавитель, на входах (выходах) которого установлены *дегамматоры* (обратные  $\gamma$ -корректоры) может обрабатывать видеосигналы, подвергнутые  $\gamma$ -коррекции после введения сигнала апертурной коррекции (эти сигналы поступают, например, на выходы R, G, B камеры КТ-178). Однако выходной  $\gamma$ -корректор существенно увеличивает уровень остаточных сигналов подавителя во время передачи изображения фоновоего экрана.

6. Когда на входы системы ЭРП поступают яркостный Y и цветоразностные R—Y, B—Y сигналы переднего плана, то целесообразно компенсировать фоновые составляющие непосредственно в них, используя компоненты R—Y, B—Y для получения рабочих сигналов N, F, поскольку в RGB-пространстве оси R—Y и B—Y принадлежат (как и оси N0, F0) плоскости, перпендикулярной вектору белого, а ось Y0 близка к нему.

**Формирователь силуэтных сигналов** (см. рис. 3.8.25) управляет работой микшерных усилителей системы ЭРП, где, в частности, силуэтный сигнал модулирует по амплитуде сигналы заднего плана, подготавливая их к сшиванию с сигналами переднего. Силуэтный сигнал S должен иметь нулевое значение, когда исходные сигналы переднего плана соответствуют непрозрачным объектам, и единичное значение — на участках экрана или полупрозрачных объектов переднего плана, где относительная яркость лучистого потока от фоновоего экрана достаточно велика. При меньшей яркости промежуточные значения силуэтного сигнала должны быть пропорциональны прозрачности объектов или яркости затененных участков экрана. Благодаря этому в комбинированном изображении реалистично передаются тени от актеров и полупрозрачные объекты переднего плана (например, сквозь облако табачного дыма просматривается изображение заднего плана), но не прорабатываются неравномерности яркости экрана, обусловленные дефектами его конструкции или несовершенством системы освещения.

На границах изображений актера и фона фронты и срезы силуэтного сигнала должны иметь те же длительность, форму и временное положение, что и видеосигналы переднего плана. Это обеспечивает правильную передачу (в комбинированном изображении) контуров объектов переднего плана и их мелких деталей (например, отдельных прядей волос актера).

**Формирователь силуэтного сигнала** обычно содержит последовательно соединенные двумерный функциональный преобразователь сигналов переднего плана, цепь АРУ и корректор длительностей фронтов и срезов. Передаточную характеристику  $S_0(N, F)$  преобразователя системы ПБ-30М можно представить в виде двускатной поверхности (рис. 3.8.29). Видеоинженер может менять угол между линиями пересечения плоскости N0F и скатов (линии  $F_0A$  и  $F_0C$ ), а также перемещать их вдоль оси 0F. Формирователь использует те

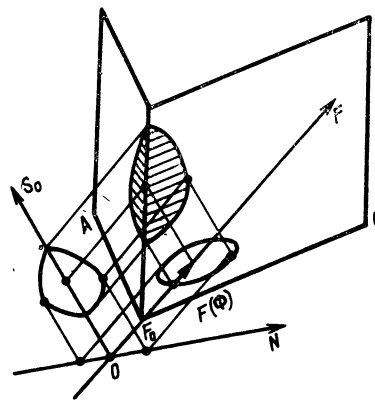


Рис. 3.8.29. Передаточная характеристика  $S_0(F, N)$  двумерного преобразователя силуэтных сигналов

же рабочие сигналы N и F, что и подавитель (см. выше), поэтому при любом цвете экрана проекция  $F(\Phi)$  вектора фона на плоскость N0F размещается под скатами, совпадая с осью 0F. При рассматриваемом сюжете переднего плана (рис. 3.8.26) видеоинженер регулирует положение скатов так, чтобы под ними оказалась еще и проекция вектора  $\Phi$ , который подкрашивает в цвет фона объект П переднего плана. В зону нулевых значений сигнала  $S_0$  должны попасть проекции всех остальных векторов, в том числе и  $K_\Phi$ , «подкрашивающего» изображение крышки стола в цвет фона (при  $S_0(K_\Phi) \neq 0$  в комбинированном изображении сквозь поверхность стола неестественно просвечивалось бы изображение заднего плана).

Известны преобразователи, имеющие «односкатную» передаточную характеристику, однако они обладают малой избирательностью при разделении — в плоскости N0F — областей актера и фона. Выходной сигнал системы АРУ  $S = S_0(F_m - F_0)^{-1} Q(S_0)$ , где  $F_0$  — уровень отсечки (см. рис. 3.8.29);  $F_m$  — максимальное за кадр значение проекции  $F(\Phi)$ ;  $Q(S_0)$  — функция, совпадающая (по строкам и кадрам) с огибающей выходного сигнала  $S_0$  двумерного преобразователя, когда  $S_0(F_m - F_0)^{-1}$  превышает некоторый установленный видеоинженером уровень  $n$ , где  $0 \leq n \leq 1$ . При  $S_0(F_m - F_0)^{-1} < n$  функция  $Q(S_0) = n$ . Поскольку сигнал  $S_0$  пропорционален яркости лучистого потока от фоновоего экрана, то силуэтный сигнал  $S = 1$ , когда относительная яркость больше  $n$ ; в противном случае поддерживается линейная связь между сигналом S и сигналом яркости. Чтобы воспроизвести в силуэтном сигнале все неравномерности освещения экрана, видеоинженер устанавливает единичное значение параметра  $n$ ; при этом  $Q(S_0) = 1$  и  $S = S_0(F_m - F_0)^{-1}$ , т. е. АРУ поддерживает размах силуэтного сигнала на единичном уровне. Таким образом, АРУ способна устранить в силуэтном сигнале компоненты, обусловленные НЧ колебаниями яркости лучистого потока от экрана, сохраняя, однако, мелкие детали сигнала и практически не обостряя его фронты и срезы. Этих преимуществ лишены простые формирователи, где вместо АРУ установлены ограничители (сверху) уровня силуэтного сигнала.

В блоке АРУ для получения огибающей  $Q(S_0)$  из сигнала  $S_0$  используют экстраполятор нулевого порядка, заполняющий «бреши» в сигнале  $S_0$  во время передачи изображения актера. На границах изображений актера и фона выходные сигналы любого двумерного преобразователя и, следовательно, АРУ имеют усеченные по длительности фронты и срезы по сравнению с сигналами переднего плана, поскольку в плоскости N0F только конечные (начальные) фрагменты траекторий актер — фон (фон — актер) рабочей точки разме-

щаются под скатами холма передаточной характеристики преобразователя; степень усечения зависит от цветового контраста на границах. В этой ситуации корректор формирователя силуэтных сигналов, сглаживая фронты и срезы выходного сигнала АРУ, должен сохранить правильно найденное взаимное положение конечных фрагментов фронта и начальных фрагментов среза данного сигнала.

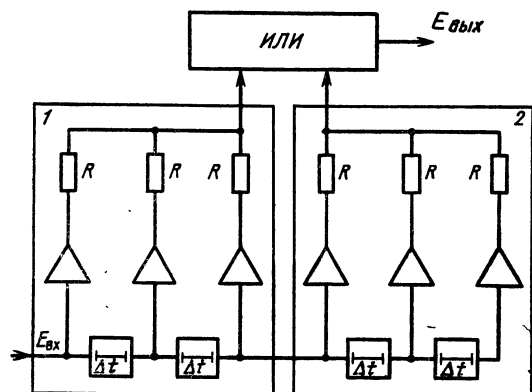


Рис. 3.8.30. Структурная схема корректора фронтов и срезов (1, 2 — трансверсальные фильтры)

В системе ПБ-30М корректор (рис. 3.8.30) содержит сглаживающие трансверсальные фильтры и устройство ИЛИ, которое подключено к выходам фильтров и сохраняет в силуэтном сигнале на выходе корректора ту же длительность вершин, что и во входном сигнале.

Особенности эксплуатации формирователя:

1. Работоспособность сохраняется при значительных изменениях освещенности объектов переднего плана или экрана, а также при диафрагмировании объектива камеры.

2. В силуэтном сигнале ОСШ зависит от цвета фонового экрана и цветового контраста между экраном и объектами переднего плана. При любом цвете фона проекция вектора шума на плоскость NOF имеет эллипс рассеивания, малая ось которого составляет небольшой угол с проекцией на ту же плоскость оси OG (это обусловлено разницей в уровнях шума в каналах R, G и B ТВ камер). На рис. 3.8.29 показано, как формируется шумовая компонента сигнала  $S_0$ , соответствующая рабочим точкам, попавшим в пределы упомянутого эллипса. Эта компонента минимальна, если малая ось эллипса совпадает с осью OF (т. е. если экран имеет зеленый цвет), а скаты холма передаточной характеристики формирователя установлены видеоинженером параллельно оси ON. Последнее возможно при достаточном цветовом контрасте между экраном и объектами переднего плана. Полезная компонента силуэтного сигнала пропорциональна разности  $F(\Phi) - F_m$ , причем максимум проекции  $F(\Phi)$  вектора  $\Phi$  на плоскость NOF достигается, когда вектор  $\Phi$  совпадает с одной из координатных осей системы RGB; уровень же отсечки  $F_0$  минимален при значительных цветовых различиях между актерами и фоном. Практика подтвердила, что использование зеленого экрана (вместо традиционного синего) позволяет снизить заметность локальных нестабильностей на границах сшиваемых изображений, а также повысить ОСШ в видеосигналах заднего плана, модулированных силуэтным сигналом. В силуэтном сигнале ОСШ зависит также от того, какие исходные сигналы RGB ( $\gamma$ -корректированные или линейные) использованы для получения входных сигналов N и F формирователя. Гамма-коррекция обычно приближает вектор фона к вектору белого и увеличи-

вает уровень шума в сигналах малого размаха, что заставляет отодвигать от начала координат (в плоскости NOF) скаты передаточной характеристики формирователя и увеличивать их наклон. При этом ОСШ в силуэтном сигнале меньше, чем при использовании исходных линейных видеосигналов. Если сигналы переднего плана невозможно «дегаммировать», то ситуацию улучшит применение фоновых экранов, достаточно близких по цвету к чисто синему, зеленому или красному.

3. Формирователь нечувствителен к изменениям сигнала апертурной коррекции, который вводится в каждый из сигналов R, G, B переднего плана.

Микшерные усилители систем ЭРП обычно сшивают яркостный  $Y_n$  и цветоразностный  $D_{Rn}/D_{Bn}$  сигналы заднего плана (модулированные по амплитуде силуэтным сигналом S) с видеосигналами  $Y_n$ ,  $D_{Rn}/D_{Bn}$  переднего плана, сформированными из выходных сигналов подавителя. Эти функции удобно возложить на микшерные усилители ТВ аппаратуры, позволяющие, например, формировать комбинированный яркостный видеосигнал в виде суммы  $Y_n(1-S) + Y_nS$ . Поскольку силуэтный сигнал  $S \approx 1$ , когда передается изображение экрана, то, модулируя разностью  $1-S$  сигналы переднего плана, удастся исключить из комбинированных сигналов остаточные сигналы подавителя, а также составляющие, обусловленные дефектами фонового экрана. При этом, однако, могут подавляться полезные мелкие детали контурного изображения актера (например, пряди его волос) или искажаться их размеры и цвет.

В некоторых системах ЭРП используют микшерные усилители, формирующие комбинированные цветоделенные сигналы в виде сумм типа  $(B_n + SB_n)$ . Создаваемые при этом изображения лишены отмеченных недостатков, однако в комбинированные сигналы попадают без ослабления остаточные сигналы подавителя и составляющие, обусловленные дефектами экрана.

Формирователь сигналов заднего плана (см. рис. 3.8.25) обеспечивает трансформацию изображения заднего плана в соответствии с изменениями положения камеры переднего плана и фокусного расстояния ее объектива. Эти изменения воспринимаются датчиками, например потенциометрами, закрепленными на вращающихся узлах камеры и ее штатива; известны и бесконтактные датчики, извлекающие требуемую информацию из цветоделенных сигналов переднего плана. Источником первичных сигналов заднего плана обычно является ТВ камера, кино- или диапроектор. Управляющие напряжения с упомянутых датчиков поступают или на камеру заднего плана, вызывая (с помощью соответствующих исполнительных устройств) изменения положения оси ее визирования и угла зрения, или на подключенный к камере видеопроцессор, где выбирается требуемый фрагмент из общего изображения заднего плана.

Упрощенные системы ЭРП используют при создании информационных программ и выпусков новостей, когда несложно исключить из числа объектов переднего плана предметы с мелкими деталями на контурах, полупрозрачные и зеркально отражающие предметы, а также обеспечить значительный цветовой контраст между объектами и фоновым экраном. Это позволяет исключить из системы ЭРП подавитель сигналов фона, а в формирователе силуэтных сигналов обойтись без АРУ. К числу упрощенных относятся, в частности, отечественные системы ЭРП ТК-30, ТК-44, а также ранее выпускавшийся блок ПБ-30.

Модернизированная система ЭРП для перспективной отечественной ТВ аппаратуры содержит подавитель сигналов фона, который устраняет компоненты, обусловленные лучистым потоком от фонового экрана, только в сигналах  $(R-Y)_n$  и  $(B-Y)_n$  переднего плана (яркостный сигнал  $Y_n$  не изменяется). Это позволяет существенно уменьшить заметность шумов, вносимых подавителем в выходное изображение. Модифици-

рованные микшерные усилители формируют яркостный комбинированный сигнал  $Y_k - Y_n(1-S) + Y_n S_k$ , где  $S$  — силуэтный сигнал, прошедший через схему АРУ,  $S_k = KS + (1-K)S_0$ , причем  $S_0$  — входной сигнал схемы АРУ, а  $K$  — регулируемый видеотехником коэффициент ( $0 \leq K \leq 1$ ). В результате на изображении фонового экрана подавляется сигнал  $Y_n$ ; регулируя же коэффициент  $K$ , можно передать в комбинированном изображении неравномерности освещения экрана и тени от актеров или устранить их. Кроме того, в яркостный сигнал  $Y_k$  заднего плана (до его подачи на микшерный усилитель) вводится сигнал апертурной коррекции, формируемой ТВ камерой переднего плана, что позволяет сохранить в комбинированном изображении мелкие детали контуров объектов переднего плана, не проработанные полностью в силуэтном сигнале. Эти меры, а также использование зеленого фонового экрана существенно сближают качество комбинированного изображения и изображения, созданного одной ТВ камерой.

**3.8.5. Телевизионные знакогенераторы.** При подготовке ТВ программ необходимо использовать титры, текстовые сообщения, поясняющие надписи. Для создания соответствующих сигналов служат ТВ знакогенераторы. Они включаются в состав аппаратуры ПТС и телецентров и позволяют с помощью алфавитно-цифровой и функциональных клавиатур пульта управления набирать различные текстовые сообщения, хранить их либо в долговременной памяти (сохраняющей информацию при выключении питания), либо в оперативной памяти и в нужное время выводить в ТВ сеть по команде оператора или по внешним сигналам управления. При необходимости буквенно-цифровую информацию можно оперативно создавать во время выхода ТВ программы в эфир. Символы (буквы) «впечатываются» по определенным координатам — *символоместам*. Место, в котором может быть «впечатан» символ, обозначается *маркером (курсором)* — видимым на экране контрольно-наборного ВКУ прямоугольником. Маркером также обозначают место редактирования текста.

Устройство ТВ буквопечати УТБ-1, разработанное для ПТС «Магнolia» (рис. 3.8.31), содержит пульт

дактирования и выводе информации в ТВ сеть. В блоке приема и декодирования код обмена информацией декодируется и преобразуется в другие сигналы. Кодовые комбинации команд управления преобразуются в сигналы, которые управляют работой формирователей сигналов управления наборного и выходного каналов ФНК и ФВК и блока управления редактированием БУР. С выходов этих блоков сигналы заданной длительности и с определенными временными положениями обеспечивают либо редактирование информации в ОЗУ набора, либо перепись информации из ОЗУ набора в ОЗУ выхода и вывод информации из ОЗУ выхода в заданном режиме.

Кодовые слова, характеризующие символы (вид символа, масштаб и цвет), блок приема и декодирования преобразуют в 12-разрядный информационный код ИК, в котором восемь разрядов определяют вид символа, один разряд — масштаб и три разряда — цвет символа. Информационный код с блока приема и декодирования во время обратного хода по полю подается на информационные входы ОЗУ набора и записывается в него. Оперативное ЗУ набора служит для хранения информационного кода символов набираемого текста. Его емкость рассчитана на максимальное число символов на ТВ растре. В первом масштабе вдоль строки можно разместить 32 символа, образующих текстовую строку. Максимальное число текстовых строк по полю 16. Таким образом емкость ОЗУ набора должна быть не менее  $(32 \times 16) \times 12$  бит. Управляется оно сигналами, вырабатываемыми блоками, входящими в ФНК (формирователями тактовых частот по  $X$  и  $Y$ , адреса набора, алфавитно-цифрового сигнала набора).

Для управления записью в ОЗУ набора используют два сигнала; «запись символа» и «запись цвета». При нажатии клавиши алфавитно-цифровой клавиатуры на ОЗУ набора поступают оба сигнала записи и в ОЗУ набора по адресу маркера вписывается полный 12-разрядный информационный код. При нажатии клавиши цвета на ОЗУ набора поступает лишь сигнал «запись цвета» и в информационный код, содержащийся в ОЗУ набора, вписываются лишь разряды, определяющие цвет символов. Такое управление позволяет «перекрашивать» буквы после набора текста и удобно для оператора. Для внесения изменений в набранный текст в УТБ-1 предусмотрены различные операции редактирования. Команда управления для выполнения операции редактирования поступает с пульта оператора на блок управления редактированием (БУР). В зависимости от команды в нем вырабатываются определенные сигналы, управляющие работой блоков регистра редактирования (РР) и формирователя адреса набора, входящего в ФНК.

Любая операция редактирования выполняется за время одного поля. При этом во время передачи ТВ строк (кроме последней) информационный код каждой текстовой строки из ОЗУ набора переписывается в РР, а на последней текстовой строке в ОЗУ набора вписывается либо код пробела (нулевой код), либо информационный код из РР по новым адресам. Наличие сигналов на выходе БУР зависит от КУ на входе. Так, при выполнении операции «стирание текста от маркера» блок БУР вырабатывает сигнал, который обнуляет информационный код, считываемый из РР для записи в ОЗУ набора, от начала маркера и до конца последней текстовой строки. При выполнении операции «стирание части строки от маркера» сигнал с БУР обнуляет информационный код с РР на запись в ОЗУ набора от маркера до конца текстовой строки. При операции «стирание текстовой строки со сдвигом нижней части текста вверх» управляющий сигнал с БУР запрещает прохождение текста на счетчик адреса по У блока формирователя адреса набора. Наиболее сложное управление — при выполнении операции «вставка пустой текстовой строки в месте, указанном маркером, со сдвигом текста от маркера вниз». В этом случае сигна-

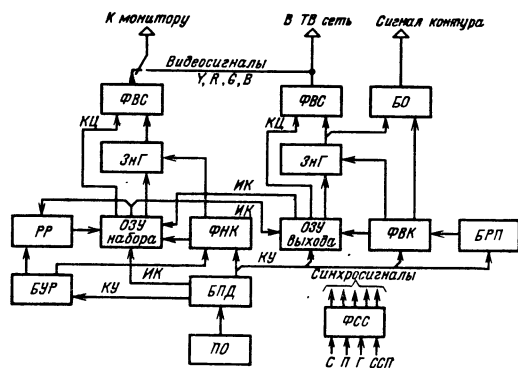


Рис. 3.8.31. Структурная схема знакогенератора УТБ-1

оператора (ПО), на котором расположены клавиатуры с клавишными переключателями для набора и редактирования текста, управления записью набранной информации в ОЗУ и управления режимами вывода текстовых сообщений в ТВ сеть. Каждой клавише пульта присвоено определенное значение 8-разрядного кода обмена информацией (КОИ). При нажатии клавиш параллельный код с пульта поступает на блок приема и декодирования (БПД) и принимается им. Кодовые комбинации разбиты на две группы. Коды одной группы обозначают вид, масштаб и цвет набираемых символов, коды другой группы соответствуют командам управления КУ, которые используются при наборе, ре-

Для визуального контроля набираемого текста в наборный канал включены знакогенератор (ЗНГ) и формирователь (ФВС) видеосигналов R, G, B и Y, дающих на экране контрольного монитора изображение символов. Знакогенератор в соответствии с кодом символов с ОЗУ набора вырабатывает двухградационный (в уровнях ТТЛ) видеосигнал изображения символов. Знакогенератор содержит ПЗУ и регистр сдвига. В ПЗУ изображение каждого символа запрограммировано в матрице элементов  $10 \times 11$  (10 элементов вдоль строки и 11 строк по полю). В накале каждого символа по адресу, задаваемому кодом номера строки символа и кодом символа, из ПЗУ считывается и переносится в сдвиговый регистр код элементов символа вдоль строки. Затем тактовыми импульсами код элементов символа последовательно выводится из сдвигового регистра, образуя на его выходе двухградационный сигнал изображения символа. При считывании символов второго масштаба тактовая частота понижается в 2 раза, а код строк символа сменяется 1 раз за две ТВ строки, в результате чего размеры элементов символа по строке и по кадру увеличиваются в 2 раза. Сигнал изображения символов с блока знакогенератора через коммутатор, входящий в ФВС и управляемый кодом цвета (КЦ), поступает на выходные каскады R, G и B, формирующие амплитуду сигнала на заданной нагрузке. Сигнал Y получается сложением видеосигнала изображения символов с гасящим сигналом и сигналом синхронизации приемников. После набора и редактирования информационный код текстового сообщения из ОЗУ набора может быть переписан в заданную «страницу» ОЗУ выхода. Управление адресом (выбор «страницы») ОЗУ выхода и переписывание информации из одного ОЗУ в другое осуществляют с пульта оператора, при этом можно контролировать правильность переписи информации по контрольному монитору. Для внесения изменений в информацию, хранящуюся в ОЗУ выхода, предусмотрена обратная перепись информации из ОЗУ выхода в ОЗУ набора. Сигналы выбора адреса ОЗУ и управления переписью информации из одного ОЗУ в другое вырабатываются формирователями сигналов управления наборным и выходным каналами по командам управления, поступающим с блока приема и декодирования. Видеосигналы в выходном канале формируются знакогенератором и формирователем видеосигналов, построение и принцип работы которых аналогичен блокам наборного канала. Выходной канал УТБ-1 содержит блок режимов передачи (БРП), сигналы которого выводят информацию в ТВ сеть в режимах «бегущей строки», «бегущей страницы» и телетайпа.

Для создания эффекта движения отображаемой информации блок режимов передачи выдает на формирователь сигналов управления выходным каналом тактовые импульсы для отсчета элементов символа или текстовых строк на той части раstra, где текстовая информация не отображается, сохраняя неизменным число тактовых импульсов в видимой части раstra. Так, в режиме «бегущая строка» в начале строки, где текстовая информация не отображается, блок режимов передачи (БРП) вырабатывает пакет импульсов частоты элементов символов. Число импульсов в пакете изменяется от 0 до 9 при неизменном числе тактов в строке 320, после чего выдается сигнал смены символа и процесс повторяется вновь. Скорость движения «бегущей строки» зависит от скорости увеличения чи-

В отличие от УТБ-1 в модели УТБ-83 (рис. 3.8.32)

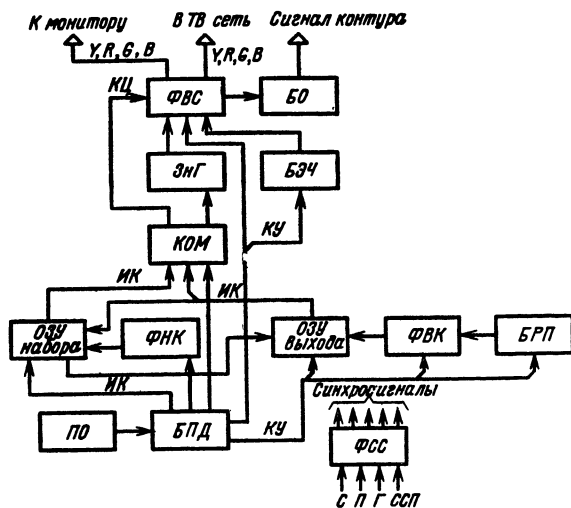


Рис. 3.8.32. Структурная схема знакогенератора УТБ-83

191

В составе передающей ТВ аппаратуры обычно содержится блок электронных часов (БЭЧ) — устройство, формирующее ТВ сигнал отсчета времени. По схемотехническому построению БЭЧ близок к некоторым блокам УТБ, а для обеспечения его работы можно использовать сигналы, содержащиеся в УТБ. С учетом этого БЭЧ введен в состав УТБ-83, что позволило сократить число блоков и межблочных соединений в ПТС ЦТ и использовать возможности УТБ для раскрашивания цифр отсчета времени. Органы управления БЭЧ размещены на пульте управления УТБ-83. Изменением структурной схемы, применением экономичных с высокой степенью интеграции ИМС, лучших схемотехнических решений габариты УТБ-83 по сравнению с УТБ-1 уменьшены на 30%, энергопотребление — более чем в 3 раза. Особенностью УТБ-83 является также то, что пульт оператора связан с блоком приема и декодирования одним одножильным кабелем, по которому на пульт поступают импульсы синхронизации частоты полей, а с пульта — информационный ШИМ код. Такая связь позволяет располагать пульт на значительном удалении (в несколько десятков метров) от других блоков, что удобно при размещении аппаратуры. В модернизированном знакогенераторе УТБ-83М формирователь синхросигналов и генератор тактовых импульсов ФСС заменены на хронизатор цифровой, который может работать как в автономном, так и в ведомом режимах. Переход в ведомый режим происходит автоматически с поступлением на вход хронизатора сигнала синхронизации приемников (ССП). При снятии СПП хронизатор продолжает работу в автономном режиме. Хронизатор цифровой содержит ВЧ генератор тактовых импульсов с кварцевой стабилизацией частоты. Длительности и временные положения синхросигналов на выходах задаются программированием микросхем ПЗУ и обеспечиваются с высокой точностью. Другой особенностью УТБ-83М является то, что при работе как в первом, так и во втором масштабах размер элемента матрицы знака не меняется, т. е. во всех масштабах тактовые частоты, определяющие размер элемента матрицы знака, остаются неизменными. При неизменной тактовой частоте знакогенератор УТБ-83М содержит для каждого масштаба свое знаковое ПЗУ, выбираемое сигналом масштаба. Это несколько увеличивает потребление мощности, однако позволяет существенно улучшить начертание символов во втором масштабе и при проектировании выбирать любой размер второго масштаба (не кратный первому). При использовании микросхем ПЗУ с высокой степенью интеграции (большим объемом памяти) такое техническое решение обоснованно и перспективно. В УТБ-83М изображение символов в первом масштабе программируется в матрице элементов  $16 \times 11$ , а во втором масштабе — в матрице элементов  $32 \times 22$ .

В состав аппаратных республиканских и союзных телецентров включаются ТВ знакогенераторы с долговременной памятью, которые в большей степени удовлетворяют требованиям технологии подготовки ТВ программ. В качестве долговременной памяти в них используют ЗУ, применяемые в средствах вычислительной техники.

Первый отечественный стационарный знакогенератор СТЗ-1 с магнитным накопителем производства ВНР (типа ЕС 5060) был изготовлен в 1982 г. Из-за высокой стоимости и по ряду других причин его серийное производство было ограничено, и он был заменен на знакогенератор СТЗ-2, в котором использован магнитный накопитель СМ 5400. Большой объем его памяти позволяет хранить 300 ТВ страниц текста и 300 ТВ страниц графических изображений. По сравнению с УТБ-83М СТЗ-2 обладает большими функциональными возможностями. Так, для привлечения внимания телезрителей часть информации может отмечаться и отображаться в режиме мерцания. Для более рельефного изображения и лучшей читаемости знаков можно со-

давать три вида контура знаков: слева и снизу, справа и сверху и полное оконтуривание знака. Отмечаемая мерцанием информация и вид оконтуривания вместе с записываемой информацией могут храниться в долговременной памяти. При выводе информации в ТВ сеть мерцание и вид контура включаются автоматически. В СТЗ-2 введены дополнительные режимы вывода информации — вывод текстовыми строками (текстовые строки выводятся последовательно друг за другом), плавный поэлементный вывод, когда знаки каждой текстовой строки как бы открываются плавно перемещающейся слева направо «шторкой», плавный вывод текстовыми строками, когда строки как бы открываются плавно перемещающейся сверху вниз «шторкой». Имеется возможность «раскрашивать» фон страницы текстового сообщения одним из семи цветов. Кроме того, введен блок графики, позволяющий «рисовать» простые геометрические фигуры, создавать рамки вокруг надписей или фон на части раstra. Размер маркера, которым «рисуются» графическое изображение, — пять тактов по строке и четыре строки по кадру. Графические изображения также могут раскрашиваться в семь цветов.

При создании графического изображения с пульта оператора устанавливают графический маркер в нужное место раstra, задают цвет, направление движения и число вписываемых элементов графики. По команде «запись» маркер переместится на заданное число элементов. При перемещении маркера в ОЗУ блока графики вписывается графическая информация. С ОЗУ эта информация поступает на формирователь видеосигналов, где она преобразуется в сигналы R, G, B для отображения на мониторе. В СТЗ-2 (рис. 3.8.33) наборный канал аналогичен тактовому в УТБ-83М. В выходной канал СТЗ-2 дополнительно включены блок графики БГ, контроллер КНТР, блок сопряжения БС и накопитель НДМ на магнитном диске СМ 5400.

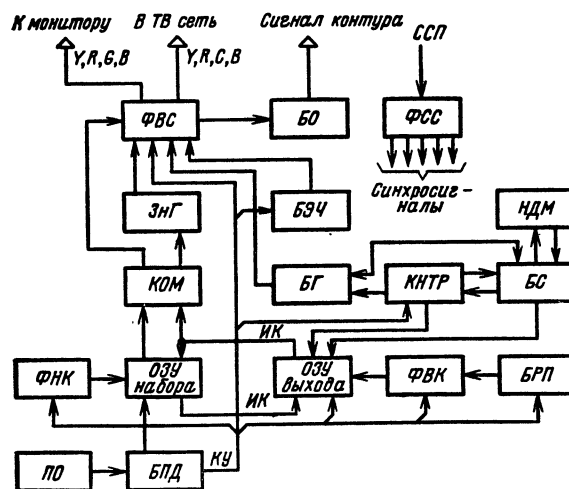


Рис. 3.8.33. Структурная схема знакогенератора СТЗ-2

Контроллер и БС вырабатывают сигналы управления накопителем, обеспечивают обмен данными между ним и ОЗУ выхода (или ОЗУ блока графики) в режимах записи или считывания. Кроме генерирования сигналов управления в контроллере преобразуется код, соответствующий номеру считываемой из накопителя или записываемой в накопитель ТВ страницы, в адреса цилиндра и сектора в двоичном коде магнитного диска. При вводе данных в накопитель и выводе их обратно используется тактовая частота накопителя, которая не равна и не синхронна тактовой частоте СТЗ-2, а ввод и вывод данных осуществляются в последовательном



коде. Поэтому для записи данных в накопитель параллельный информационный код с ОЗУ выхода (или с ОЗУ блока графики) заносится в буферное ОЗУ блока сопряжения, из которого тактами накопителя СМ 5400 считывается в последовательном коде и записывается на магнитный диск накопителя. В режиме считывания последовательный информационный код считывается из магнитного диска и вписывается в буферное ОЗУ блока сопряжения тактами накопителя, после чего по сигналам с контроллера последовательный код преобразуется в параллельный и вписывается в ОЗУ выхода (или в ОЗУ блока графики). Контроллер КНТР представляет собой вычислительное устройство, в состав которого входят 16-разрядный процессор, блок микропрограммного управления, ПЗУ микропрограмм и микрокоманд, коммутатор признака и формироваватели сигналов.

Блок сопряжения включает буферное ОЗУ, формироваватель данных «запись/считывание» и интерфейс накопителя, передающий данные и управляющие сигналы по функционально разделенным линиям в заданной последовательности. Блок графики БГ содержит вычислительно-управляющее устройство и ОЗУ. В состав первого входят 6-разрядный процессор с блоком микропрограммного управления и ПЗУ микропрограмм и команд и входной информации, счетчик адреса и формирователи.

В знакогенераторе УТБ-91 знаковое ПЗУ содержит четыре начертания букв первого, два начертания букв второго масштабов и начертания цифр и знаков первого и второго масштабов. Начертание букв может меняться путем наклона их в текстовой строке. Набор и вывод изображения букв могут осуществляться основным и силуэтным сигналами. Начертание букв первого масштаба формируется на основе матрицы  $40 \times 32$  (40 элементов по строке и 32 элемента по кадру), начертание букв второго масштаба — на основе матрицы  $80 \times 64$ , что обеспечивает высокую плавность линий; УТБ-91 имеет долговременную память на НГМД МС5311 для хранения информации до 100 телевизионных страниц текста. Набор, редактирование и управление режимами вывода текста осуществляются с помощью процессора. Бегущие режимы, перемещение «шторок» реализованы на отличных от ранее описанных принципах. Конструктивно УТБ-91 выполнено в виде пульта оператора и блока конструкции «База-2М». Число выходов, размах сигналов, тип выходных разъемов соответствуют ранее выпускавшейся модели УТБ-83М.

### 3.8.6. Устройства синтеза ТВ изображений на основе светового пера

1. Характеристики. Световое перо (СП) было разработано на одном из ранних этапов развития интерактивной машинной графики и использовалось как устройство указания места на экране дисплея, куда следовало поместить тот или иной символ или перевес-

ти курсор, а в системах ПВО — для выбора и указания целей на экране радиолокационных станций. Название «световое перо» возникло, по-видимому, потому, что первые подобные устройства имели узкофокусированный источник света (поисковый луч), направленный к экрану и подсказывающий пользователю, какой элемент изображения (экрана) находится в данный момент в поле зрения пера. Возникающий благодаря люминесценции экрана, след при движении пера создавал впечатление, что это след, оставленный поисковым лучом. На самом деле СП содержит фоточувствительный элемент (фотодиод), воспринимающий свет люминофора экрана. Сигнал фотодиода усиливается и преобразуется в короткий импульс, момент появления которого позволяет определить координату положения пера относительно экрана. Используя фоточувствительный элемент, СП может работать только при светящемся экране дисплея или ВКУ. При наличии на экране изображения работа пера возможна лишь при ограниченном контрасте, когда яркость самых темных участков превышает порог, определяемый чувствительностью фотодиода. Для устранения этого недостатка в ряде систем интерактивной машинной графики на экран выводят светящееся перекрестие (курсор). Для задания позиции световым пером сначала указывают на перекрестие, а затем перемещают его в нужное положение. При этом ограничивается скорость движения СП по экрану. Ограничение скорости объясняется следующим. Постоянное свечение экранов ВКУ и телевизоров является кажущимся и связано с инерционностью зрительной системы. Фактически каждая точка люминофора вспыхивает лишь при прохождении через нее электронного луча развертки, а затем яркость ее уменьшается по экспоненциальному закону. Время послесвечения люминофоров современных кинескопов лежит в пределах от 10 до сотен микросекунд, т. е. оно существенно меньше интервала между вспыхиваниями элемента экрана (равного периоду ТВ кадра).

Фотодиод СП практически безынерционный прибор. Если за период кадра (поля) СП переместится на величину, превышающую половину перекрестия в его поле зрения не попадет ни одной точки перекрестия, центр которого в данном кадре (поле) совпадает с центром поля зрения светового пера в предыдущем. Это означает, что перекрестие будет потеряно, поэтому скорость движения СП не должна превышать половины ширины перекрестия за период кадра (поля).

Поле зрения СП при отсутствии оптики определяется углом  $\phi$  полного внутреннего отражения излучения люминофора от границы стекло—воздух, так как между СП и люминофором находится стекло колбы кинескопа толщиной 6...10 мм (рис. 3.8.34). В поле зрения СП попадает примерно 30—40 строк раstra по вертикали и соответствующее число элементов по горизонтали. С учетом относительно малого времени послесвечения люминофора сигнал на выходе фотодиода (уси-

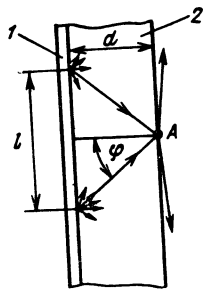


Рис. 3.8.34. Поле зрения СП (1 — люминофор, 2 — стекло колбы кинескопа, А — точка касания СП, d — толщина стекла, l — размер части люминофора, попадающей в поле зрения СП,  $\phi$  — угол полного внутреннего отражения)

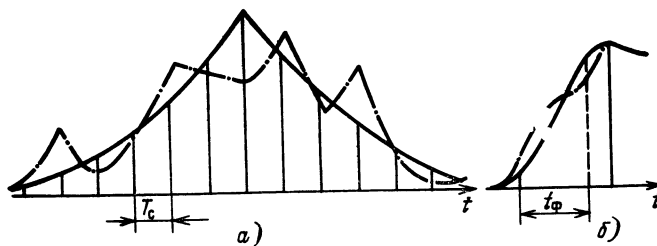


Рис. 3.8.35. Импульсы пачки сигналов СП: а — последовательность, б — форма одного импульса

лителя) будет представлять собой пачку импульсов от всех строк, попадающих в поле зрения СП. Амплитуда импульсов от строк, расположенных прямо под пером, будет больше, чем от строк, расположенных на периферии поля зрения, и пачка имеет симметричные спады относительно центрального импульса (рис. 3.8.35, а). Расстояние между импульсами пачки равно периоду строки  $T_c$ .

У каждого из импульсов пачки (рис. 3.8.35, б) длительность фронта  $t_f$  определяется числом растровых элементов, попадающих в поле зрения СП, и составляет 2,5...3 мкс. Срез определяется временем послесвечения люминофора или постоянной времени переходных цепей усилителя сигнала СП, которая выбирается равной около  $0,3T_c$  при большом времени послесвечения люминофора (более 100 мкс). Для точного определения координат центра СП логическое устройство выделяет максимальный из импульсов пачки (координата центра СП по вертикали) и середине его фронта по максимальной крутизне нарастания (координата центра СП по горизонтали). Сплошная линия на рис. 3.8.35 относится к случаю равномерно светящегося экрана при отсутствии изображения. Когда на экране имеется изображение, одномодовое распределение амплитуды в пачке импульсов преобразуется в многомодовое (штрихпунктирная линия). При этом главный экстремум, соответствующий более яркой строке изображения, может существенно отклоняться от центра пачки в любую сторону. Аналогично из-за неравномерности яркостей элементов в строке изменяется форма фронта каждого из импульсов и максимальная его крутизна не будет совпадать с серединой. Выделенная в соответствии с приведенным выше алгоритмом, координата положения СП будет зависеть от сюжета и может существенно отличаться от истинной координаты центра СП.

Для устранения указанного недостатка СП должно быть снабжено объективом в виде двояко- или плоско-выпуклой линзы, расположенной в точке соприкосновения его с экраном. Фокусное расстояние линзы определяется толщиной стекла колбы кинескопа и для каждого кинескопа следует подбирать свое расстояние от линзы до фотодиода. Теоретически всегда можно так подобрать оптическую систему СП, чтобы на активную поверхность фотодиода проецировалось изображение одного растрового элемента, а сигнал СП составлял лишь один импульс, соответствующий координате его центра. При этом отпадает необходимость в устройстве выделения центра пера по крайней мере по вертикали. На практике же из-за отражений излучения люминофора от границы стекло—воздух, существенной неравномерности яркостей свечения соседних строк, оптических искажений однолинзового объектива не удается уменьшить поле зрения пера (апертуру) менее чем до 5—7 строк. Но при этом соседние импульсы в пачке при равномерном свечении экрана отличаются по амплитуде не менее чем в 3—4 раза, а длительность фронта каждого из них сокращается до 0,3...0,5 мкс. Даже при значительной неравномерности яркостей соседних строк ошибка определения координат центра СП с использованием оптики не превышает одного растрового элемента или строки. Упрощается и реализация устройства выделения координат центра СП.

Так как СП воспринимает отдельные вспышки элементов экрана, находящиеся в поле зрения пера в момент прохождения электронного луча, то система будет фиксировать и воспроизводить на экране лишь отдельные точки следа пера. Для изображения непрерывного следа необходимо, чтобы перемещение пера за период кадра не превышало одного растрового элемента. При этом для изображения горизонтальной линии, равной ширине экрана, потребуется около 30 с. Неудобства такого перемещения для оператора или художника очевидны, для их устранения любая система видео- или машинной графики должна быть снаб-

жена интерполятором. СП формирует импульсы от отдельных точек экрана, соответствующих положению центра СП в соседних кадрах (полях), цифровые устройства формируют коды двух координат этих точек в виде номеров элемента на строке и строки соответственно.

Интерполятор генерирует коды координат всех промежуточных точек и записывает их в память системы. Таким образом на экране воспроизводится непрерывная линия следа СП. В интервале между кадрами СП может двигаться как по прямой линии, так и по кривой (выпуклой или вогнутой); поскольку истинная траектория СП неизвестна, целесообразно использовать простейшую линейную интерполяцию. Правда, при быстром начертании окружностей на экране они будут воспроизводиться в виде выпуклых многоугольников, но экспериментальные исследования показали, что на практике такие случаи встречаются редко и данный недостаток несуществен. *Чувствительность СП* определяет минимальную яркость экрана и соответственно наибольший контраст изображения, с которым оно еще может работать. Предельная чувствительность СП ограничивается шумами фотодиода и усилителя его сигналов. Зависит чувствительность от конструкции СП, определяющей световой поток от каждого элемента экрана, который попадает на фотодиод. Чтобы весь световой поток данного элемента попадал на фотодиод, необходимо иметь диаметр линзы СП не менее 16...24 мм. Но СП должно иметь конический наконечник, чтобы художник (пользователь) видел точку экрана, соответствующую координате центра. Поэтому диаметр линзы не должен превышать 7—9 мм, а для увеличения конусности целесообразно использовать плоско-выпуклые линзы, обращенные выпуклой частью к экрану. Уменьшение диаметра линзы уменьшает и световой поток, попадающий в СП, а следовательно, и его реальную чувствительность.

На ранних этапах развития машинной и видеографики СП представляло собой чисто оптический элемент, состоящий из линзы и волоконного световода, на торец которого проецировался сфокусированный линзой световой поток. Фотозлектрический преобразователь в виде фотозлектронного умножителя или фотодиода с усилителем располагался на другом конце волоконного световода в пульте управления. Достоинство такой конструкции — малые размеры СП, определяемые диаметром линзы и габаритами электрического выключателя, включающего систему при соприкосновении СП с экраном. Данная конструкция не требует экранировки фотозлектрического преобразователя от излучения ФОС во время обратных ходов строчной развертки. Но она имеет и недостаток: значительные потери световой энергии за счет неполного заполнения торца световода, так как часть его площади неизбежно приходится на изоляцию между отдельными волокнами, а также из-за отражений от торца. Практика показывает, что при данной конструкции СП лишь 30...40% световой энергии, прошедшей через линзу, попадает на фотозлектронный преобразователь. Световое перо такой конструкции можно назвать пассивным, оно выполняет лишь оптические функции.

Большую чувствительность можно получить при использовании активного СП. В этом случае световой поток проецируется на фотодиод, расположенный в СП. Малая энергия сигналов фотодиода заставляет усилитель или его первые каскады располагать на кратчайшем расстоянии от фотодиода, т. е. СП выполняет не только оптические функции, но и фотозлектронное преобразование и усиление сигнала. В этом варианте устраняются потери световой энергии и увеличивается в 2,5—3 раза чувствительность системы «кинескоп—СП». Но это решение требует тщательного электрического экранирования и, следовательно, усложняет конструктивное исполнение СП. Малые габариты СП достигаются средствами микроэлектроники. Макси-



мальный контраст, с которым может работать СП, зависит от послесвечения люминофора кинескопа. Зрительная система оценивает интегральную яркость экрана в соответствии с законом Тальбота. Чем большим временем послесвечения обладает люминофор, тем меньшая мгновенная яркость требуется для той же интегральной яркости. Но в отличие от зрительной системы фотодиод является безынерционным преобразователем, он реагирует на мгновенную яркость. Поэтому чем меньше время послесвечения, тем выше реальная чувствительность, и в системах видеографики и видеоживописи на основе СП желательнее использовать кинескопы с малым временем послесвечения. Световое перо позволяет синтезировать как цветные полутонные, так и двухградационные изображения.

2. Синтезаторы двухградационных изображений (видеографика). Аппаратура видеографики служит для создания двухградационных изображений (с раскраской линий в любой цвет относительно цвета фона) или для формирования сигнала границы спецэффекта произвольной формы. Такую аппаратуру можно применять в учебных ТВ программах и в аудиториях вузов. С ее помощью можно мгновенно стирать использованную часть записи и (или) исправлять в ней ошибки. Упрощенная структурная схема синтезатора двухградационных изображений (рис. 3.8.36) предполагает использование активного СП,

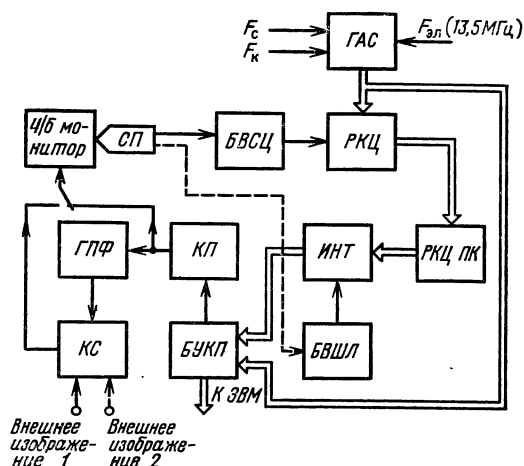


Рис. 3.8.36. Структурная схема синтезатора двухградационных изображений

содержащего фотодиод и усилитель. Назначение части блоков пояснено выше. Сигнал СП представляет собой пачку из 5—7 импульсов. Блок выделения сигнала центра СП (БВСЦ) выделяет центральный импульс пачки и формирует короткий импульс, соответствующий середине его фронта. Этот блок определяет координатные погрешности системы при формировании сигналов синтезированного изображения, которые не должны превышать  $\pm 1$  растровый элемент при работе на сложном и достаточно контрастном фоне. Короткий импульс центра СП поступает в виде сигнала разрешения записи на регистр координат центра СП текущего кадра (РКЦ). На информационные входы РКЦ непрерывно поступают два десятиразрядных кода координат луча развертки монитора по горизонтали и вертикали. Коды формирует генератор адресных сигналов (ГАС), работа которого синхронизируется с разверткой монитора сигналами частоты строк  $F_c$  и кадров  $F_k$ . Генератор представляет собой два счетчика, генерирующие коды мгновенного положения луча по горизонтали и вертикали. Поэтому в момент поступления сигнала центра пера в РКЦ будут записаны два десятиразрядных кода, соответствующие положению центра пера в дан-

ном кадре, которые для упрощения можно считать одним двадцатиразрядным кодом адреса. Код РКЦ СП можно использовать в качестве адресного сигнала цифровой кодовой памяти на кадр (КП), в соответствующую ячейку которой на гасящем интервале кадра будет записана единица. На видимой части кадра КП работает в режиме считывания, все записанные в память сигналы поступают на монитор в виде импульсов подсвета, которые отражают след движения СП по экрану. Чтобы этот след изображался в виде непрерывной линии, в систему включен интерpolator (ИНТ).

Интерpolator записывает в КП координаты всех промежуточных точек между положениями центра СП в двух соседних кадрах. На его входы должен поступать адресный код как текущего, так и предыдущего кадров, для чего включен регистр координат центра СП предыдущего кадра (РКЦ-ПК). На гасящем интервале кадра интерpolator записывает в соответствующую ячейку КП все промежуточные точки следа между двумя соседними кадрами, включая точку, соответствующую положению центра пера в текущем кадре. В конце гасящего интервала по окончании работы интерpolatorа двадцатиразрядный код адреса текущего кадра переписывается из РКЦ СП в РКЦ ПК. Управление работой КП, в частности перевод ее из режима считывания в режим записи, выбор корпуса, в который должна быть записана (считана) информация, связь памяти с ЭВМ осуществляются блоком управления кадровой памяти (БУКП). Этот блок позволяет перевести устройство синтеза двухградационных изображений из режима «Рисование» в режим «Стирание» (подачей на информационные входы корпусов памяти сигнала 0 вместо 1). Режим «Стирание» позволяет исправлять синтезированное изображение, стирая часть его элементов. В режиме «Сброс» стирается все изображение. При нажатии кнопки «Сброс» память переводится в режим записи на видимой части кадра, когда на адресные входы микросхем памяти поступает двадцатиразрядный код с генератора адресных сигналов, а на информационные входы подается сигнал 0, как в режиме «Стирание».

Рассмотренный вариант работы устройства синтеза двухградационных изображений удобен при рисовании изображений, состоящих из тонких (одноэлементных) линий, формировании сигналов произвольной границы спецэффекта, но при попытке синтезировать широкие линии или фигуры, занимающие значительные площади, возникают не меньшие трудности, чем при попытке рисовать их остро заточенным карандашом на бумаге. Значительно удобнее работать с СП, у которого ширина линии может изменяться. Для этого в устройство введен блок выбора ширины линии (БВШЛ), по сигналам которого интерpolator записывает в память не отдельные точки следа СП, а фигуры в виде квадрата или круга со стороной или диаметром, равными ширине выбранной линии, центры которых совпадают с координатой центра СП. Практически БВШЛ может быть выполнен на ПЗУ, в которое записаны несколько программ формирования фигур — по одной для каждой ширины линии. Ширину можно выбирать либо с пульта управления, либо самим СП — усилием нажатия на экран. В последнем случае в перо можно ввести потенциометр, движок которого связан с подвижной (подпружиненной) головкой СП так что с потенциометра снимается напряжение, пропорциональное усилию нажатия. Это напряжение в блоке выбора ширины линии преобразуется в цифровую форму и выбирает ту или иную программу ПЗУ. Напряжение с этого же потенциометра можно использовать как сигнал включения пера, разрешающий работу других блоков устройства. Зависимость ширины линии от усилия нажатия в значительной степени напоминает привычную работу с пером или кистью. Кроме синтеза изображений это устройство можно использовать в качестве формирователя произвольной границы спецэффекта. Для этого

сигнал с выхода кадровой памяти подают на генератор площади фигуры (ГПФ), представляющий собой обычный счетный триггер, а с него в качестве управляющего сигнала на коммутатор спецэффектов (КС). В левой части строки (до линии, прочерченной СП) триггер формирует сигнал 0, в правой (после линии) — сигнал 1 (или наоборот). Соответственно переключаются изображения. Трудности возникают в точках экстремумов сложных контурных линий, где производная функция  $y=f(x)$  изменяет знак. В этих точках строки развертки касательны к контуру и не пересекают его дважды, поэтому триггер, переключившись, не возвращается в исходное состояние, включая сигнал второго изображения до конца строки. Этот недостаток устраняется некоторым усложнением интерполятора с тем, чтобы он формировал разрывы в точках экстремумов функции  $y=f(x)$ . Наличие разрывов создает всегда четное число пересечений линии, окружающей связную область, и обеспечивает правильную работу генератора сигналов площади фигуры и коммутатора. Признаком формирования разрыва является изменение знака первой производной функции.

При построении замкнутых контуров необходимо точно совместить начальную и конечную точки контура. Эта операция требует навыка, тщательного выполнения и замедления движения СП на конечном участке, что затрудняет работу оператора. Облегчить задачу можно введением режима работы, в котором интерполятор запоминает координаты первой точки контура (в момент включения СП) и после отрыва СП от экрана в окрестностях этой точки автоматически заносит в кадровую память координаты всех промежуточных точек по кратчайшему расстоянию между конечной и начальной точками. Такая интерполяция даже в пределах 2—7 растровых элементов значительно упрощает работу оператора, устраняет необходимость в специальной тренировке. Используя СП, можно создавать не только двухградационные, но и полутонные, а также цветные изображения.

3. Синтезатор цветных изображений предполагает введение в ячейку кадровой памяти, соответствующую каждому элементу изображения, информации о цвете. В каких цветовых координатах — R, G, B или Y, C<sub>R</sub>, C<sub>B</sub> или каких-либо других — вводить эту информацию не принципиально. В любом случае полная информация о цвете требует в соответствии с принятыми нормами на цифровое кодирование записи 24 бита. Поэтому каждая ячейка кадровой памяти синтезатора цветных изображений должна представлять собой ОЗУ на 24 бита вместо 1 бита в синтезаторе двухградационных изображений. Для ручного выбора цвета используют механический датчик цвета (МДЦ), представляющий собой три потенциометра, объединенных общей рукояткой управления. Аналоговые напряжения, снимаемые с движков потенциометров, пропорциональные сигналам, например R, G, B. Для записи в кадровую память эти напряжения преобразуются в цифровую форму одним АЦП, на входе которого сигналы коммутируются, например, гасящими импульсами кадров (полей), так как смена цвета не требует высокого быстродействия. Полученные на выходе АЦП три кода цвета записываются в три восьмиразрядных регистра, расположенных в блоке управления кадровой памятью, и в периоды кадровых (полевых) интервалов гашения переносятся в соответствующие ячейки этого блока. Синтезированное цветное изображение воспроизводится на экране монитора. Между кадровой памятью и монитором необходимо установить три ЦАП для преобразования цифровой информации о цвете в аналоговую. Начертив замкнутый контур и переведя устройство в режим, аналогичный формированию границы спецэффекта, легко «залить» контур нужным цветом, не прибегая к заштриховке всей площади фигуры СП, что особенно удобно для художников-муль-

типликаторов, пользующихся обычно ограниченным набором цветов.

Для подбора цвета художник может использовать любую часть экрана монитора, не занятую в данный момент изображением. Проводя СП по этой части экрана и одновременно изменяя положения движков потенциометров МДЦ, художник добивается получения нужного ему цвета и переходит к рисованию выбранной детали изображения. Таким образом, экран ЦВКУ одновременно играет роль палитры. В кадровую память можно ввести любое внешнее цветное изображение, преобразованное в цифровую форму. После записи его можно видоизменить, перекрасить, дорисовать и т. п. Синтезированное цифровое изображение можно не только воспроизвести, но и переписать в ОЗУ ЭВМ для обработки, записать на цифровой видеомagneтфон или в накопитель неподвижных изображений на магнитном диске. Рассмотренный вариант устройства синтеза цветных изображений относительно прост, но имеет ряд недостатков:

большой объем кадровой памяти (около 10 Мбит); необходимость заново рисовать деталь для изменения ее цвета; трудность общения с ЭВМ, связанная с тем, что для проведения машинных операций с той или иной детально необходимо указать ЭВМ координаты всех ее точек или хотя бы всех точек ее контура. В рассмотренном варианте изображение может содержать практически неограниченное число цветов, определяемое разрядностью каждой ячейки кадровой памяти <sup>24</sup> (по Рек. 601 МККР число градаций ограничено до 220 для сигнала Y и до 224 для сигналов C<sub>R</sub> и C<sub>B</sub>, т. е. число воспроизводимых цветов составляет около 11 млн.). Ограничение набора цветов, используемых в отдельном изображении, позволяет уменьшить объем кадровой памяти. Если этот набор достаточно велик, например 256, то это не ограничивает возможностей художника, так как сам набор можно выбрать из практически неограниченного числа цветов и в каждом изображении он может быть свой. Художник имеет возможность оперативно изменять любой цвет как в процессе рисования, так и после его завершения, не прибегая к перерисовке изменяемой детали. Принцип работы, структура синтезатора и процесс синтеза цветных изображений существенно изменяются по сравнению с рассмотренным выше вариантом. Синтезатор имеет два вида памяти: память набора цветов (ПНЦ), выбранного для синтеза данного изображения, (блок содержит 256 24-разрядных ячеек для записи и хранения), и память номеров цвета всех элементов изображения, которую в дальнейшем будем называть *кадровой* (КП). В ячейки кадровой памяти на интервалах гашения записывается не информация о цвете соответствующего элемента, а условный номер цвета, под которым он записан в ПНЦ. В процессе рисования на видимой части кадра блок кадровой памяти работает в режиме считывания, генерируя на своем выходе коды номеров цвета последовательных элементов изображения. Эти коды поступают в качестве адресных сигналов на блок ПНЦ, с выхода которого 24-разрядные коды цвета подаются на три 8-разрядных ЦАП, и в виде трех аналоговых сигналов, например R, G, B, — на монитор.

Разрядность кадровой памяти определяется числом цветов в наборе и при 256 цветах каждая ее ячейка имеет 8 разрядов. Общий объем памяти ( $N_k \cdot 8 + 256 \cdot 24$ ) дв. ед. вместо  $N_k \cdot 24$  в ранее рассмотренном варианте, где  $N_k$  — число растровых элементов в видимой части кадра ( $N_k = 2^{19}$ ), т. е. уменьшается почти в 3 раза. Ограничение набора цветов позволяет вывести все цвета набора в виде палитры либо на отдельный монитор, либо на тот же, на котором синтезируется изображение. В последнем случае палитра представляет собой набор разноцветных прямоугольников, расположенных в нижней части экрана и занимающих около 10% его высоты. По желанию художника палитру можно

Чтобы художник всегда знал, каким цветом он будет рисовать, текущий цвет удобно расположить в левом краю палитры, а справа — цвета с меньшими номерами, использованные ранее. Синтезатор цветных изображений (рис. 3.8.37) включает все блоки, изображенные на рис. 3.8.36 (на рис. 3.8.37 они обозначены

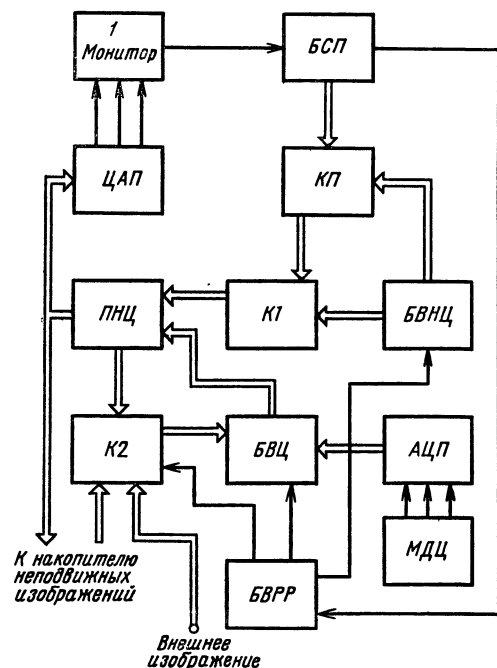


Рис. 3.8.37. Упрощенная структурная схема синтезатора цветных изображений

литры). Исходным вариантом является выбор цвета с помощью МДЦ. В момент включения СНТЦ устанавливается в состояние 00000000. Художник включает режим выбора цвета и с помощью МДЦ устанавливает цвет фона. Выбранный цвет в период гашения по кадру записывается в ячейку ПНЦ с адресом 00000000. Поскольку в исходном состоянии кадровая память номеров цвета обнулена, на видимой части кадра опрашивается ячейка ПНЦ с адресом 00000000 и весь экран, кроме участка расположения палитры, если она выведена на экран, засвечивается цветом фона. В палитре засвечивается лишь один левый прямоугольник, отражающий цвет фона. Далее художник выбирает цвета палитры, которыми собирается рисовать. Устанавливая СНТЦ последовательно в состояния 00000001, 00000010, 00000011 и т. д., он набирает с помощью МДЦ цвета палитры. Каждый раз при изменении номера текущего цвета вся палитра перемещается вправо на один шаг (на ширину прямоугольника одного цвета). В каждой строке, соответствующей палитре (нижняя часть экрана), счетчик палитры с частотой  $1/n$  изменяет показания от номера текущего цвета в сторону уменьшения (реверсивный счет), где  $n$  — число цветов палитры, которые одновременно могут воспроизводиться в один ряд на экране ЦВКУ. Так как на участке палитры показания этого счетчика подаются в качестве адресных сигналов на блок ПНЦ специальным коммутатором, коммутирующим адресные входы блока ПНЦ, монитор воспроизводит на этом участке экрана ранее набранные цвета, включая цвет фона, который занимает крайнее правое положение в набранных цветах.

Художник может сразу набрать все 256 цветов будущего рисунка, практически же, набрав один или несколько и оценив их на палитре, он может переходить к процессу рисования, перевода синтезатор в соответствующий режим. Цвет, которым художник будет рисовать в данный момент, располагается в левой части палитры, а его номер записан в СНТЦ. В режиме рисования по координатам следа пера, вырабатываемым интерполятором, в соответствующие ячейки блока КП в кадровых интервалах гашения будет записан код номера текущего цвета, так как в эти моменты этот блок устанавливается в режим записи. На видимой части кадра блок КП работает в режиме считывания и с его выхода номера записанных цветов поступают через коммутатор (К1) в качестве адресных сигналов на блок ПНЦ, а оттуда через ЦАП на монитор, воспроизводя рисунок на экране. Имея набор цветов, художник в режиме выбора цвета может вызвать любой из них и, перейдя в режим рисования, использовать выбранный цвет, рисуя СП очередной фрагмент изображения. Для вызова нужного цвета (имеющегося в наборе) достаточно набрать на пульте управления его номер, и цвет автоматически становится текущим, т. е. его номер записывается в СНТЦ. Если художник не помнит номер цвета, он может вызвать его с помощью палитры. Для этого достаточно в режиме выбора цвета коснуться СП нужного цвета на палитре, после чего он становится текущим. Можно вызвать и цвет, не находящийся в видимой части палитры; достаточно коснуться СП правого края палитры, как вся палитра переместится на  $n-1$  цветов набора в сторону увеличения или уменьшения их номеров в зависимости от режима работы счетчика палитры. Когда искомый цвет окажется в видимой части экрана, нужно коснуться его СП, чтобы он стал текущим, после чего перейти в режим рисования. Описанный вариант выбора цвета достигается тем, что по сигналу СП номер цвета палитры записывается в промежуточный 8-разрядный регистр, на кадровом интервале гашения переписывается в СНТЦ и становится текущим.

Выбрать цвет можно не только по палитре, но и по рисунку на экране монитора. Для этого достаточно в режиме выбора цвета коснуться СП детали изобра-

жения с нужным цветом. В этом случае в промежуточный регистр будет записан номер цвета детали из кадровой памяти, а не из счетчика палитры. Такой выбор цвета удобен для изменения формы или цвета уже нарисованных деталей. Для изменения формы детали (в сторону увеличения ее размеров) после выбора цвета устройство переводится в режим рисования. Для стирания части детали нужно текущим цветом сделать цвет фона, коснувшись СП фона в изображении, вызвав цвет фона по палитре или набрав на пульте номер цвета фона 00000000. После этого в режиме рисования СП будет стирать неправильно нарисованную деталь или ее часть. Для изменения цвета нарисованной детали после установки цвета детали текущим (по палитре или по рисунку) художник, оставаясь в режиме выбора цвета, изменяет его с помощью МДЦ.

Дополнительным вариантом режима выбора цвета является «снятие цвета» какой-либо детали с экрана монитора с записью его в свободный номер палитры, т. е. в свободную ячейку ПНЦ. Для этого на пульте управления набирают номер ячейки ПНЦ, ранее не использовавшийся, затем устройство переводится в режим выбора цвета, при котором по сигналу СП код цвета выбранной с помощью СП детали из ПНЦ записывается в 24-разрядный регистр, расположенный в БВЦ. На ближайшем кадровом интервале гашения код цвета из регистра переписывается в ячейку ПНЦ с номером, набранным на пульте и являющимся текущим. Перейдя в режим рисования, художник может рисовать этим цветом новую деталь и независимо друг от друга изменять цвета как новой, так и старой деталей, например, с помощью МДЦ, так как цвета деталей записаны в ячейки ПНЦ с разными номерами.

Данный вариант выбора цвета позволяет «снимать цвет» с деталей внешнего изображения, представленного цифровым сигналом. При касании СП детали с нужным цветом код этого цвета поступает в 24-разрядный регистр БВЦ через коммутатор (К2) (рис. 3.8.37), управляемый БВРР и сигналом СП. Такой вариант выбора цвета предоставляет художнику большие удобства и значительно упрощает формирование палитры.

При некотором усложнении БВЦ и БВНЦ синтезатор позволяет с помощью СП не только выбирать отдельные цвета, но и переписывать фрагменты внешнего изображения в блоки КП и ПНЦ. Это достигается включением в БВЦ двух 24-разрядных цифровых компараторов и созданием дополнительного режима записи внешнего изображения, управляющего работой СНЦ и блока КП. При касании СП детали внешнего изображения код ее цвета будет записан в одну из ячеек блока ПНЦ, а координаты всех ее точек — в КП, которая по сигналу одного из цифровых компараторов устанавливается в режим записи. При плавном перемещении СП по экрану ВКУ код каждой следующей детали (имеющей другой цвет) будет записываться в следующую ячейку ПНЦ (это обеспечивается изменением состояния СНЦ с помощью второго компаратора) с одновременной записью ее координат в блок КП. Для записи детали (деталей) одного цвета достаточно, чтобы СП находилось на изображении этой детали не менее периода одного кадра.

Синтезированное изображение можно переписать в дисковый накопитель неподвижных изображений (НИИ), который может служить как библиотекой синтезированных сюжетов, так и долговременной памятью для хранения незаконченных изображений. В последнем случае изображение из НИИ может быть в любое время записано в блоки КП и ПНЦ для продолжения работы.

4. Синтезаторы ТВ мультфильмов. На основе синтезатора цветных изображений можно разработать электронные средства создания движущихся изображений, а также ТВ синтезаторы мультипликационных фильмов. Они предполагают интерактивную связь синтезатора с ЭВМ, для чего требуется двухпор-

товая КП. Интерактивная видеоживопись является наиболее естественным и оперативным средством общения художника с ЭВМ. Интерактивную машинную графику широко применяют при автоматизации чертежных и конструкторских работ, управлении производственными процессами через экран дисплея, моделировании объектов с помощью ЭВМ и имитации их движения в системах отображения информации. Такие же операции необходимы при создании мультфильмов. Это привело к попыткам использования программного обеспечения систем машинной графики в электронной мультипликации и блоках видеоэффектов в ТВ. Однако сцены, полностью синтезированные ЭВМ, оставляют впечатление искусственности, «механистичности», в них отсутствует индивидуальность художника, они не могут вызвать характер персонажа, что необходимо при создании художественных мультфильмов. Объединение ЭВМ и электронного синтезатора цветных изображений позволяет, сохраняя все достоинства традиционной мультипликации, избавить художника от трудоемкой и рутинной работы (прорисовка промежуточных фаз движения, заливка, масштабирование) и значительно ускорить и удешевить процесс создания мультфильмов. При этом художник может работать привычными методами, задавая ключевые детали, определяющие задуманный им характер персонажа и основные фазы движения. Достоинство электронной живописи также в возможности использовать практически неограниченный набор цветов, больший, чем в традиционной мультипликации.

С помощью ЭВМ удается осуществлять преобразования, которые в традиционной мультипликации невозможны из-за большой трудоемкости. Созданный художником предмет можно программными средствами перемещать по экрану в направлении любых осей, вращать вокруг них, изменять размеры вдоль любой оси. Эти же средства могут формировать тени от объектива на сложном рельефе и перемещать их соответственно движению объекта или источника освещения, имитировать прозрачность поверхностей, т. е. позволяют создавать сложные перемещения объекта в трехмерном пространстве.

С помощью ЭВМ можно вводить и различные преобразования уровней сигнала: ограничивать динамический диапазон, изменять число уровней квантования, использовать нелинейные шкалы квантования, смешивать цвета при их наложении и т. п. Преобразования уровней позволяют получить такие эффекты, как контрастирование, изменение цветовых оттенков отдельных участков изображения, «акварельность». Существует несколько типов аппаратуры видеографики и видеоживописи, созданной зарубежными фирмами: Auroga (фирма FWO Bauch, США), AVA-3 (Ampex, США), FGS-4000 (Bosch, ФРГ), Paint Box (Quantel, Англия) и др. Некоторые из них кроме рисования позволяют с помощью пультов набора операций синтезировать различные геометрические фигуры, штриховые и пунктирные линии, окрашенные в различные цвета, шрифты, изменяющиеся по цвету и размеру, а также проводить с помощью ЭВМ описанные выше преобразования синтезированных изображений. Общим для всех перечисленных систем является работа художника-оператора не по экрану монитора, на котором он видит синтезируемое изображение, а по специальному планшету с помощью указателя-карандаша. Планшет, представляющий собой двумерную сетку проводников, является устройством непрерывного формирования координат следа карандаша, не требующим интерполятора, в отличие от СП. Кроме того, планшет не ограничивает контраст изображения, который при использовании СП ограничивается (из-за конечной чувствительности СП) вынужденным увеличением яркости наиболее темных участков изображения. Однако, рисуя на планшете, художник наблюдает результат на экране монитора, расположенном в стороне, что заставляет его отказать-

ся от привычного и естественного процесса творчества и требует специальной тренировки. Поэтому в системах видеоживописи, по крайней мере на первый период их внедрения в ТВ, СП удобнее для художника, чем планшет.

### Список литературы

1. Агаджанян Э. К., Быков В. В., Терехова О. И. Видеографика в телевизионном вещании // Техника кино и телевидения. — 1985. — № 10. — С. 65—69.
2. Телевизионно-вычислительные методы синтеза мультипликационных фильмов / М. С. Алявдин, Д. О. Завадская, Б. М. Кац и др. // Техника кино и телевидения. — 1987. — № 2. — С. 3—7.
3. Агаджанян Э. К., Быков В. В. Использование электронных средств для создания движущихся изображений // Техника кино и телевидения. — 1987. — № 10. — С. 16—20.
4. Дж. Фоли, А. Вэн Дэм. Основы интерактивной машинной графики: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 367 с.

## 3.9. Консервация ТВ программ

### 3.9.1. Видеозапись на магнитную ленту:

1. Терминология, форматы записи. Видеомагнитофоны (ВМ) широко применяют во многих отраслях народного хозяйства. На телецентрах используют профессиональные ВМ, имеющие высокие качественные параметры, с их помощью передают в эфир до 80% программ. Прикладные ВМ применяют для научных исследований, в медицине, для изучения технологических процессов и обучения. Бытовые ВМ все шире

Для верхней частоты спектра записываемого сигнала  $f_v = v_{гд} / \lambda_{\min}$ , где  $v_{гд}$  — относительная скорость между головкой и лентой;  $\lambda_{\min}$  — длина волны. Так как  $\lambda_{\min}$  лимитируется физическими свойствами лент и головок, то для увеличения  $f_v$  приходится увеличивать скорость ленты  $v_d$  или перемещать головку путем установки ее на вращающийся диск. Узел диска с направляющими и головками называют блоком вращающихся головок (БВГ), причем скорость  $v_{гд}$  определяется его конструкцией:  $v_{гд} = \pi D N$ , где  $D$  — диаметр рабочей поверхности диска видео головок,  $N$  — частота вращения диска. Объем информации, записываемой на ленту, определяется длиной, шириной и промежутками между строчками. Длина строчки  $L$ , на которую записывают информацию об изображении, зависит не только от  $D$ , но и от угла наклона  $\theta$  к базовому краю ленты. При  $\theta = 90^\circ$  способ записи называют поперечно-строчным, при  $\theta = 0^\circ$  — продольно-строчным, при  $90^\circ > \theta > 0^\circ$  — наклонно-строчным.

Большая часть профессиональных ВМ была выполнена по поперечно-строчному способу записи. В них ленте придается форма желоба, внутри которого вращается диск с четырьмя головками, поочередно записывающими и воспроизводящими информацию. Такие ВМ называют четырехголовочными. Лента прижимается к головкам с помощью дугообразной направляющей — вакуум-камеры, из которой откачивается воздух. По верхнему краю ленты неподвижными головками записывается звук (рис. 3.9.1), а по нижнему — по одной дорожке режиссерские пояснения или временной код (АВК), по второй дорожке — управляющий сигнал, необходимый для работы систем авторегулирования (САР-СЛ) и электронного монтажа (СЭМ).

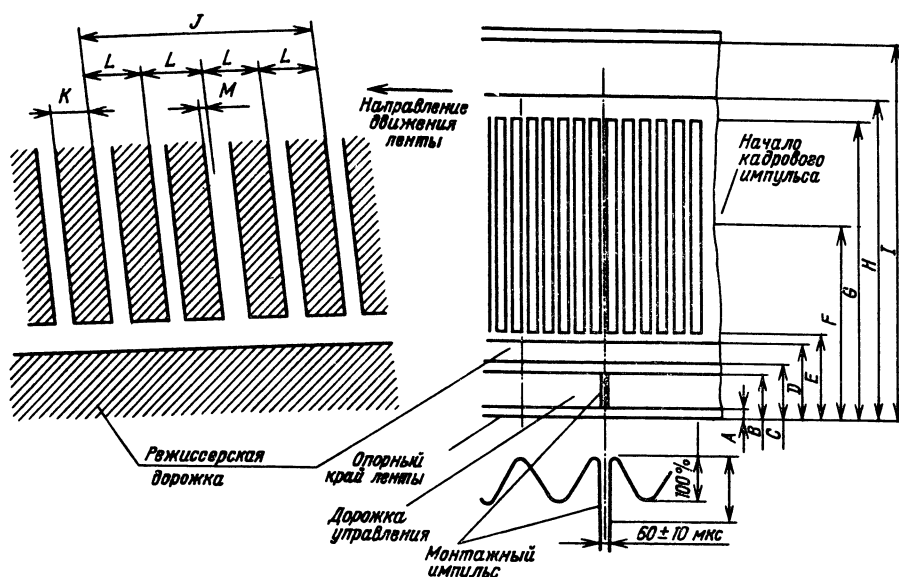


Рис. 3.9.1. Размер и расположение дорожек в формате Q (слева даны увеличенные размеры магнитных строчек, внизу — форма магнитного импульса)

распространяются среди населения, растет парк ВМ в пунктах проката видеоаппаратуры, видеосалонах и видеотеках. Конструктивное объединение телевизора и ВМ называют видеоланью, а телекамеры и ВМ — видеокамерами. По способу хранения ленты ВМ разделяют на катушечные и кассетные, а по способу записи сигналов — на аналоговые и цифровые. Аналоговый ТВ сигнал содержит широкий спектр частот (от 25 Гц до 6 МГц) и впрямую записать его на ленту невозможно.

Для уменьшения спектра используют ЧМ с низкой несущей частотой и переменным индексом модуляции.

Минимальные и максимальные значения параметров ВМ формата Q, имеющих поперечно-строчную запись (ГОСТ 19464—74 и МЭК, Публ. № 347)

Расстояние, мм, от базового края магнитной ленты, мм, до краев дорожек:

нижнего — канала управления А	0	0,1
верхнего — канала управления В	1,02	1,24
нижнего — режиссерского канала С	1,47	1,57
верхнего — режиссерского канала D	1,98	2,16

нижнего — канала изображения Е	2,21	2,39
нижнего — звукового канала Н	48,79	49,02
а также краев:		
верхнего — кадрового синхроимпульса F	29,1	29,3
верхнего — строчек канала изображения G	48,31	48,62
Ширина строчек записи K, мм	0,24	0,265
Длина строчки записи, мм	45,92	46,41
Шаг записи, номинальный L, мм	0,397	
Скорость ленты, см/с	39,7	
Скорость головок относительно ленты, м/с	41,3	
Ширина ленты I, мм	50,7	50,8

Размеры строчек и дорожек, допуски на них и форма изгиба магнитной ленты определяют конструкции лентопротяжного механизма (ЛПМ) и БВГ. В ВМ применяют катушки для намотки ленты шириной 50,8 мм, длиной 20...2200 м. Стандарт (ГОСТ 16824—71) нормирует несущие частоты записываемого ЧМ сигнала (табл. 3.9.1). Для повышения ОСШ в канал записи вводят предискажения. Уровень записи устанавливают на границе насыщения ленты. По каналу управления записывают сигнал частоты 250 Гц и монтажные импульсы 12,5 Гц.

При наклонно-строчной записи лента обхватывает

Таблица 3.9.1. Расстановка частот поднесущей для различных форматов записи

Формат записи	Частота ЧМ, сигнала, МГц, соответствующая уровням		
	синхроимпульса	черного	белого
Q для ТВ стандартов:			
НЧ (625/50)	4,95	5,5	6,8
ВЧ (625/50)	7,16	7,8	9,3
СВ (625/50)	9	9,9	12
ВЧ (525/60)	7,16	7,9	10
В для ТВ стандартов:			
ВЧ (625/50)	7,16	7,8	9
ВЧ (525/60)	7,06	7,9	10
С для ТВ стандартов:			
ВЧ (625/50)	7,16	7,8	8,9
ВЧ (525/60)	7,06	7,9	10

диск и цилиндрические направляющие БВГ по винтовой линии так, чтобы плоскость их вращения пересекала ленту по наклонной прямой. В зависимости от частоты вращения диска  $N$  на одной магнитной строчке записывают либо один полукадр (*несегментная запись*), либо его часть (*сегмент*). Если магнитная строчка записывается одной головкой (*одноголовоочная запись*), то лента обхватывает диск почти на  $360^\circ$ , если двумя (*двухголовоочная запись*), то на  $180^\circ$ . При одновременной записи нескольких параллельных строчек способ записи определяют числом строчек (*двухстрочный, n-строчный* и т. д.), причем каждая головка может записывать отдельные сигналы в различных точках ленты. Число головок, используемых для воспроизведения записанной видеофонограммы, может быть больше, меньше или равно числу строчек при записи, однако способ записи от этого не меняется.

Минимальные и максимальные значения параметров профессиональных ВМ формата С (МЭК Публ. № 558), применяющих наклонно-строчную запись

Расстояние от базового края магнитной ленты, мм, до краев дорожек:		
нижнего — звукового канала 3	0	0,20
верхнего — звукового канала 3	0,775	1,025
нижнего — канала управления	2,87	3,13
верхнего — канала управления	3,43	3,77
нижнего — канала изображения	3,845	3,905
верхнего — канала изображения	22,37	22,49
нижнего — звукового канала 1	22,7	22,9
верхнего — звукового канала 1	23,475	23,725
нижнего — звукового канала 2	24,275	24,525
верхнего — звукового канала 2	25,1	25,3
нижнего — звукового канала 4	1,5	1,7
верхнего — звукового канала 4	2,7275	2,525
Ширина строчки записи, мм	0,155	0,165
Длина строчки записи, номинальная, мм		411,467
Кривизна строчки записи, не более, мкм		30
Шаг записи, мкм		0,214
Угол наклона строчки записи, номинальный		$2^\circ 33' 4''$
Промежуток между строчками записи, номинальный, мкм		50
Скорость ленты, номинальная, мм/с		239,8
Скорость головок относительно ленты, м/с		21
Ширина ленты, мм	25,3	25,4

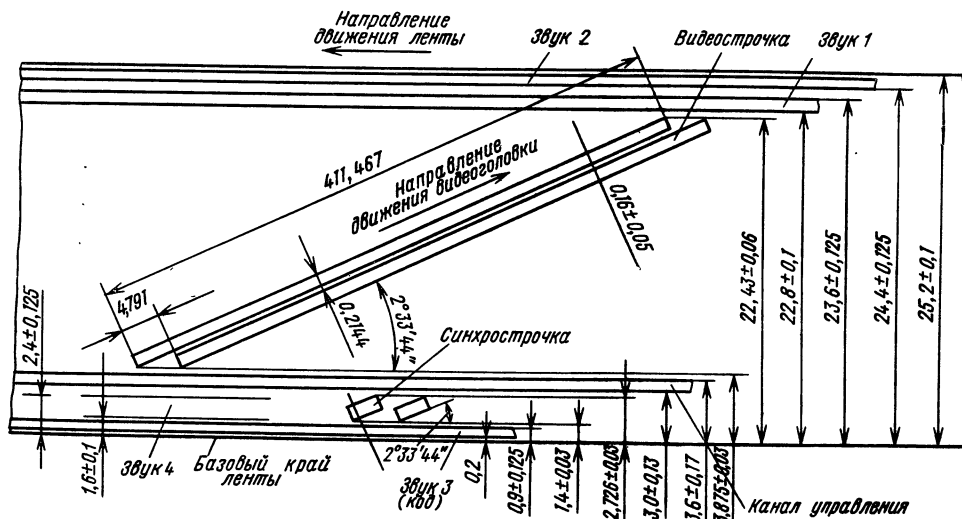


Рис. 3.9.2. Размер и расположение дорожек в формате С

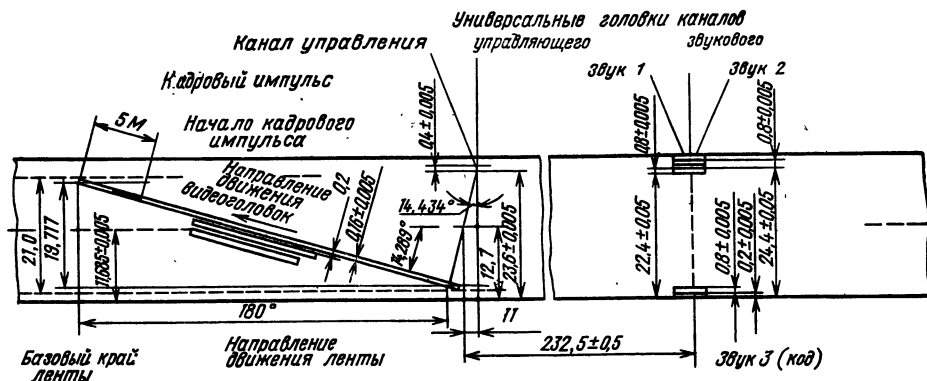


Рис. 3.9.3. Размер и расположение дорожек в формате В

Расположение магнитных строчек и дорожек дано на рис. 3.9.2. Видеофонограмма формата С может быть трех вариантов: с записью синхрострочек — полутрагоголовочный вариант; с записью четвертого звукового канала вместо синхрострочек — одноголовочный вариант, и без записи промежутка между дорожками управления и ВК. В ВМ формата С активную часть ТВ изображения записывают одной головкой за один оборот диска БВГ. Обхват лентой диска составляет 356°, и в тот момент, когда головка проходит участок между входной и выходной направляющими, сигнал выпадает, так как головка с лентой не соприкасается. Выпадение размещается между 2—14 видеостроками в нечетном и между 313—324 строками в четном полкадрах и называется *форматным*. Импульсы строчной синхронизации, попадающие в форматное выпадение, записывают дополнительной головкой, смещенной на угол 30° относительно основной и сдвинутой по высоте так, чтобы между магнитными видеострочками и синхрострочками помещалась продольная дорожка с записью управляющего сигнала — прямоугольных импульсов частотой 50 Гц и монтажных двуполярных импульсов частотой 12,5 Гц. На верхнем краю ленты располагают две продольные дорожки для записи двухканального или стереофонического звукового сопровождения, на нижней дорожке записывают ВК. Если вместо синхрострочек записывают звуковую дорожку, то на ней обычно пишут и режиссерские пояснения или дополнительную информацию. В этом случае форматное выпадение замещают сигналом кадровой группы, который формируется в *цифровом корректоре* (ЦКВИ). Взаимозаменяемость видеофонограмм формата С достигается благодаря высокой точности изготовления ЛПМ и БВГ, а также использованию *системы слежения за строчкой записи* (САТ). В сочетании с ЦКВИ она ликвидирует искажения ТВ изображения при воспроизведении сигналов с ленты, перемещающейся с переменной скоростью.

*Минимальные и максимальные значения параметров ВМ формата В, предназначенных для профессиональной записи (МЭК Публ. № 602)*

Расстояние, мм, от базового края магнитной ленты до краев дорожек:		
верхнего — канала управления . . . . .	23,95	24,06
нижнего — канала управления . . . . .	23,55	23,65
верхнего — звукового канала 1 . . . . .	23,15	25,26
нижнего — звукового канала 1 . . . . .	24,35	24,45
верхнего — звукового канала 2 . . . . .	23,15	23,26
нижнего — звукового канала 2 . . . . .	22,35	22,45
верхнего — звукового канала 3 . . . . .	0,95	1,05
нижнего — звукового канала 3 . . . . .	0,15	0,25
Полная длина строчек записи, мм . . . . .	1,18	22,19
Ширина строчки записи, мм . . . . .	0,155	0,165
Длина строчки записи при повороте диска на 180°, мм . . . . .	1,82	21,55

Шаг записи, мм (номинал) . . . . .	0,2	
Угол наклона строчки записи, град (номинал) . . . . .	14	
Диаметр диска БВГ, мм . . . . .	50,33	50,333
Выступание головок, мм . . . . .	0,024	0,06
Скорость ленты, см/с, для ТВ стандартов:		
625/50 . . . . .	24,3	
525/60 . . . . .	24,5	
Скорость головок относительно ленты, м/с . . . . .	24	
Ширина ленты, мм . . . . .	25,3	25,4

Расположение магнитных строчек и дорожек на видеофонограмме изображено на рис. 3.9.3. Строчки с изображением записываются двумя вращающимися головками. Диск БВГ вращается с частотой 9000 об/мин, головки поочередно записывают магнитные строчки (52 видеостроки в одной магнитной). Полукадр разбивают на шесть сегментов для стандарта 625/50 и на пять для 525/60. По верхнему краю ленты неподвижными головками записывают две продольные дорожки для сигналов двухканального или стереофонического звукового сопровождения, а между ними дорожку управляющего сигнала (прямоугольные импульсы частотой 50 Гц и монтажные — 12,5 Гц). На нижней продольной дорожке записывают ВК. Формат В имеет преимущества перед несегментным форматом С — короткая магнитная строчка, меньшие размеры БВГ, что облегчает работу при отрицательных температурах и снижает массу переносных ВМ. Для получения замедления или полной остановки изображения в состав ВМ включен блок цифровой памяти на кадр. При воспроизведении с замедлением шесть сегментов записывают в электронную память, а затем считывают полное ТВ изображение из памяти блока. По формату В были созданы кассетные ВМ (например, ВСN-100), но они не получили широкого распространения.

Кассетные ВМ для ТВ вещания были созданы фирмой Sony по формату U-mat. Н на ленте шириной 19 мм. В формате U-mat. Н применен способ записи с переносом сигнала цветности в область НЧ и с ЧМ несущей сигналом яркости.

*Основные параметры формата U-mat. Н (МЭК Публ. № 712)*

Ширина магнитной ленты, мм . . . . .	19
Тип видеокассеты . . . . .	КСА, КС
Скорость ленты, мм/с . . . . .	95,3
Скорость головка/лента, м/с . . . . .	10,26
Диаметр диска БВГ, мм . . . . .	110,0
Ширина строчки сигнала изображения, мм . . . . .	95,0



Промежуток между строчками, мкм . . .	52,0
Угол наклона строчки, град, мин . . . . .	457
Частота вращения диска с головками, об/мин, для ТВ стандартов:	
625/50 . . . . .	1500
525/60 . . . . .	1800
Угол обхвата БВГ, град . . . . .	180
Ширина звуковой дорожки, мкм . . . . .	800
Число звуковых дорожек . . . . .	2
Ширина дорожки сигнала управления, мкм . . . . .	800
Ширина дорожки сигнала ВК, мкм . . . . .	500

Расположение магнитных строчек и дорожек на видеофонограмме изображено на рис. 3.9.4. Изображение записывают двумя вращающимися головками: на одной магнитной строчке один полукадр, по верхнему краю ленты продольную дорожку управляющего сигнала, по нижнему (на продольных дорожках) два независимых

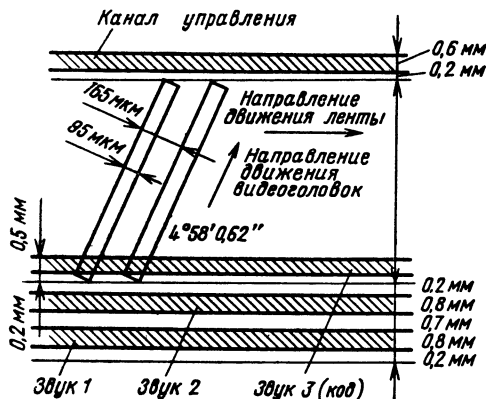


Рис. 3.9.4. Размер и расположение дорожек в формате U-mat. Н

звуковых сигнала, а на третьей дорожке сигнал ВК, причем строчки с изображением перекрывают эту дорожку. Полоса частот сигнала яркости составляет 3,5 МГц, а поднесущая цветности переносится на ча-

стоту 925 кГц. При записи с переносом спектра сигнала цветности наблюдаются искажения, что ограничивает области применения этой аппаратуры в ТВ вещании.

2. Сегментные ВМ форматов Q и В. Технические характеристики лучших моделей ВМ формата Q приведены в табл. 3.9.2, а структурная схема ВМ — на рис. 3.9.5. Лентопротяжный механизм ЛПМ (рис. 3.9.6) включает в себя БВГ 12, подающий 10, приемный 18 и ведущий 17 узлы, блоки стационарных головок. В их состав входят стирающие 11 и 13, универсальные — многоканальные головки 14—16, которые совместно с вакуумной камерой БВГ и направляющими элементами формируют тракт движения ленты в соответствии с требованиями формата. В канал изображения (преобразует ТВ сигнал в ЧМ сигнал при записи и обратно при воспроизведении) входят: входной усилитель-распределитель 1 с предкорректором, модулятор 2, четырехканальные усилители записи и воспроизведения ЧМ сигнала 3, электронный переключатель с ЧМ корректором 4, демодулятор 5 ЧМ сигнала с ограничителем и декорректором 6 и дополнительным узкополосным демодулятором для синхросигнала с системой АРЧХ. Далее сигнал поступает в систему компенсации выпадений 7, системы коррекции временных искажений 8 и обработки 9, которые повышают качество и стабильность воспроизводимого видеосигнала. Система записи и воспроизведения НЧ сигналов включает звуковой канал 21, канал ВК 29 и канал управления 22. Канал ВК имеет дополнительную воспроизводящую головку 34 для предварительного считывания при монтаже программ. В систему также входят генераторы стирания и подмагничивания, усилители записи и воспроизведения по числу каналов и формователи сигналов управления и кода. Система натяжения 24 поддерживает в заданных пределах натяжение ленты при разных радиусах намотки рулонов. Система синхронизации 25 селективирует из входного ВС синхроимпульсы и формирует из них опорные сигналы для систем авторегулирования и канала изображения, имеет автономный режим работы от встроенного кварцевого генератора, от входного ВС и от опорного ССП.

Система автоматического регулирования скоростного двигателя САР-СД 26 управляет частотой и фазой вращения трехфазного двигателя переменного тока,

Таблица 3.9.2. Технические характеристики различных моделей ВМ формата Q

Параметр	AUR-2 (США)	AUR-3 (США)	ВСМ-40Е (ФРГ)	КАДР-3ПМ (СССР)	КАДР-5 (СССР)	UR-3000 (США)
Габариты, мм	1657×940×813	2000×1473× ×787	2000×1420× ×680	1480×1670× ×750	1616×1658× ×706	610×355×200
Масса, кг	290	500	730	500	850	25
Питание, В/Вт	220/1300	220/3500	220/3000	220/1800	220/1500	12/150
Рабочий интервал температур, °С	5...40	5...40	5...40	5...35	5...25	0...40
Канал изображения						
Полоса частот, МГц	5,5±0,5 дБ	5,5	5,5+1 дБ	6±1 дБ	6±1 дБ	5,5
ОСШ, дБ	43	43	45	45	45	—
Муар, дБ	36	36	36	36	35	—
ДУ, %	4	4	5	4	5	—
ДФ, град	4	4	5	4	5	—
К-фактор, %	1	1	2	1	1	—
Звуковой канал						
Полоса частот, Гц	50...15 000	50...15 000	50...14 000	50...15 000	50...15 000	50...15 000
ОСШ, дБ	55	50	52	50	52	—
Детонация, %	0,25	0,25	0,25	0,3	0,25	—



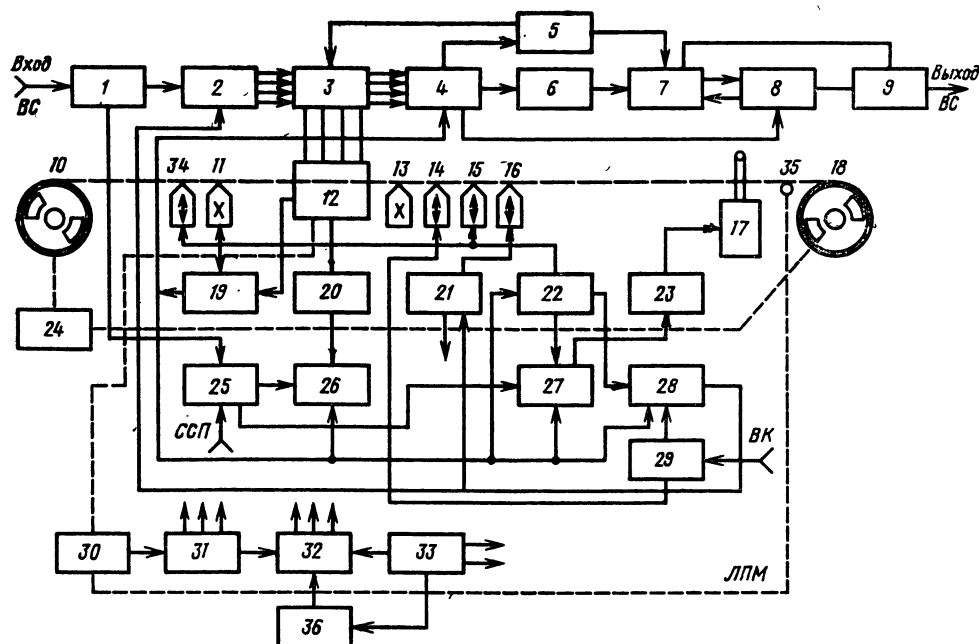


Рис. 3.9.5. Структурная схема ВМ «Кадр-3ПМ»

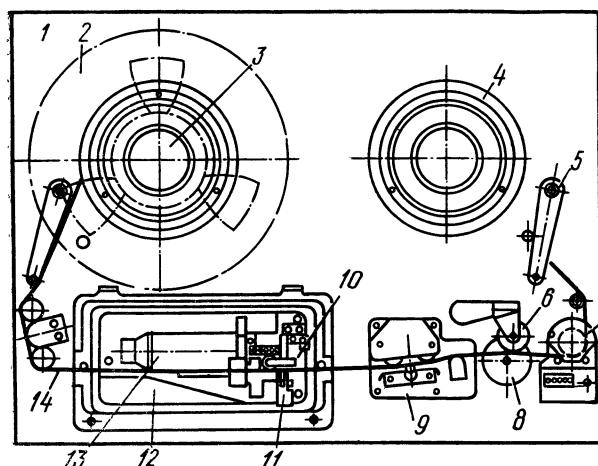


Рис. 3.9.6. Конструкция лентопротяжного механизма ВМ формата Q (1 — плата ЛПМ; 2 — катушка; 3 — подводящий узел; 4 — приемный узел; 5 — датчик радиуса рулона; 6 — прижимной ролик; 7 — счетчик метража ленты; 8 — ведущий узел; 9 — блок стационарных головок; 10 — диск с видеоголовками; 11 — вакуумная камера; 12 — БВГ; 13 — двигатель; 14 — лента)

вращающего диск с головками БВГ. Двигатель питается от усилителей мощности 20, на которые подается предварительно расщепленное по фазе напряжение частотой 500 Гц. На САР-СД поступают сформированные в блоке 25 опорные сигналы и сигналы таходатчиков 19 БВГ, а от системы синхронизации — опорные сигналы. При разгоне барабана БВГ САР-СД работает по сигналам таходатчика 250 Гц, а при номинальной частоте вращения — 6250 Гц. Система автоматического регулирования скорости ленты САР-СЛ 27 при записи работает в режиме синхронного привода от опорных сигналов, а при воспроизведении — по сигналам с дорожки канала управления, причем изменяются частота и фаза вращения двухфазного ведущего двигателя 17 переменного тока, питаемого от усилителей мощности 23. При разгоне в режиме воспроизведения происходит

предварительное фазирование по монтажным импульсам частотой 12,5 Гц, выделяемым из управляющего сигнала, а затем слежение за фазой на частоте управляющего сигнала 250 Гц при номинальной скорости ленты.

Система электронного монтажа программ СЭМ 28 позволяет монтировать фрагменты передачи по счетчику метража ленты 35, имеющему присос ленты к датчику для уменьшения ее проскальзывания во время перемоток. В ВМ «Кадр 3ПМ», выпущенных в 1986 по 1987 г., введен режим монтажа по ВК. В состав ВМ включен канал записи-воспроизведения ВК с дешифратором, позволяющий считывать код, записанный на дорожке как при номинальной скорости ленты, так и во время перемоток. В состав СЭМ входит пульт управления режимами монтажа (в модели, выпускаемой с 1986 г., он конструктивно объединен с панелью управления) и вычислитель с памятью на две точки склейки. Система позволяет автоматически искать точки монтажа по счетчику или по ВК и остановить ленту за 16 с до места склейки. Она позволяет смонтировать программу с изображением и звуковым сопровождением в режимах «вставка» и «продолжение». Для включения ВМ в заданный режим работы служит передняя панель 36. Команды с панели распределяются системой управления 32 по различным системам ВМ или непосредственно, или с заданными задержками. Работу ВМ контролируют с помощью системы контроля 33, включающей осциллограф, монитор, громкоговоритель и индикаторы, часть из которых размещена на передних панелях блоков. Имеется также воздушно-вакуумная система 30, система питания 31 и система принудительной вентиляции. В процессе эксплуатации интенсивно изнашиваются видеоголовки, ресурс которых около 150 ч. Поэтому БВГ съемный и периодически меняется, а для учета времени работы снабжен счетчиком.

Конструктивные особенности ВМ формата Q1.

«Кадр 5» — студийный, предназначен для программируемых монтажных систем. Лентопротяжный механизм имеет ведущий вал с вакуумным присосом ленты, буферными устройствами, развязывающими участок ленты в зоне БВГ от боковых узлов с катушками, поддув воздуха в направляющие стойки тракта ЛПМ, позво-

ливший снизить время входа в синхронизм до 0,5 с, высокоточную САР-СЛ с оптическим датчиком ведущего узла.

**BCM-40E (ФРГ)** — студийный, аналогичный по назначению ВМ «Кадр-5».

**AVR-3 (США)** — студийный, предназначен для программируемых монтажных аппаратных, причем воздушно-вакуумные буферные устройства в ЛПМ заменены электромеханическими, что позволило его упростить и сохранить высокое быстродействие.

**AVR-2 (США)** — упрощенная модель блочной конструкции с горизонтальным ЛПМ, удобная для установки в небольшие аппаратные и передвижные станции видеозаписи.

**VR-300 (США)** — репортажный ранцевой конструкции с питанием от аккумулятора, позволяет записывать изображение от переносной телекамеры и воспроизводить изображение на видеоискателе камеры.

Сегментные наклонно-строчные ВМ формата В типа **BCN** (фирма Bosch) отличаются от ВМ формата Q конструкцией БВГ, в которой диск с вращающимися головками расположен горизонтально. Лента обхватывает БВГ на угол 190° по винтовой линии. Выпущен ряд моделей, технические характеристики которых приведены в табл. 3.9.3.

ную скорость ленты. Увеличен объем цифровой памяти, что позволило получить изображение при замедлении без потери четкости. Для контроля сигналов при записи на диск БВГ установлены дополнительные головки.

**BCN-100** — кассетный автомат, управляемый ЭВМ. Три ЛПМ обеспечивают непрерывную передачу программ в эфир. Все подготовительные операции (поиск и подача требуемой кассеты из видеотеки, автоматическая заправка ленты и т. д.) осуществляются, когда с другого ЛПМ идет воспроизведение программы. Объем памяти управляющей ЭВМ на 99 операций позволяет задать программу работы ВМ на сутки. ЭВМ имеет дисплей и клавиатуру для ввода программы, дополнительное ЗУ на гибких магнитных дисках на 3000 операций и буквопечатающее устройство для вывода программы и контроля.

**BCN-21** — носимый ВМ предназначен для ВЖ, имеет жесткий корпус, раздвижные боковые узлы на ЛПМ, позволяющие устанавливать катушки нескольких размеров, экономичные электродвигатели и аккумуляторы на 70 мин непрерывной работы без подзарядки. Устойчиво работает в интервале температур —10...+40°С, записывает изображение при движении оператора. Эти качества достигнуты благодаря малой инерционности

Таблица 3.9.3. Технические характеристики различных моделей ВМ формата В (Германия)

Параметр	BCN-51	BCN-52	BCN-21	BCN-100
Общие характеристики				
Габариты, мм	721×1746×650	721×1746×650	400×160×294	2030×1900×700
Масса, кг	200	200	9	460
Питание, В/Вт	220/1540	220/2000	12/25	220/4600
Время записи, мин	90	90	20	Непрерывное
Рабочий интервал температур, °С	+5 +45	+5 +45	—20 +50	+5 +45
Канал изображения				
Полоса частот, МГц, на уровне —3 дБ	5,5	5,0	5,5	5
ОСШ, дБ	43	43	43	43
Муар, дБ	35	35	35	35
ДУ, %	4	4	4	4
ДФ, град	4	4	4	4
К-фактор, %	1,5	1,5	1,5	1,5
Звуковые каналы				
Полоса частот, Гц	50...15 000	50...15 000	50...15 000	50...15 000
ОСШ, дБ	55	55	55	55
Нелинейные искажения, %	3	3	3	3
Детонация, %	0,1	0,1	0,1	0,15

Конструктивные особенности ВМ формата В:

**BCN-51 (ФРГ)** — студийный, состоит из нескольких модулей, монтирующиеся в стойке, в верхней части которой размещены монитор, осциллограф и вектроскоп с блоком коммутации и контрольным громкоговорителем. В среднем модуле размещены расположенный горизонтально ЛПМ и электронные системы, связанные с ним (каналы записи-воспроизведения, САР, система управления и т. д.), в третьем модуле — система обработки и система КВИ, в нижнем модуле размещена цифровая память на 1 кадр изображения, с помощью которой реализуются замедление и электронные спецэффекты. Структурная схема ВМ аналогична схеме ВМ формата Q, но число каналов записи-воспроизведения вдвое меньше.

**BCN-53** — усовершенствованная модель студийного ВМ. Работает при двух скоростях ленты. При катушках длительностью 3 ч используют головки, имеющие меньшую ширину рабочих зазоров и вдвое уменьшен-

диска БВГ и незначительным потерям на трение ленты в тракте.

3. Несегментные ВМ формата С широко применяют на телецентрах (табл. 3.9.4). В состав студийного ВМ «Кадр-103СЦ» (рис. 3.9.7 и 3.9.8) входят блок записи-воспроизведения (БЗВ), ЦКВИ, генератор-дешифратор кода (БВК), блок контроля (БК) с встроенным громкоговорителем, осциллограф С1-81 и черно-белый монитор ВК-23В60, которые устанавливаются в общем корпусе-стойке. Перевозимый вариант ВМ состоит из тех же модулей. Основным узлом ВМ является лентопотяжный механизм (рис. 3.9.9). Подающий 1 и приемный 2 узлы приводятся в движение от прецизионных двигателей постоянного тока ДПУ-120-40-1-40-Р13 с облегченным ротором и большим числом коллекторных пластин, что обуславливает высокую точность систем авторегулирования и натяжения и незначительные изменения момента за оборот двигателя. Литая плата ЛПМ имеет ячейки с ребрами и посадочными точками для

Таблица 3.9.4. Технические характеристики различных моделей ВМ формата С

Параметр	VPR-3 (США)	VPR-6 (США)	VPR-5 (США)	BVN-2180 (Япония)	BVN-2500 (Япония)	BVN-2800 (Япония)	КАДР-103СЦ (СССР)
Общие характеристики							
Габаритные размеры, мм	1917×759× ×813	1880×838× ×673	137×44,2× ×21,5	1910×900× ×900	570×680× ×588	623×715× ×572	1720×850× ×700
Масса, кг	304	304	6,8	305	70	77	240
Потребление, Вт	800	1050	40	900	1000	1000	900
Время записи, мин	190	124	20	124	124	124	90
Канал изображения							
Полоса частот, МГц	6	6	6	5,5	5	4,5	6
ОСШ, дБ	43	43	43	43	43	47	42
Муар, дБ	36	36	36	35	35	40	40
Дифференциальное усиление, %	4	4	4	4	4	4	5
Дифференциальная фаза, град	4	4	4	4	4	4	5
К-фактор, %	1	1	1	1	1	1	1,5
Звуковые каналы							
Полоса частот, кГц	18	18	15	15	15	15	16
ОСШ, дБ	56	56	56	56	56	56	56
Коэффициент нелинейных искажений, %	3	3	3	3	3	3	3
Детонация, %	0,07	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,12
Конструктивные особенности	Стойка	Стойка	Переносной	Стойка	Настольный	Настольный	Стойка
Время входа в синхронизм, с	0,3	3	—	3	2	2	1,5
Изменение скорости при замедлении (—) или ускорении (+)	—0,25; +2	—1; +2,3	—	—1; +2	—1; +3	—1; +3	—0,25; +2

узлов, которые устанавливаются сверху. На боковых узлах размещены оптические таходатчики и механические тормоза, служащие для арретирования катушек при выключении сети. На валу ведущего двигателя 8 закреплен маховик и ротор магнитного таходатчика, вырабатывающего сигнал частотой 1000 Гц. К ведущему валу лента подводится прижимным роликом с помощью электромагнита 9. На плате ведущего узла установлены оптический датчик 3 контакта обрыва ленты, стирающие головки 12 и 11, имеющие керамические направляющие, и стойка 2, стабилизирующая ход ленты, блоки универсальных звуковых головок 7, БВГ 13 и датчик скорости ленты 5. Эластичные развязки, состоящие из подпружиненных рычагов 3, закрепленных на оси синусно-косинусных трансформаторов, одновременно служат датчиками натяжения ленты. Они защищают ленту от растяжения в старт-стопных режимах и обеспечивают быстрый вход ВМ в синхронизм (1...1,5 с). В каркасе ЛПМ установлен горизонтально, но для ремонта может откидываться вперед на 110°, сохраняя работоспособность.

Наиболее сложным и точным узлом ЛПМ является БВГ. Предварительные усилители универсальной и воспроизводящей видеоголовок размещены в верхнем вращающемся барабане БВГ. В нижнем неподвижном барабане помещены таходатчики, токосъемники и электродвигатель ДПУ 100-16-3-24-Р13 так, чтобы снизу был доступ к щеточному узлу. Видеоголовки видеоканала (универсальная, воспроизводящая и стирающая) установлены на верхнем барабане под углом 120° в легкосъемных обоймах. Видеоголовки синхроканала (или их имитаторы) опережают основные на угол 30° и опущены на 2,47 мм. Обоймы имеют регулировочные винты, позволяющие устанавливать сердечник головки с задан-

ной точностью по высоте, азимуту и выступанию. Сердечник воспроизводящей головки, являющийся исполнительным элементом системы автотрекинга, закреплен на биморфной пьезокерамической пластине. При подаче управляющего напряжения пластина отклоняет сердечник по вертикали. Пластина имеет датчик углового перемещения, усиленный сигнал которого используется для подавления собственных колебаний головки. Управляющее и поляризующее напряжения на пластины подаются через контактный токосъемник, а записываемый и воспроизводимый ЧМ сигналы — через полый вал электродвигателя и бесконтактные ферритовые токосъемники. Токосъемники тщательно закрапированы и разнесены на максимальное расстояние, что позволило обеспечить требуемое переходное затухание между записываемым и воспроизводимым сигналами и выполнить сквозной канал по сигналу изображения. Для получения взаимозаменяемости видеофонограмм БВГ имеет регулируемые микрометрическими винтами входную и выходную направляющие устанавливаемые по измерительной ленте. На неподвижном барабане по винтовой линии с точностью до 2 мкм установлена опорная лента. По ней движется базовый край ленты. Каркас БЗВ сварной, имеет две кассетницы и съемную панель управления. В верхней откидной кассетнице размещены 10 электронных блоков четырех звуковых каналов. Остальные 30 блоков размещены в нижней кассетнице. С задней стороны каркаса расположены вводной щиток и три блока питания.

На панели управления в центральной зоне установлены органы управления основными режимами ВМ; слева — органы управления встроенного монтажа, справа — ручка управления режимами замедления и пере-

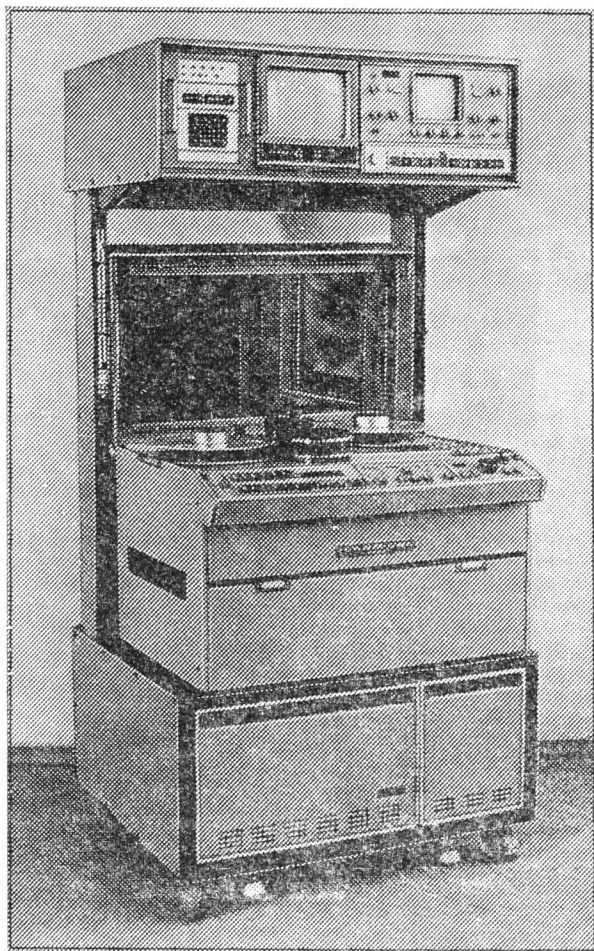


Рис. 3.9.7. Внешний вид ВМ «Кадр-103СЦ»

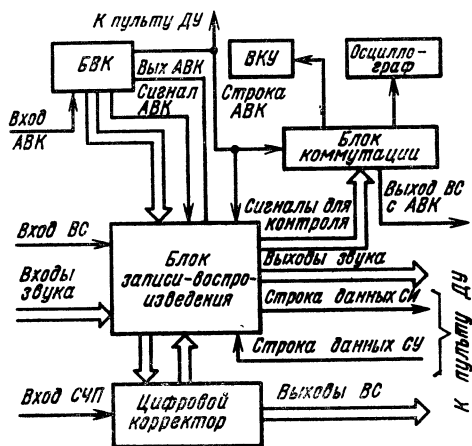


Рис. 3.9.8. Структурная схема ВМ «Кадр-103СЦ»

мотки. Структурная схема (рис. 3.9.10) канала изображения БЗВ выполнена аналогично ВМ формата Q, но число усилителей записи и воспроизведения уменьшено и исключен электронный переключатель головок. Модулятор с АПЧ имеет стабильность  $\pm 50$  кГц и уровень второй гармоники  $-50$  дБ. Усилитель записи синусоидальный, симметричный с коррекцией, рассчитан на ра-

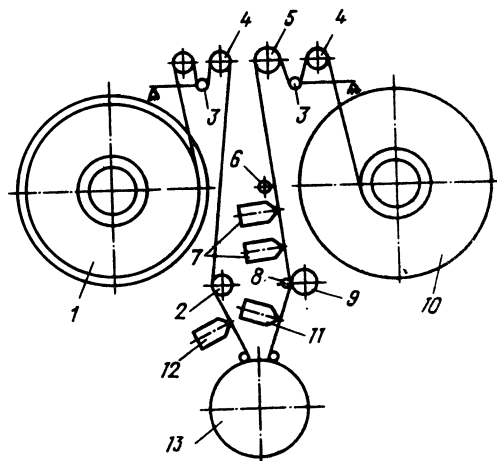


Рис. 3.9.9. Кинематическая схема ЛПМ ВМ формата С

боту с ферритовыми головками ВГ-81-04. Косинусный корректор канала воспроизведения двойной, дистанционно управляемый, переключается во время воспроизведения. Размах сигнала на входе ограничителя и детектора САТ поддерживается стабильным с помощью АРУ.

Демодулятор выполнен по схеме с удвоением частоты; на его выходе установлена упрощенная система обработки с защитой от помех, вызываемых короткими импульсами, и усиленной фиксацией уровня черного, улучшающей возможность наблюдения изображения при перемотках. Для защиты ЦКВИ от помех, вызываемых выпадениями, последние замещаются уровнем черного. Цифроаналоговые системы регулирования частоты вращения барабана БВГ и скорости движения ленты работают по принципу синхронного привода с использованием тахогенераторов с частотами 50 и 6250 Гц для БВГ и 1000 Гц для ведущего узла. При номинальной скорости движения ленты САР-СЛ работает по воспроизводимым и опорным импульсам с частотами 12,5 и 50 Гц. В режимах замедления и ускорения скорость стабилизируется на дискретных значениях 0,25; 0,5; 1; 2 $v_n$ . Во всех режимах воспроизведения ролик прижимает ленту к ведущему валу, что стабилизирует ее натяжение на БВГ. Системы натяжения и управления ЛПМ управляют боковыми и ведущим двигателями как при рабочем ходе ленты, так и во время перемотки, при «бесстоповых» переходах и в режиме поиска, исключая образование петель и выброс ленты из тракта. Датчик обрыва ленты, тахогенераторы боковых узлов и датчик скорости ленты вырабатывают импульсные сигналы, по которым логические импульсные устройства системы управления автоматически останавливают катушки при обрыве или за несколько десятков секунд до окончания намотки.

В составе ВМ имеется система синхронизации, вырабатывающая опорные сигналы и импульсы, замещающие форматное выпадение, при работе ВМ от записываемого сигнала, встроенного кварца или сигнала СЧП.

Головкой воспроизведения управляет САТ, выполняющая следующие операции: смещает головку на расстояние до 70 мкм в режиме «запись» для совмещения ее с записываемой строчкой; с помощью непрерывного сканирования следит за воспроизводимой строчкой при скорости ленты  $v_n$ , перебрасывает головку по заданному алгоритму при замедлении или ускорении; совмещает головку с неподвижной строчкой в режиме «стоп-кадр». При работе САТ частота сканирования равна 500 Гц. При воспроизведении с номинальной скоростью ленты на головку подается сигнал пилообразной формы, частота которого зависит от сигнала таходатчика ведущей

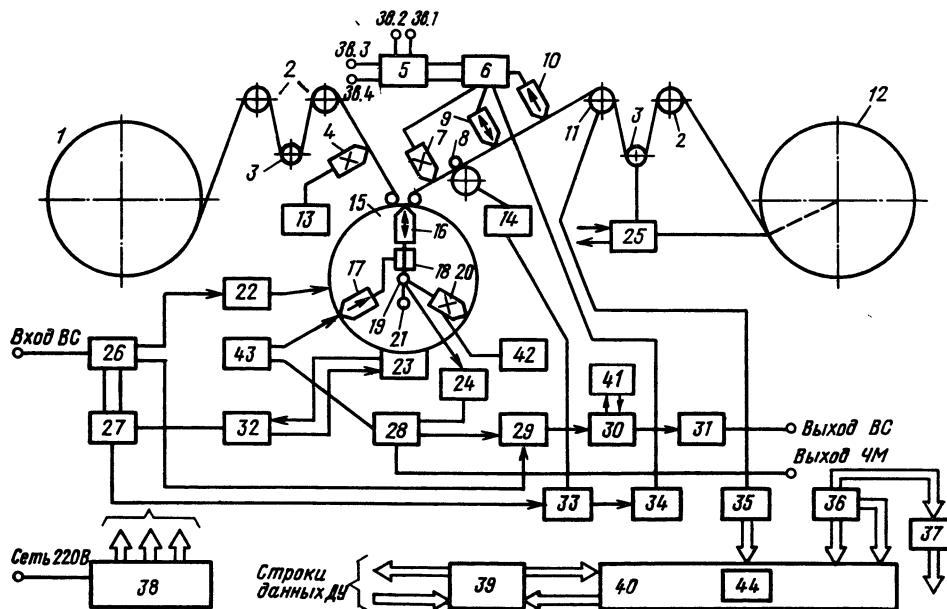


Рис. 3.9.10. Структурная схема блока записи-воспроизведения (1 — подающий узел, 2 — обводной ролик, 3 — датчики эластичной развязки, 4 — общая стирающая головка, 5 — блоки звуковых каналов, 6 — генераторы стирания и подмагничивания, 7 — блок стирания звука, 8 — ведущий вал, 9, 10 — блоки универсальных звуковых, воспроизводящих головок, 11 — датчики скорости ленты, 12 — приемный узел, 13 — генератор общего стирания, 14 — магнит прижимного ролика, 15 — БВГ, 16, 17, 20 — видеоголовки универсальная и воспроизводящая и стирающая, 18 — ПУВ, 19 — токосъемники, 21 — токосъемник, 22 — усилитель записи, 23 — электродвигатель; 24 — корректор воспроизведения, 25 — система натяжения, 26 — видеоканал, 27 — система синхронизации, 28 — ЛПХ, 29 — демодулятор, 30 — БПО, 31 — выходной усилитель, 32 — СЛР-СД, 33 — САР-СЛ, 34—38 — системы управления коммутации, от Пу, монтажа, контроля, питания, 39 — ДУ, 40 — панель управления, 41 — компенсатор, 42 — генератор, 43 — система автотрекинг, 44 — индикатор)

го узла, который при скорости ленты меньше  $0,1v_n$  автоматически отключается. Собственные колебания головки подавляются целью демпфирования, на которую поступает сигнал от датчика перемещения головки. В САТ входят также блоки, компенсирующие статическую кривизну магнитной строчки и предохраняющие биморфную пьезокерамическую пластину от перегрузок по напряжению.

Встроенная СЭМ (рис. 3.9.11) обеспечивает автоматический монтаж по счетчику и ВК с одного ВМ на другой и выполняет необходимые монтажные операции при работе ВМ в составе монтажных аппаратов (см. п. 3.2.5). Управление ВМ от пультов в таких аппаратах

ных производится дистанционно по системе, в которой команды передаются по одному коаксиальному кабелю, а сигналы об их исполнении — по другому. По одной линии передают 32 команды с временным разделением, причем частота передачи группы команд, разделенных строчными синхронимпульсами, равна строчной частоте ТВ сигнала. Структура команд управления и исполнения приведена в табл. 3.9.5, а форма сигналов — на рис. 3.9.12. Аппараты «Кадр-103СЦ» поздних выпусков имеют встроенный интерфейс на микропроцессоре переводящий строки с командами управления и исполнения в последовательный цифровой поток, в котором все команды закодированы согласно (ЕВU. Публ. 3245).

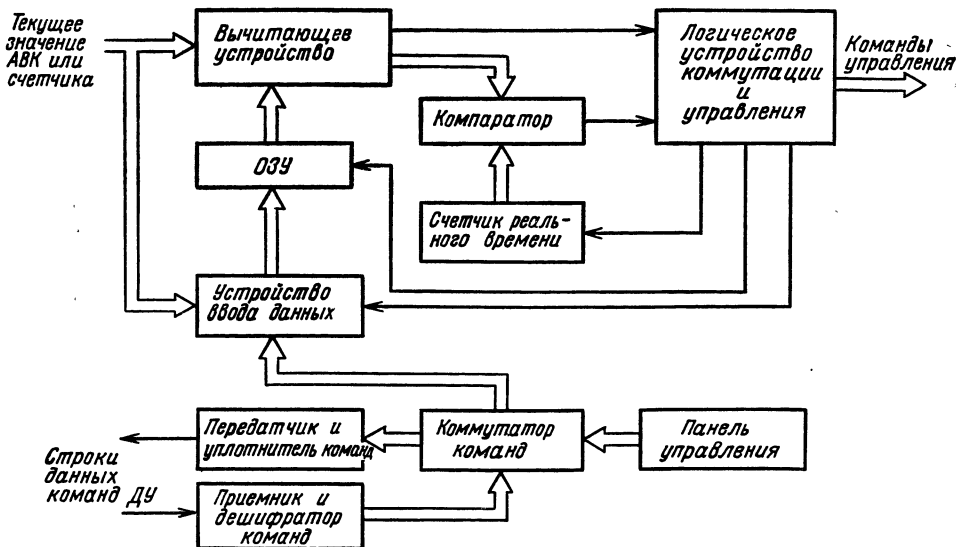


Рис. 3.9.11. Структурная схема встроенной системы электронного монтажа

Таблица 3.9.5. Структура команд в строках дистанционного управления

№ бит	Строка данных команд управления		Строка данных исполнения	
	Команда управления	Логический уровень	Команда исполнения	Логический уровень
1	Автомат	0	Авария	0
2	Стоп	0	Стоп	0
3	Репетиция	0	Синхронизация	0
4	Предустановка	0	Предустановка	0
5	Монтаж	0	Монтаж	0
6	Синхронизация	0	Синхронизация	0
7	Перемотка	0	Поиск	0
8	Перемотка	0	Перемотка	0
9	X4*	1	Предустановка	0
10	X3*	1	Сборка	0
11	X2*	1	Резерв	1
12	X1*	1	Репетиция	0
13	Конец	0	Конец	4
14	Начало	0	Начало	0
15	Продолжение	0	Продолжение	0
16	Вставка	0	Вставка	0
17	Код	0	Код	0
18	Шаг	0	Шаг	0
19	Замедление	0	Замедление	0
20	Видео	0	Видео	0
21	Звук 1	0	Звук 1	0
22	Звук 2	0	Звук 2	0
23	Звук 3	0	Звук 3	0
24	Звук 4	0	Звук 4	0
25	Эфир	0	ДУ передано	0
26	Маркер	0	Маркер	0
27	Запись прямая	0	Запись	0
28	Перемотка прямая	0	Перемотка прямая	0
29	Перемотка обратная	0	Перемотка обратная	0
30	Резерв	1	Стоп	0
31	Воспроизведение	0	Воспроизведение	0
32	Подготовка	0	Подготовка	0

\* Разряды сигналов управления скоростью движения ленты передаются в прямых значениях кода.

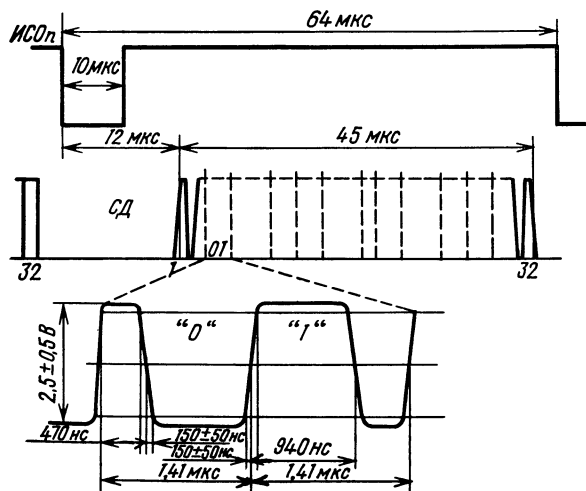


Рис. 3.9.12. Форма импульсов строк ДУ

У ВМ «Кадр-103СЦ» имеется развитая система контроля, индикации и диагностики, в состав которой входит осциллограф с блоком коммутации БК, позволяющий контролировать форму входных и выходных ТВ сигналов, сигналы САТ, ВК, ЭДС головок, сигналы канала управления и звуковые сигналы, которые могут быть прослушаны на громкоговорителе. Монитор подключается к разным точкам канала изображения, а также служит дисплеем для цифрового сигнала ВК. Четыре стрелочных прибора, цифровой индикатор и светодиодное табло «Авария» на панели управления в сочетании со светодиодными индикаторами на лицевых панелях блоков позволяют оперативно находить неисправность в работе систем. Источники питания снабжены автоматической защитой от коротких замыканий, а каждый стабилизатор имеет светодиодную индикацию отказа. Система управления автоматически блокируется при неправильной зарядке или отсутствии ленты. Обработку воспроизводимого сигнала, коррекцию временных искажений и компенсацию выпадений осуществляют с помощью ЦКВИ.

Конструктивные и технологические особенности ВМ формата С.

VPR-3 (Амрех, США) — студийный ВМ для автоматизированных монтажных аппаратных. Воздушно-вакуумная система ЛПИ (ведущий вал с вакуумным присосом ленты и поддувом воздуха в направляющие тракта), позволяющая обеспечить время входа в синхронизм 0,3 с, микропроцессорная система управления, монтажа и диагностики.

VPR-6 (фирма та же) — универсальный студийный ВМ, съемная, разделенная на функциональные зоны панель управления; встроенная монтажная система с расширенными возможностями; САТ и ЦКВИ с диапазоном скоростей  $v_n = 1-3$ .

VPR-5 (фирма та же) — малогабаритный носимый ВМ, предназначен для видеожурналистики, масса 5,6 кг. Высококачественная запись с возможностью немедленного воспроизведения на студийных ВМ; питание от встроенных аккумуляторов с автоматическим контролем; автоматическое управление и подстройка каналов изображения и звука, проверка и диагностика всех систем от микропроцессора.

BVH-2000 (Sony, Япония) — универсальный студийный ВМ с различными вариантами комплектации (стойка, настольный модуль со встроенным ЦКВИ с узким рабочим диапазоном и отдельным ЦКВИ с широким, три типа панелей управления и т. д.); БВГ с раздвижными направляющими, микропроцессорная система управления и диагностики.

BVH-2500 (фирма та же) — студийный ВМ с расширенными возможностями записи и воспроизведения на номинальных скоростях ленты, предназначенный для записи мультфильмов, работы в информационных системах; позволяет записывать одиночные кадры за 0,6 с, имеет систему поиска одиночных кадров по ВК, записывает ТВ программу на пониженной скорости с сохранением стандартной видеофонограммы формата С.

BVH-2800 (фирма та же) — студийный ВМ с дополнительным цифровым стереозвуковым каналом, который записывается вращающейся синхроголовкой на синхрострочках видеофонограммы формата С после предварительного преобразования (временной компрессии) цифрового звукового потока.

BVH-3000 (фирма та же) — студийный ВМ универсального назначения, имеет воздушную заправку ленты в тракт ЛПИ, встроенный ЦКВИ, микропроцессорное управление САТ, цифровую систему шумоподавления, предварительное программируемое управление спейсрейсами воспроизведения.

4. Видеоманитофоны для видеожурналистики. Повышение плотности записи информации на магнитной ленте привело к появлению видеокассет и кассетных ВМ, работающих совместно с носимыми ТВ камерами. Объединение их в один корпус

и интеграция электронных устройств создало новое устройство — видеокамеру, с помощью которой журналисты получили возможность оперативно собирать информацию. Для воспроизведения, перезаписи и монтажа видеокассет используются воспроизводящие и монтажные кассетные ВМ.

В видеокассетах, применяемых для видеожурналистики (табл. 3.9.6), цветное ТВ изображение записывается

Таблица 3.9.6. Характеристики кассет для ВМ различных типов

Параметр	Тип видеокассет/формат записи				
	KCA/U	VHS/M	Beta/L	CVC/L Inneplex	P5-90/V8
Ширина магнитной ленты в кассете, мм	19	12,7	12,7	6,25	8
Ширина кассеты, см	18,6	18,8	15,6	10,6	9,5
Высота кассеты, см	12,3	10,4	9,6	6,8	6,25
Толщина кассеты, см	3,2	2,5	2,5	1,2	1,5
Площадь носителя, см <sup>2</sup>	229	195,5	150	72,08	93
Объем кассеты, см <sup>3</sup>	732	488,8	374	86,5	89

на ленту двухстрочным способом: на одной строчке сигнал яркости, на второй, параллельной ей, — сигнал цветности, что позволяет избежать перекрестных искажений и уменьшить размеры БВГ.

В СССР для видеожурналистики выбран формат Betacam фирмы Sony (рис. 3.9.13, табл. 3.9.7). На

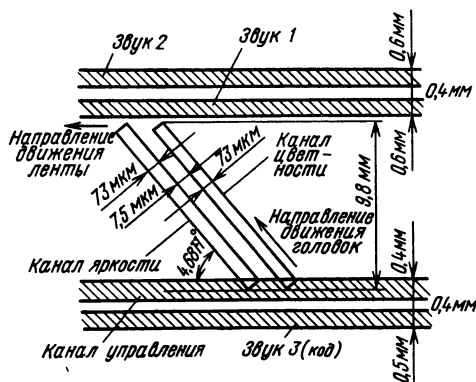


Рис. 3.9.13. Размер и расположение дорожек в формате Betacam

барабане БВГ размещаются шесть видео головок. Две головки, рабочий зазор которых наклонен на угол  $-15^\circ$ , записывают и воспроизводят ЧМ сигнал яркости, две группы с наклоном рабочего зазора  $15^\circ$  записывают и воспроизводят ЧМ сигналы уплотненных по временному масштабу цветоразностных сигналов R—Y и B—Y. Полосные наконечники видео головок канала яркости расположены на барабане БВГ под углом  $180 \pm 0,0004^\circ$ , а видео головки канала цветности опережают по дуге головки канала яркости на угол  $6,767^\circ$ . Одному обороту барабана БВГ соответствует один кадр. Две другие головки служат для стирания строчек каналов яркости и цветности в режиме монтажа. Заправка ленты в тракт ЛПМ — вращающейся платформой типа L. Натяжение ленты  $0,47 \pm 0,05$  Н, кривизна строчек не более 10 мкм. В ЛПМ использованы встро-

Таблица 3.9.7. Основные характеристики форматов ВМ для видеожурналистики

Параметр	L	M	Lineplex
Ширина магнитной ленты, мм	12,7	12,7	6,25
Тип кассеты	HQ-20	VHS	CVC
Скорость ленты, мм/с	101,5	187,9	118
Скорость записи, м/с	5,7	4,7	4,6
Диаметр барабана БВГ, мм	74,5	62	60
Ширина магнитной строчки, мкм	73	—175; —91	56
Ширина промежутка, мкм	7,5	13	0
Угол наклона строчки, град	4,68	4,8	2,7
Ширина звуковой дорожки, мкм	$2 \times 600$	$2 \times 700$	$2 \times 350$
Ширина <sup>1</sup> дорожки сигнала управления, мкм	400	500	—
Ширина дорожки сигнала ВК, мкм	500	500	300

<sup>1</sup> Для Lineplex совместима с ВК

енные в узлы миниатюрные двигатели постоянного тока. С выхода ТВ камеры цветной сигнал поступает на запись в виде трех компонент Y, R—Y, B—Y, но предусмотрен также выход сигнала СЕКАМ.

Записывающий ВМ BVW-1 имеет жесткое соединение с ТВ камерой, но для ремонта он может быть отсоединен от корпуса камеры. Его масса 3,3 кг, потребляемая мощность 11 Вт, питание от никель-кадмиевых батарей напряжением 12 В. Габаритные размеры  $232 \times 203 \times 112$  мм. Время непрерывной записи 24 мин, время перемотки 150 с. Электронная часть записывающего ВМ BVW-1 выполнена на четырехслойных печатных платах с применением специализированных БИС.

Сигнал Y от ТВ камеры поступает в канал записи сигнала яркости. На его входе имеется ФНЧ, ограничивающий полосу рабочих частот до 4 МГц, устройство предискажений с ограничителем пиков белого и сумматор, с помощью которого вводят сформированные синхрои импульсы; затем сигнал поступает в линейный модулятор с расстановкой частот: уровень белого 6,4 МГц, уровень черного 5 МГц, уровень синхрои импульсов 4,4 МГц (девиация  $2 \pm 0,05$  МГц); ЧМ сигнал проходит усилители записи и через бесконтактные токосъемники поступает на две видео головки, записывающие его на ленту. Сигналы R—Y и B—Y от ТВ камеры поступают в канал записи сигналов цветности через фильтры, ограничивающие полосу рабочих частот до 1,5 МГц. В канале записи имеется устройство сжатия и задержки, выполненное на ПЗС. Оно сжимает временной масштаб сигналов цветности вдвое и обеспечивает последовательную передачу в течение одной строки сначала сигнала R—Y, а затем B—Y. В суммарный сигнал замешивается опорный импульс, по которому корректируется задержка в каналах яркости и цветности. Далее в сигнал цветности вводят предискажения и после ограничения сигнал поступает в линейный модулятор с расстановкой частот: уровень положительного отклонения сигнала 3,5 МГц; уровень отрицательного отклонения сигнала 4,5 МГц; уровень синхрои импульса 4,9 МГц (девиация  $1,4 \pm 0,05$  МГц). Сигналы яркости и цветности записываются с ОСШ не



Таблица 3.9.8. Характеристики видеокамер различных форматов записи

Параметр	Bosh	RCA	Sony	Sony	BTS	Panasonic		
	Lineplex	Haw Key	Betacam	Betacam SP	Betacam SP	S-VHS	M II	VHS-C
Общие характеристики								
Тип видеокамеры	KC-1	HP-1	B-10	B-300	KCB 590	AC-7450	WV-F350A и AI-410E	MC10
Масса видеокамер, кг	9,5	12,8	12,3	4,9	5,65	2,7	10	1,3
Масса видеокассет, г	50	280	200	200	200	280	280	50
Время записи, мин	20	20	20	180	180	180	180	30
Видеоканал								
Полоса частот, МГц	3,6	3,6	4,1	5,5	5,5	5	5,5	2,7
ОСШ, дБ	1,2	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1
К-фактор, %	46	45	47	46	46	43	46	43
	46	46	49	50	50	46	50	43
	3	3	3	3	2	2	2	3
Звуковые каналы								
Полоса частот, Гц	50...8000	50...8000	50...12 000	50...15 000	50...12 000	50...12 000	50...15 000	80...8000
ОСШ, дБ	60	52	52	52	50	52	52	46
Коэффициент нелинейных искажений, %	3	3	3	3	2	3	3	3
Коэффициент детонации, %	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2

хуже 47 дБ. Их расхождение между собой во времени не превышает 10 нс.

Видеокамеры (табл. 3.9.8) имеют объектив с автоматическим управлением диафрагмой и трансформатором, оптический видискатель и микрофон. Управление камерой и видеомагнитофоном объединено, также объединены системы контроля и питания. Проверка записанной программы на ВМ BVW-1 невозможна, что создает неудобства для журналиста. Для оперативного воспроизведения записанной кассеты HG-20 служит носимый ВМ BVW-20 (масса 10 кг, размеры 315×123×370 мм). Он питается от аккумулятора напряжением 12 В, потребляет мощность 25 Вт. С его помощью можно проверить на телевизоре программу, переписать ее на ВМ формата В или С через ЦКВИ. В студийных условиях кассету воспроизводят на ВМ BVW-10 (размеры 452×239×580 мм, масса 30 кг, потребляемая от сети мощность 160 Вт). Он имеет четыре усилителя для воспроизводящих головок, демодулятор сигнала яркости и сигнала цветности, систему обработки для временной декомпрессии сигналов цветности, выходы компонентных сигналов и сигнала СЕКАМ.

Для монтажа программ и их перезаписи на ВМ других форматов используют студийный ВМ BVW-40 (452×283×580 мм, масса 35 кг, потребляемая мощность 200 Вт). Он имеет встроенный двухканальный ЦКВИ с компенсатором выпадений; при коррекции временных искажений осуществляется обратное преобразование временного масштаба сигналов цветности и их фазирование с сигналом яркости. Вертикальная заправка кассеты в ЛПМ; встроенная система электронного монтажа программ, генератор-дешифратор временного кода; системы автотрекинга и покадрового воспроизведения; воспроизведение при скоростях 1/30, 1/10, 1/5, 1/2, 1, 2, 5, 10 от  $v_n$  и система дистанцион-

ного управления позволяют использовать BVW-40 в монтажной системе с BVE-500 или BVE-800.

Для оперативного воспроизведения информационных программ служит многокассетный автоматический ВМ «Betacart». В его состав входят четыре BVW-11, имеющих систему автотрекинга и ЦКВИ и предназначенных только для воспроизведения; два BVW-41 для записи, воспроизведения и монтажа программ, управляющая ЭВМ с клавиатурой и дисплеем, автоматическая видеотека с роботом для подачи кассет в ЛПМ. Автоматический ВМ позволяет непрерывно воспроизводить программы в последовательности, определяемой программой ЭВМ, записывать и компоновать новые телепередачи.

Фирмы, использующие кассету VHS, применяют для видеожурналистики аппаратуру Haw-Keye (RCA, США) формата М (табл. 3.9.12, рис. 3.9.14). В ВМ HR-1 на барабане БВГ размещены шесть вращающихся видеоголовок. Две головки установлены под углом  $180 \pm 0,0028^\circ$  и предназначены для записи сигнала Y, две другие, смещенные по хорде на расстояние  $3,22 \pm 0,03$  мм против вращения барабана, предназначены для записи сигналов R—Y и B—Y; две остальные служат для стирания и смещены на угол  $90 \pm 0,018^\circ$  относительно двух первых. Заправка ленты в тракт ЛПМ — по способу М, двумя подвижными направляющими с двух сторон барабана БВГ. От ТВ камеры сигнал поступает в виде трех компонент. Сигнал Y после предкоррекции и ограничения по полосе частот до 3,6 МГц подают на линейный модулятор с расстановкой частот: уровень белого 5,3 МГц, черного 4,3 МГц, синхронимпульсов 3,8 МГц, девиация  $1,5 \pm 0,05$  МГц, и записывают последовательно двумя головками на отдельную магнитную строчку. Сигналы цветности R—Y и B—Y записывают с использованием модуляции с разными несущими, причем перед модуляцией в сигнал вводит-



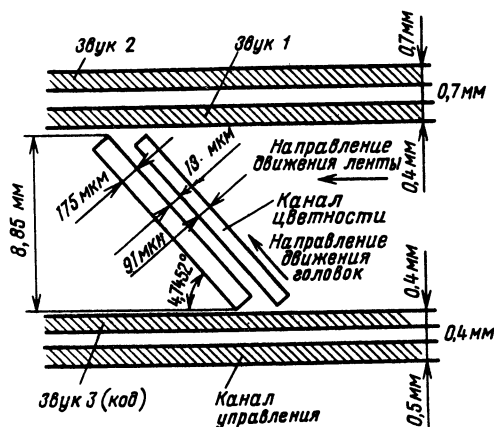


Рис. 3.9.14. Размер и расположение дорожек в формате MII

ся синхроимпульс Y/C, который при воспроизведении сравнивается по фазе с синхроимпульсом сигнала яркости и разница в задержках воспроизводимых сигналов устраняется. Девияция частоты сигнала R—Y лежит в диапазоне 5,5...6,5 МГц, а сигнала В—Y 0,95...1,55 МГц; оба сигнала до модуляции подвергаются предкоррекции. Сигналы записывают последовательно двумя головками на магнитную строчку, при этом

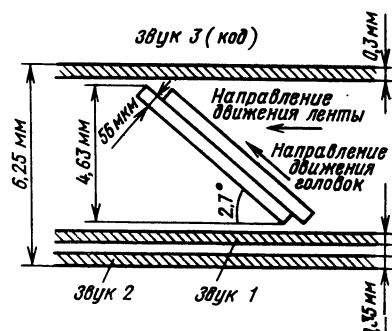


Рис. 3.9.15. Размер и расположение дорожек в формате Lineplex

информация об одном и том же изображении располагается на соседних строчках. В миниатюрном записывающем ВМ НР-1 встроенном в носимую камеру, для воспроизведения использован портативный воспроизводящий ВМ НР-3. В комплект ВЖ Hawkeye входит кассетный ВМ НР-2, имеющий дистанционное управление от пульта. Он обладает монтажными функциями, что позволяет использовать его в аппаратных для передачи информационных программ.

В комплекте видеожурналистики Quartercam (Bosh, ФРГ) применен формат Lineplex (табл. 3.9.11, рис. 3.9.16) и малогабаритная кассета CVC, что по-

Таблица 3.9.9. Технические характеристики лент для видеокассет

Формат записи	Кассета, фирма	Время записи, мин	Размер ленты			Рабочий слой		
			длина, м	ширина, мм	толщина, мкм	Нс, Э	В, Г	Материал
Betacam	BCT-30K, Sony	30	222	12,7	16	650	1250	Vivax
	BCT-20K, Sony	20	150	12,7	16	650	1250	Vivax
	H321-B, Fuji	30	222	12,7	15	700	1200	Beridox
Betacam SP	BCT-20M, Sony	20	150	12,7	10	1500	2300	Me
	BCT-30M, Sony	30	222	12,7	10	1500	2300	Me
	BCT-60M, Sony	60	457	12,7	10	1500	2300	Me
	BCT-90M, Sony	90	670	12,7	10	1500	2300	Me
VHS	BK-30, СССР	30	44	12,7	20	500	1450	CrO <sub>2</sub>
	BK-60, СССР	60	88	12,7	20	500	1450	CrO <sub>2</sub>
	BK-180, СССР	180	258	12,7	20	500	1450	CrO <sub>2</sub>
	E-180, UHG Sony	180	258	12,7	20	650	1300	Vivax
	E-180 HC, Fuji	180	258	12,7	19	700	1200	Beridox
	NV-E30C30 C Panasonic	180	258	12,7	19,5	700	1200	CoγFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
VHS-C	E-XC-451, Faji	30	44	12,7	19	680	1200	DuRoBack
	NV-E30C30 C Panasonic	30	43,7	12,7	19,5	700	1200	CoγFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	L-830 HC, Sony	830	246	12,7	13	680	1250	Vivax
	L-500 XC351, Fuji	130	150	12,7	19	680	1250	DuRoBack
V8	P5-180, Sony	180	220	8,0	10	1500	2300	Me
MII	A-MPL 90 Panasonic	95	389	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 60 Panasonic	65	267	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 30 Panasonic	35	145	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 20 Panasonic	28	96	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 10 Panasonic	12	51	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 20 Panasonic	23	96	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 10 Panasonic	12	51	12,65	13,5	1500	2470	Me
	A-MPL 10 Panasonic	12	51	12,65	13,5	1500	2470	Me

зводило уменьшить размеры ВМ и видеокамеры. На барабане БВГ размещено шесть головок с азимутальным перекосом рабочего зазора, поэтому запись происходит без промежутков между строчками двухстрочным способом. Наклон зазоров головок яркостного канала  $15^\circ$ , канала цветности  $15^\circ$ . Натяжение магнитной ленты  $0,291 \pm 0,04$  Н. Кривизна магнитных строчек не более 10 мкм. В формате Liperlex сигналы яркости и цветности перед записью преобразуются по временному масштабу, что исключает перекрестные искажения между ними даже при частичном считывании соседней магнитной строчки. Предварительно подвергнутый коррекции сигнал Y поступает в линейный модулятор, затем ЧМ сигнал с помощью ПЗС преобразуется во временном масштабе в 1,5 раза и записывается на ленту. Цветоразностные сигналы R—Y и B—Y также поступают в линейный модулятор, затем с помощью ПЗС сжимаются во временном масштабе в 2 раза. Отношение коэффициентов расширения и сжатия соответствует отношению частотных полос сигналов Y и C, равному 3:1, что позволяет их записывать в одном канале, разное во времени.

Сигналы Y и C распределяются по двум параллельным магнитным строчкам так, чтобы информация в соседних строчках была однотипной. Для этого на магнитной строчке сначала записывается сигнал Y длительностью 1,5 Н, затем сигнал C длительностью 0,5 Н. На соседней строчке информация записывается аналогично. Это снижает перекрестные искажения, которые дополнительно уменьшаются из-за перекоса зазоров головок. Сдвиг первой пары головок, расположенных под углом  $180^\circ$ , относительно второй пары

головок составляет  $6,7^\circ$ , а пара стирающих головок опережает первую пару головок на угол  $60^\circ$ . Запись несегментная; ВМ совмещен с ТВ камерой KCF-1. Камера имеет генератор ВК, сигнал с которого записывается на продольную дорожку. Из этого сигнала выделяются составляющие частоты полукадров для САР и 12,5 Гц для монтажа. На двух нижних продольных дорожках записывают двухканальное звуковое сопровождение. Видеокамера KBF-1 имеет черно-белый видеоискатель, экран которого может быть использован для контроля записываемого сигнала. Записанные кассеты воспроизводят на ВМ BCF-9, имеющем каналы воспроизведения и преобразования сигналов. Воспроизводимые сигналы корректируются встроенным ЦКВИ. В комплект видеожурналистики входит монтажная система BCF-20, рассчитанная на подключение двух ВМ от видеокамер. Габариты этой системы  $250 \times 448 \times 555$  мм, масса 25 кг, потребляемая мощность 200 Вт.

В ВМ серии Betacam SP с компонентным способом записи применяется видеолента с металлизированным рабочим слоем на свертонковой основе (табл. 3.9.9).

В комплекты видеожурналистики, выпускаемые фирмами Sony и Ampex, входит видеокамера BVW-505, носимый ВМ BVW-35 и студийный ВМ BVW-75 (табл. 3.9.10). Видеокамеры имеют камерную часть с ПЗС матрицей (BVW-505 и CVR 505) или передающей трубкой на 2/3 дюймовых сатиконах (CVR-503). Последняя камера имеет систему автоматического диафрагмирования и фокусировки. В состав камер входит ВМ секция BVW-5, с помощью которого записываются по формату L изображение и звуковое сопровождение.

Таблица 3.9.10. Технические характеристики кассетных ВМ для видеожурналистики форматов МП и  $\beta$ -SP

Параметр	CVR-75 Ampex BVW-75 Sony $\beta$ -SP	KP-X800U JVC MII	CVR-35 Ampex BVW-35 $\beta$ -SP	KR-X400U JVC MII	CVR505 Ampex BVW-505 Sony $\beta$ -SP	KP-X200U JVC MII
Общие характеристики						
Назначение ВМ	Настольный, монтажный		Переносимый		Записывающий для ВК	
Масса, кг	30	43	6,8	6	3,3	3,3
Габаритные размеры, мм	$218 \times 427 \times 520$	$436 \times 265 \times 590$	$140 \times 296 \times 350$	$279 \times 127 \times 330$	$223 \times 242 \times 110$	$114 \times 229 \times 229$
Потребляемая мощность, Вт	210	300	28	30	13	15
Длительность записи, мин	94	90	34	90	34	20
Время перемотки, мин	3	3	3	5,5	3,5	5
Скорость движения ленты, см/с	11,86	6,77	11,86	6,77	11,86	6,77
Канал изображения						
Полоса частот, МГц, сигналов:						
Y	5,5	4,5	5,5	4,5	5,5	4,5
C	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
ОСШ, дБ, для сигналов:						
Y	48	49	48	49	48	49
C	50	50	50	50	50	50
ДУ, %	2	2	2	2	2	2
Звуковой канал (ЧМ запись)						
Полоса частот, кГц	20	20	20	20	20	20
ОСШ, дБ	85	72	85	72	85	72
Перекрестные помехи, дБ	65	60	65	60	65	60

Одновременно на продольную дорожку записывается и код VITS, вводимый в видеосигнал. Носимый ВМ BVW-35 питается от аккумуляторов и служит для проверки записей. ВМ BVW-75 (CVR-75) имеет широкие функциональные возможности, в том числе монтаж с пок кадровой точностью, замедленное и ускоренное воспроизведение, перезапись ТВ сигнала с одного ВМ на другой и на ВМ формата С. Применение сверхтонкой ленты позволило создать кассеты для непрерывной записи в течение 90 мин. Используя кассеты AU-MPL90 размером 188×106×25 мм и миниатюрные кассеты AU-MPS20 размером 130×87×25 мм, применив формат М II, формы JVC и Panasonic (Япония) выпустили аналогичные комплекты кассетных ВМ (табл. 3.9.10).

5. Прикладные и бытовые ВМ. Прикладные видеоманитофоны используют в замкнутых ТВС, применяемых в медицине, промышленности, в научных и учебных целях и т. д. Для прикладных ВМ характерно применение специальных органов управления и режимов работы.

«Кадр-10» — первый в СССР прикладной катушечный одноголовочный ВМ был создан для телефикации самолетов гражданской авиации, на котором в 1967 г. было записано цветное изображение системы СЕКАМ в узкой полосе частот. Он также использовался для записи изображений видеоискателей при создании кинофильмов (табл. 3.9.11).

«Малахит» и «Малахит-80» — одноголовочные ВМ, имеют горизонтальный ЛПМ с замкнутой петлей, конструкция корпуса рассчитана для работы в условиях влажности и вибрации. ВМ позволял записывать сигналы СЕКАМ без преобразований.

ВК 1/2 — двухголовочный ВМ, имел конструкцию, позволяющую использовать его либо как универсальный ВМ с сетевым питанием для записи и воспроизведения изображения, либо только для записи со съемным узлом батарейного питания. Хотя в ВМ применен диск с двумя вращающимися головками, изображение записывается одной головкой через полукадр с пропуском четных полукадров. В режиме воспроизведения обе головки воспроизводят одну и ту же магнитную строчку. Для восстановления чересстрочной развертки угол 180° между головками увеличен на величину, соответствующую длительности 1/2 Н, что позволило вдвое уменьшить расход ленты при небольшом ухудшении изображения.

ВМ-403 — двухголовочный ВМ, входит в состав ТВ комплекса «ВМ ЛОМО 403» совместно с черно-белой ТВ камерой «Взор», монитором (может быть заменен телевизором) и пультом дистанционного управления, который может быть вынесен на расстояние до 5 м. Это носимый ВМ, состоящий из корпуса с электронными блоками, ЛПМ и панелью управления с блоком коммутации сигналов ВКС. В корпусе размещены системы видеотракта, звукового сопровождения, САР-СЛ, САР-СД, синхронизации, счетчика длительности программы и электропитания. Механические узлы ЛПМ установлены на стальной плите, шарнирно закрепленной к корпусу, что облегчает ремонт. Валы подкатушников боковых узлов установлены на двух шарикоподшипниках и вращаются через ремённые передачи от электродвигателей ДПР-52. Арретированы они тормозными рычагами, которые отводятся электромагнитами.

Массовый выпуск бытовых ВМ был начат с на-

Таблица 3.9.11. Характеристики отечественных катушечных прикладных ВМ

Параметр	КАДР-10	ВК1/2	ВМ403	«Малахит-80»
Общие характеристики				
Способ записи <sup>1</sup>	ОГ	ДГ	ДГ	ОГ
Габаритные размеры, мм:				
высота	370	210	435	550
ширина	370	370	590	760
глубина	250	270	330	600
Масса, кг	32	18	38	68
Питание, В/Вт	220/150	220/100	220/150	220/250
Длительность записи, мин	45	90	60	80
Канал изображения				
Полоса частот, МГц	3	2,2	5	5,5
ОСШ, дБ	40	37	41	41
Дифференциальное усиление, %	—	—	—	10
Запись сигнала СЕКАМ	С переносом спектра	ч/б	Прямая	Прямая
Звуковой канал				
Полоса частот, Гц	63...10 000	63...10 000	63...14 000	40...12 500
ОСШ, дБ	45	38	45	42
Прочие				
Дистанционное управление	Нет	Нет	Да	Да
Время входа в синхронизм, с	—	—	—	2
Наличие режима «стоп-кадр»	Нет	Нет	Да	Да
Возможность монтажа программы	Нет	Нет	Да	Да
Скорость записи, м/с	17	11,2	11,23	20
Скорость ленты, см/с	19	9,53	23,375	16,5
Детонация, %	0,3	0,25	0,2	0,25
Ширина ленты, мм	25,4	12,7	12,7	25,4

<sup>1</sup> ОГ, ДГ — одно- и двухголовочный

Таблица 3.9.12. Характеристики отечественных катушечных бытовых ВМ (лента 12,7 мм)

Параметр	«Электроника 501»	«Электроника 502»	«Электроника 506»	«Электроника Л-1-08»	«Электроника 551»	«Электроника 591»
Общие характеристики						
Габариты, мм:						
ширина	260	420	420	410	410	410
глубина	290	340	340	282	282	282
высота	160	195	195	160	160	160
Масса, кг	12	15	15	10	12	9
Цвет	Ч/Б	Ч/Б	Ц	Ч/Б	Ц	Ц
Скорость ленты, см/с	16,32	14,29	14,29	7,8	7,8	7,8
Скорость записи, м/с	8,9	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
Время записи, мин	35	45	45	170	170	110
Источник питания	Батарея	Сеть	Сеть	Сеть	Сеть	Сеть
Канал изображения						
Четкость строк	250	250	220	220	220	220
ОСШ, дБ	40	40	40	40	40	40
Звуковой канал						
Число каналов	1	1	1	1	1	1
Полоса частот, Гц	63...10 000	100...10 000	100...10 000	100...10 000	100...10 000	100...10 000
ОСШ, дБ	40	40	40	38	38	38

чала 60-х годов. Первые модели были катушечными двухголовочными (табл. 3.9.12). Переход к кассетной конструкции ВМ, повышение технологичности и надежности электромеханических узлов, создание специализированных ИС и БИС, улучшение качества лент и головок привели к тому, что бытовые ВМ получили за рубежом весьма широкое распространение. В СССР в конце 70-х годов был начат выпуск ВМ с кассетами VCR (табл. 3.9.13). Появление в 80-х годах новых

Таблица 3.9.13. Характеристика отечественных бытовых кассетных ВМ формата VCR (система СЕКАМ)

Параметр	«Спектр-203»	«Орбита 501»	«Спектр-205»	«Сатурн 501»
Габариты, мм:				
ширина	450	300	550	318
глубина	340	300	340	269
высота	170	125	170	132
Масса, кг	16	10	16	16
Скорость движения ленты, см/с	14,29	14,29	3,947	14,29
Скорость записи, м/с	8,1	8,1	8,1	8,1
Время записи, мин	45	45	180	45
Питание	Сеть	Батарея	Сеть	Батарея
Четкость строк	250	250	250	250
ОСШ, дБ	38	38	40	40
Полоса частот, Гц	100...10 000	100...10 000	120...8000	100...10 000
ОСШ, дБ	40	40	36	40

типов магнитных лент и головок привело к созданию новых форматов для бытовой видеозаписи. Габариты кассет уменьшались, а длительность непрерывной записи возросла до нескольких часов. Наибольшее распространение в мире получили форматы VHS и  $\beta$  на ленте шириной 12,7 мм и V8 на ленте шириной 8 мм (табл. 3.9.14). Преимущественный выпуск в мире ВМ по формату VHS определил его выбор и для отечественной аппаратуры.

«Электроника ВМ-12» (СССР) формат VHS (рис. 3.9.16, рис. 3.9.17) использует плоские кассеты ВК с лентой на 60, 90 или 180 мин программы. Изображение записывается двумя вращающимися головками, имеющими взаимно наклоненные рабочие зазоры длиной 0,4 и шириной 50 мкм по формату VHS (рис. 3.9.18) БВГ диаметром 62 мм вращается с частотой 25 Гц и обхватывается лентой на угол более 180°, что обеспечивает перекрытие записи двух соседних полукадров. Магнитные строчки записываются на ленте без промежутков, но частичное перекрытие соседних строчек не приводит к перекрестным искажениям благодаря различному направлению их намагничивания и наклону рабочих зазоров воспроизводящих магнитных головок. При записи принята следующая расстановка частот для сигналов яркости: уровень белого 4,8 МГц, синхроимпульсов — 3,8 МГц. Верхняя боковая полоса ЧМ сигнала вследствие спада АЧХ почти полностью подавляется, а нижняя записывается в диапазоне частот 1,2...4,3 МГц. Так как записать сигналы цветности прямым путем невозможно, то их полоса сужается до 0,74 МГц, затем переносится в диапазон частот 0,36...1,1 МГц и суммируется с ЧМ сигналом яркости. Последний записывается с оптимальным током записи, а сигнал цветности — с уменьшенным на 20...22 дБ

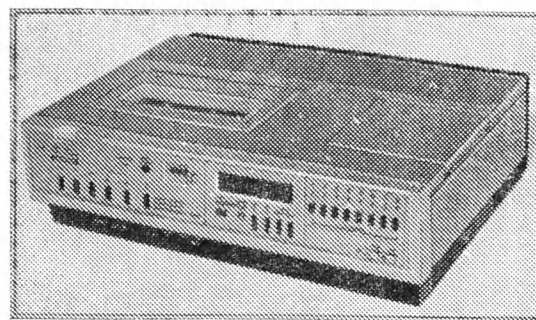


Рис. 3.9.16. Внешний вид бытового кассетного ВМ «Электроника ВМ-12»

Таблица 3.9.14. Характеристики бытовых кассетных ВМ

Параметр	ВМ-12 (СССР)	ВМ-15 (СССР)	ВМЦ 8220 (СССР)	SL-F105 (Япония)	EV-A80 (Япония)	HR-2200EG (Япония)	HR-D470 (Япония)
Формат записи	VHS	VHS	VHS	$\beta$ -HF	V8-DAV	VHS	VHS—HF
Габаритные размеры, мм	480×136× ×367	385×136× ×362	420×93× ×345	430×80× ×350	353×85× ×355	288×103× ×268	315×370× ×90
Масса, кг	10	8,5	6,6	7,3	6	5,2	7,3
Скорость ленты, мм/с	2,339	2,339	2,339	1,33	0,6(0,3)	2,339	1,11
Скорость записи, м/с	4,87	4,87	4,87	5,8	—	4,87	4,87
Ширина ленты, мм	12,7	12,7	12,7	12,7	8	12,7	12,7
Время записи, мин	180	180	240	240	540(1120)	180	180
Габаритные размеры кассеты, мм	188×104× ×25	188×104× ×25	188×104× ×25	156×96× ×25	95×62,5× ×15	188×104× ×25	188×104× ×25
Четкость строк	240	240	240	250	250	250	250
ОСШ, дБ	38	40	40	40	40	40	40
Число каналов	1	1	1	2+2*	2**	2	2+2 ЧМ
Полоса частот, Гц	100...8000	100...8000	100...8000	20...20 000	20...20 000	100...8000	20...20 000
Вид звукового со- провождения	Моно	Моно	Моно	Стерео	Стерео	Стерео	Стерео
ОСШ, дБ	38	40+80	40	40+80	90	40	40+80
Наличие:							
замедления	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да	Да
стоп-кадра	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да	Да
дистанционного управления	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Да

\* Частотно-модулированные.

\*\* Цифровые.

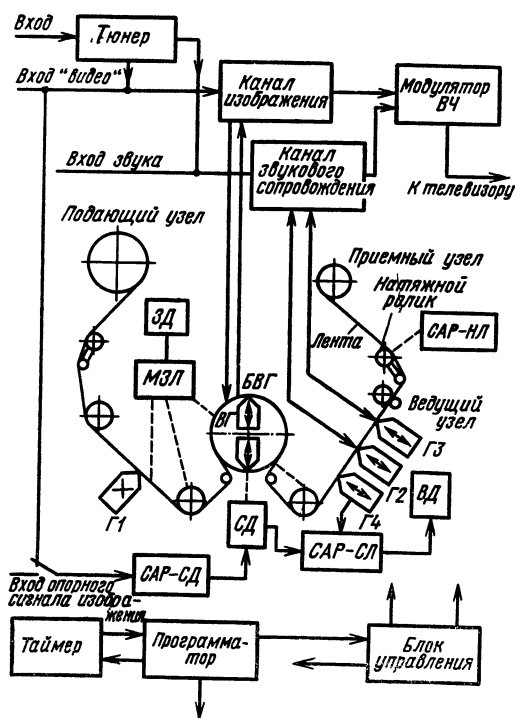


Рис. 3.9.17. Структурная схема бытового ВМ

током, с тем, чтобы не возникали перекрестные искажения. Системы АРУ канала записи поддерживают постоянными уровни сигналов. При воспроизведении считываемые с ленты сигналы усиливаются, разделяются фильтрами, ЧМ сигнал яркости демодулируется, а

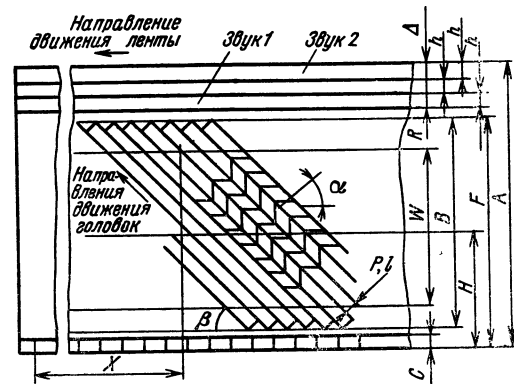


Рис. 3.9.18. Размер и расположение дорожек в формате VHS

сигналы цветности переносятся в диапазон частот 3,8... 4,54 МГц, суммируются с сигналом яркости и поступают на выход ВМ. Звуковой сигнал записывается на продольные дорожки блоком неподвижных головок с ВЧ подмагничиванием. Лента предварительно стирается неподвижной стирающей головкой.

Основные параметры бытовых видеомagneтофонов формата VHS

Ширина ленты A, мм	12,65±0,01
Скорость ленты, мм/с	23,39±0,3
Диаметр барабана БВГ, мм	62±0,01
Скорость головки—лента, м/с	4,85
Ширина поля видеозаписи B, мм	10,6
Расстояние между базовым краем ленты и серединой поля записи H, мм	6,2
Ширина видеострочки, мм	0,040
Шаг записи p, мм	0,049
Ширина дорожек C, мм:	
управления	0,75
звука	0,35

Расстояние, мм, между:	
дорожками звука . . . . .	0,3
базовым краем ленты и поле звуко-	
записи $F$ . . . . .	11,65
Угол $\beta$ , град:	
подъема ленты по БВГ . . . . .	5 (56''7,4'')
динамический между базовым краем	
ленты и строчной записи . . . . .	5 (57'50,3'')
азимутального наклона рабочих за-	
зоров видеоголовки . . . . .	$\pm 6 \pm 10$
Расстояние между концом строчки	
записи и положением соответствующ-	
его ей сигнала управления $X$ , мм	79,244
Натяжение ленты, $H$ . . . . .	0,35 ... 0,45

Основной узел — ЛПМ — снабжен устройством для автоматической заправки ленты. В состав ЛПМ (рис. 3.9.19) входит плата с подающим 14 и приемным 10 узлами, на которых установлена кассета 11 (на ри-

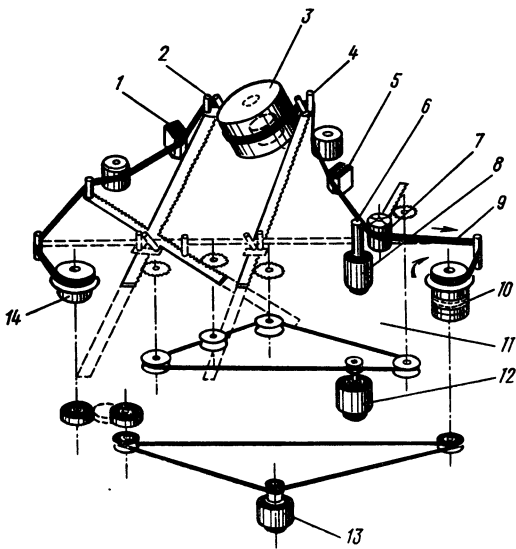


Рис. 3.9.19. Кинематическая схема бытового ВМ

сунке снята). При установке кассеты в контейнер запорного устройства свободный участок ленты 9 между подающей и приемной катушками располагается в окне кассеты 11, в которое также входят два рычага с направляющими 2 и 4. При заправке рычаги перемещаются в полукруглых пазах с помощью электродвигателя 12 и подводят ленту к поверхности БВГ 3, причем лента обхватывает БВГ на угол более 180° и плотно садится своим нижним краем на витовую направляющую нижней неподвижной цилиндрической направляющей БВГ. Благодаря тому, что перемещение рычагов с подвижными направляющими не превышает 80 мм, время заправки мало и лента не деформируется. В тракт ЛПМ также входят ведущий вал 6 и прижимной ролик 7, причем при установке кассеты 11 лента должна попадать в зазор между ними, что и происходит при вертикальном перемещении контейнера. В конце заправки лента прижимается рабочим слоем к БВГ, стирающей головке 1 и блокам стационарных звуковых головок 5. БВГ состоит из верхней вращающейся части, на которой установлены две универсальные видеоголовки, двухканальный токосъемник и таходатчик, и нижней неподвижной части, внутри которой размещается ведущий электродвигатель 8. Одновременно с началом работы электродвигателя заправки 12 питающее напряжение поступает на ведущий электродвигатель 8 и на БВГ. Поэтому к концу заправки они набирают требуемые обороты и ЛПМ готов к работе. Можно перематы-

вать ленту вперед и назад, но при этом лента удаляется из тракта ЛПМ и перемотка ведется электродвигателем боковых узлов 13. В режиме «стоп-кадр» можно остановить запровавленную в тракт ленту при сохранении номинального натяжения.

Канал изображения ВМ «Электроника ВМ-12» (рис. 3.9.20) имеет на входе блок АРУ 1 и ФНЧ 2 с

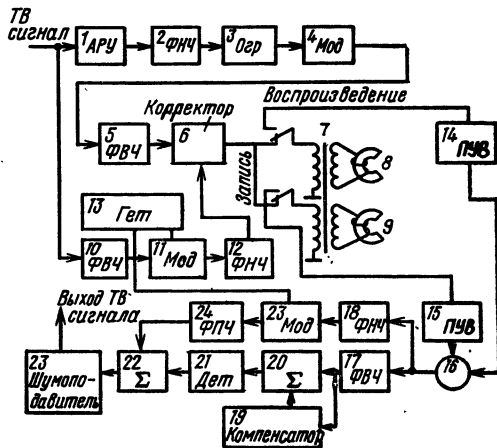


Рис. 3.9.20. Структурная схема канала изображения ВМ «Электроника ВМ-12»

полосой пропускания 2,5 МГц. Далее ВС через ограничитель, срезающий пики белого, подается на модулятор 4, где модулирует несущую. Через ФВЧ 5, подавляющий частоты ниже 1,2 МГц, ЧМ сигнал поступает в блок предкоррекции 6, в котором усиливаются сигналы ВЧ частот и суммируются с сигналом цветности, перенесенным в НЧ область. Суммарный сигнал через токосъемник 7 подается на головки 8 и 9 и записывается на ленту. Сигнал цветности ограничивается по полосе частот фильтром 10 и модулирует несущую гетеродина 13 в балансном модуляторе 11. Высокочастотные составляющие выходного сигнала модулятора задерживаются фильтром ФНЧ 12, а полезные НЧ составляющие проходят через фильтр и поступают в блок 6. При воспроизведении ЧМ сигналы с выходов головок проходят усилители 14 и 15, после чего поочередно суммируются в сумматоре 16 в соответствии с сигналом таходатчика БВГ. В усилителях производится частотная коррекция ЭДС головок, а в сумматоре 16 запирается канал, головка которого не воспроизводит. На выходе сумматора 16 ЧМ сигнал яркости выделяется в ФВЧ 17, а сигнал цветности — в ФНЧ 18. В канал ЧМ сигнала яркости включает сумматор 20, на вход которого поступает либо прямой сигнал, либо сигнал от компенсатора выпадений, задержанный на 1 ТВ строку. Компенсатор выпадений 19 состоит из детектора выпадений, анализирующего размах ЧМ сигнала, и ЛЗ 13. При уменьшении размаха ниже заданного порога (—16 дБ) детектор подключает к сумматору 20 сигнал с выхода ЛЗ. Если длительно выпадения больше 1 ТВ строки, то в компенсаторе циркулирует сигнал по несколько раз, причем канал цветности блокируется. Далее сигнал яркости ограничивается и демодулируется в блоке 21, проходит ФНЧ 22 с полосой 3 МГц и суммируется с сигналом цветности. Обратный перенос сигнала цветности, отфильтрованного ФНЧ 18, производится с помощью балансного модулятора 23, на который поступает частота гетеродина 13. Выходной сигнал модулятора 23 через ФПЧ 24 поступает в сумматор 22. Затем воспроизводимый сигнал проходит шумоподавитель 23 и подается на выход ВМ. Канал изображения ВМ позволяет записывать и воспроизводить сигналы цветности системы ПАЛ, для чего в нем предусмотрена

ФАПЧ гетеродина по вспышкам поднесущей цветности на строчках гасящих импульсов. В электронных блоках канала изображения широко используются БИС серии КР 1005, разработанной для отечественной бытовой видеозаписывающей техники. «Электроника ВМ-12» имеет две замкнутые системы автоматического регулирования: САР-СД стабилизирует частоту и фазу вращения БВГ, а САР-СЛ — скорость движения ленты. Принцип их построения одинаков. Исполнительным элементом САР-СД (рис. 3.9.21) служит бесконтактный двига-

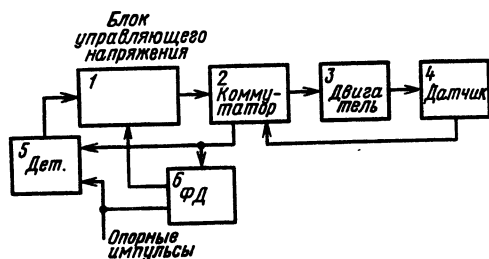


Рис. 3.9.21. Структурная схема системы авторегулирования ВМ «Электроника ВМ-12»

тель постоянного тока 3. Индуктивный датчик 4 положения ротора задает частоту переключения коммутатора, подключающего обмотки статора к источнику управляющего напряжения 1. В коммутаторе 2 формируются импульсы датчика 4, которые сравниваются с опорными импульсами по частоте и фазе в частотном и фазовом детекторах. Использование в БВГ бесколлекторного двигателя вызвано тем, что в нем отсутствуют помехи от щеток на близко расположенные головки, хотя такие двигатели имеют более высокую стоимость и более сложную конструкцию. Исполнительным элементом САР-СЛ служит коллекторный двигатель постоянного тока, частота и фаза вращения которого определяются по фазе импульсов таходатчика, закрепленного на оси ротора. Питающее напряжение через блок управления поступает на двигатель, изменяя частоту вращения ротора. В режиме записи импульсы таходатчика сравниваются в частотном и фазовом детекторах с кадровыми импульсами входного сигнала, записываемыми на ленту по каналу управления. При воспроизведении они считываются с ленты и поступают в САР-СЛ вместо опорных. В ВМ предусмотрена ручная установка фазы при воспроизведении с целью лучшего совмещения воспроизводящей головки с магнитной строчкой.

В бытовых ВМ имеется ряд устройств, обеспечивающих удобства при эксплуатации. Кассеты в ВМ устанавливаются с помощью контейнера (в ВМ «Электроника ВМ-12» он имеет горизонтальную конструкцию), который автоматически выбрасывает кассету после нажатия клавиши «Подъем кассеты». Так как влажность воздуха повышает трение ленты о поверхность БВГ, то ее избыток может привести к повреждению ВМ, поэтому индикатор влажности автоматически отключает все системы ВМ при превышении допустимой нормы. Счетчик расхода ленты служит для поиска требуемого участка программы. Для удобства записи эфирных ТВ программ в состав ВМ включены тюнер и таймер с программатором. Тюнер — это приемная часть телевизора, рассчитанная на прием передачи по шести каналам. Таймер — это электронные цифровые часы с установкой времени. Программатор позволяет заранее установить время начала и конца записи ТВ передачи. Устройство, запускаемое таймером, автоматически включает ВМ в режим записи на время, установленное в программаторе. К телевизору ВМ можно подключить двумя способами. Если телевизор имеет только антенный вход, то на него подают сигнал от ВМ через ВЧ модулятор. При

этом используется незанятый эфирными ТВ программами канал. Подобный способ прост и удобен для потребителя, но приводит к дополнительным искажениям из-за процессов модуляции и демодуляции сигналов изображения и звука. Второй способ сопряжения ВМ с телевизором возможен непосредственно по ВС и звуковому сигналу. Для этого в телевизоре должно быть сопрягающее устройство (например УС-2), которое обеспечивает передачу и коммутацию сигналов в режимах записи и воспроизведения.

**Бытовые видеоманитофоны:**

**HR-D-470** (формат VHS-HF фирма JVC) — ВМ отличается компактностью, малой массой и возможностью записи высококачественного звука в полосе частот 20...20 000 Гц с ОСШ  $\leq 90$  дБ. Такие значения при низкой скорости ленты были достигнуты благодаря применению для записи звука вращающихся головок. Габариты ВМ снижены благодаря вертикальной системе заправки ленты, при которой кассета вставляется боком. БВГ имеет четыре головки для канала изображения — две для записи и воспроизведения с номинальной скоростью, две для воспроизведения в режиме стоп-кадр, замедления, ускорения (до трехкратного). Две отдельные вращающиеся звуковые головки с широким рабочим зазором предназначены для записи стереозвукового сопровождения (левый канал записывается поднесущей частотой 1,3, правый 1,7 МГц). Сигнал записывается этими головками в нижнем слое ленты, в то время как изображение записывается в поверхностном слое ленты. Оснащен ВМ системой обработки воспроизводимого сигнала, которая повышает четкость изображения и уменьшает помехи, используя кадровую память на ПЗС структурах.

**SL-F 105** (формат  $\beta$ , фирма Sony) — использует две головки для записи изображения и звука и две дополнительные головки для воспроизведения изображения в режимах стоп-кадр, замедления и ускорения, причем переход на воспроизведение дополнительными головками — автоматический при возникновении шумовой помехи из-за схода головки с магнитной строчки. Стереозвуковое сопровождение записывается вращающимися головками путем модуляции двух поднесущих для левого канала и двух — для правого; поднесущие размещаются между ЧМ сигналом яркости и перенесенными в область НЧ сигналами цветности. Пульт дистанционного управления с инфракрасным каналом беспроводной связи позволяет управлять ВМ как в основных, так и в монтажных режимах. Три микропроцессора обеспечивают работу всех автоматических систем ВМ и их диагностику.

**HR-2200 EG** (формат VHS-HF, фирма JVC) — переносимый ВМ, имеет небольшие размеры и массу, но по функциональным возможностям не уступает аппаратуре видеожурналистики. Имеет автоматическое согласование начала новой программы с концом предыдущей.

**EV-A80** (формат Hi8-DAV, фирма Sony) — использует кассету с металлизированной лентой толщиной 9 мкм, рабочим слоем 3 мкм и обратным слоем 1 мкм; БВГ обхватывается лентой на угол 221°. На части магнитной строчки, соответствующей углу поворота головки 180°, записывается изображение, а на остальной части — звук в цифровой форме. Перед записью левый и правый стереозвуковые сигналы подаются в АЦП и преобразуются в цифровые потоки с частотой квантования 44,1 кГц при 16 уровнях. После суммирования цифровой поток поступает в промежуточную память объемом, соответствующим длительности полукадра, затем компрессуется и поступает в каналный кодер. При записи головки поочередно коммутируются и записывают ЧМ сигнал изображения и каналный цифровой код звукового сопровождения. При воспроизведении те же головки воспроизводят ЧМ сигнал и каналный код, которые разделяются: ЧМ сигнал демодулируется и ВС поступает на выход ВМ, а цифровой сигнал перекоди-

руется и подается в промежуточную память. Затем цифровые потоки разделяются, расширяются во времени и в двух ЦАП преобразуются в аналоговые стереозвуковые сигналы. ВМ имеет систему автотрекинга, для работы которой на каждой магнитной строчке поочередно записываются пилот-сигналы с частотами 101; 117,2; 162,8 и 146,2 кГц. При воспроизведении сигналы этих частот выделяются и вычитаются один из другого. Их разность при сходе головки со строчки вправо составляет 16, а влево — 45 кГц, что используется для выработки сигнала управления головками автотрекинга. Формат HiV8-DAV бытовой видеозаписи рассчитан на работу при двух скоростях магнитной ленты. На скорости 3 мм/с время непрерывной записи на одной кассете достигает 18 ч.

Некоторые бытовые ВМ оснащаются сервисным устройством, исключающим использование посторонними лицами: для включения ВМ необходимо набрать определенный код, в противном случае кассета блокируется и ее изъять можно только в специальном ателее.

Дальнейшее развитие бытовой видеозаписи связано с внедрением полностью цифровых методов обработки сигналов перед записью и после воспроизведения при сохранении аналогового способа записи как более экономичного.

**3.9.2. Видеозапись на диски.** Запись информации на диск и ленту развивается параллельно. Так как при видеозаписи информационный поток значительно больше, чем при звукозаписи, на первых порах лента имела преимущество по объему записываемой информации. По мере повышения плотности записи информации и особенно с развитием оптических способов диск как носитель записи приобретает все большее распространение в силу двух основных преимуществ: быстрый доступ к требуемой информации, малые габариты и удобное хранение. В настоящее время дисковые носители широко используются в телевидении в устройствах повтора и замедления, в бытовых видеопроигрывателях, в устройствах долговременной памяти и т. д.

Магнитная запись обладает высокой оперативностью, так как позволяет перейти к воспроизведению практически немедленно после записи, причем воспроизводить записанные дорожки как в нормальном, так и в замедленном темпе, вперед или назад.

Дисковый ВМ обычно использует два двусторонних диска и четыре магнитные головки. Диск представляет собой металлическую пластину из алюминиевого сплава диаметром 400 мм, покрытую слоем магнитного материала — никель-кобальта и защищенную тонким слоем твердого защитного покрытия — родия, предохраняющего диск от истирания головками. Рабочая поверхность диска тщательно шлифуется. Запись и воспроизведение ведутся ферритовыми головками, имеющими систему подвески, позволяющую точно подводить головку к диску и быстро ее перемещать в радиальном направлении в режимах поиска. Сигнал изображения записывается так же, как в ленточных ВМ с частотной модуляцией, но окружная линейная скорость зависит от радиуса и меняется в пределах 20...50 м/с, что позволяет записать на диск спектр частот до 15 МГц. Запись, воспроизведение и стирание производятся соответствующими головками, управляемыми программным устройством. Эффект замедления создается путем воспроизведения каждого полукадра по несколько раз.

В аппарате для повтора и замедления сюжетов HS-100 фирмы АМПЕКС, США (рис. 3.9.22) входной сигнал подается на модулятор 13, где он преобразуется в ЧМ сигнал и через коммутатор 11 поочередно поступает на усилители записи 10А—10Г и далее в головки. Переключаются головки синхронно с кадровыми синхросигналами, подаваемыми на блок управления 2. Коммутатор 11 переключает режимы записи, воспроизведения и стирания. Когда одна из головок, например А, записывает, головка В стирает ранее записанный сигнал,

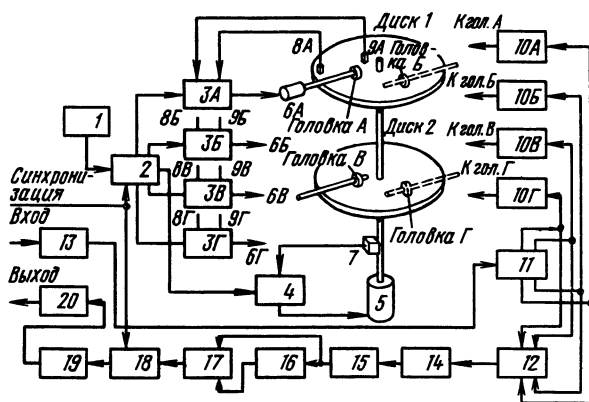


Рис. 3.9.22. Структурная схема аппарата для повтора и замедления сюжетов HS-100

а головки В и Г с помощью шаговых двигателей 6 перемещаются на следующую строчку записи. Каждая дорожка представляет собой окружность, на которой записан один полукадр изображения. Устройство привода головок 3 формирует импульсы, управляющие шаговыми двигателями 6А—6Г, причем направление перемещения по радиусу диска определяется концевыми датчиками 8А—8Г или 9А—9Г. При перемещении от края к центру каждая головка записывает поочередно 230 строчек. После срабатывания внутреннего концевового датчика 9 шаговый двигатель начинает перемещать соответствующую головку скачками к внешнему краю диска, и она записывает 229 строчек, располагающихся между записанными ранее. При срабатывании внешнего концевового датчика 8 головка начинает вновь перемещаться к центру диска. Максимальное время записи 36 с, т. е. на четырех рабочих поверхностях двух дисков записываются 1800 полукадров. Оба диска укреплены на валу электродвигателя 5, управляемого системой автоматического регулирования частоты вращения дисков 4, синхронизируемой от опорного синхрогенератора 1.

При остановке дисков головки автоматически поднимаются и выводятся за рабочую поверхность дисков. Для синхронизации дисков по фазе используют сигнал таходатчика 7. Воспроизводимый сигнал через усилитель 10 поступает на коммутатор 12, на выходе которого формируется непрерывный сигнал, поступающий в корректор 14. В нем корректируется АЧХ с целью компенсации изменения относительной скорости головки/диск вдоль радиуса магнитной строчки. Затем сигнал подается в ограничитель и демодулятор 15. Поскольку при повторном воспроизведении полукадра в режиме замедления нарушается чересстрочная развертка, то для ее восстановления в канал изображения коммутатором 17, управляемым сигналом переключения головок, автоматически включается ЛЗ на половину ТВ строки 16. Затем видеосигнал поступает на корректор временных искажений 18, корректирующий неравномерность частоты вращения диска, инвертор цветности 19, восстанавливающий фазу сигнала цветности в соответствии со стандартом системы СЕКАМ, и систему обработки 20. Выбор режима работы ВМ и поиск фрагмента программы осуществляются с помощью пульта режиссера. Пульт имеет встроенный секундомер, показывающий длительность замедленного фрагмента, и набор кнопок для управления скоростью повтора сюжета. Основным недостатком дисковых ВМ с магнитной записью — низкая поверхностная плотность записи и сложность, поэтому и применяют их только для профессиональных целей.

Оптическая запись. Оптическая запись сигналов на диск отличается бесконтактным способом воспроизведения информации с помощью светового луча,





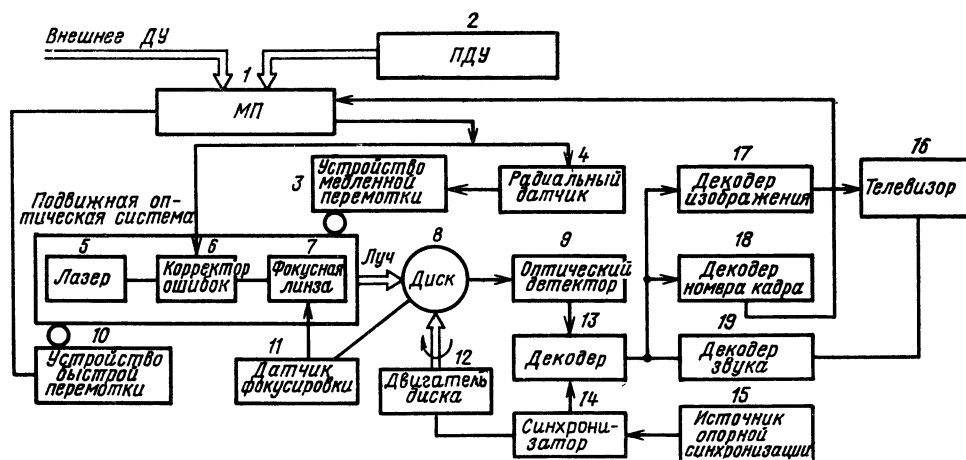


Рис. 3.9.24. Структурная схема оптического видеопроигрывателя

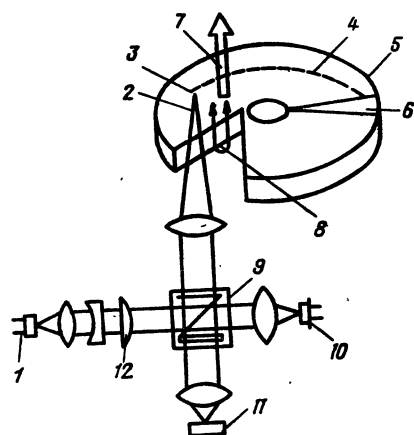


Рис. 3.9.25. Схема оптической системы с реверсивным диском (1, 10 — лазеры, 2 — луч лазера, сфокусированный на диске, 3, 4 — записываемая информация, 5 — диск, 6 — участок обратного покрытия, 7 — направление нагрева, 8 — обмотка, 9 — расщепляющая оптическая система, 11 — фотоприемник)

структуру поверхности, имеющую хорошую отражательную способность, в аморфную, имеющую низкую отражательную способность. Обратный процесс происходит при стирании записи путем нагрева носителя лучом лазера большей мощности. После покрытия диска светочувствительным слоем его сверху покрывают тонким защитным слоем, предохраняющим диск от пыли и загрязнений. Для записи и воспроизведения используют лазер с длиной волны 0,8 мкм; лазерный луч образует световое пятно диаметром 0,8 мкм. Мощность излучения при записи 8 мВт, при воспроизведении 1 мВт. Для стирания используют второй лазер с длиной волны 0,78 мкм, мощностью 10 мВт. Для обоих лазеров служит одна и та же фокусирующая система, что позволяет стирание и запись сделать почти одновременно, а всю систему компактной. Объем информации, записываемой на диске диаметром 200 мм, составляет 1 Гбайт. Реверсивные диски очень удобны для записи как аналоговой, так и цифровой ТВ информации и их будут широко применять в ТВ вещании.

К преимуществам видеодисков с оптическим воспроизведением следует отнести практически полное отсутствие износа, неограниченное время стоп-кадра и возможность автоматического слежения за строчкой, что исключает искажения, возникающие при магнитной записи во время схода головки с магнитной строчки.

Емкостные видеодиски отличаются от оптических тем, что для их воспроизведения применяют более простой и дешевый, чем лазер, емкостный видеосниматель; поэтому они получили распространение в основном в бытовой видеозаписи. Эффект считывания информации с емкостного диска основан на том, что при контактировании видеоснимателя с поверхностью поливинилхлоридного (с добавкой углерода) электропроводного диска, на котором имеются углубления, образуется емкостная связь, изменяющаяся в зависимости от рельефа канавки. Переменная составляющая этой емкости, образующаяся при вращении диска, несет информацию об изображении и звуке. Для бытовых целей применяют видеодиски системы CED фирмы RCA США и системы VHD фирмы JVC Японии.

#### Основные характеристики емкостных дисковых систем видеозаписи CED и VHI

Процесс изготовления диска	Прессование	—
Способ записи . . . . .	Механический	Лучом лазера
Способ воспроизведения . . . . .	Емкостный	—
Способ ведения видеоснимателя . . . . .	Диском	Принудительный, механизм
Диаметр диска, мм . . . . .	300	260
Материал диска . . . . .	Электропроводный полимер	
Число кадров за оборот диска . . . . .	4	2
Продолжительность записи, мин . . . . .	60	60
Замедление . . . . .	Нет	Да
Стоп-кадр . . . . .	Нет	Да
Число оборотов диска в мин . . . . .	450	900
Размер микроуглублений, мкм, для:		
изображения . . . . .	2,6±0,085	0,3±0,08
звука и слежения . . . . .	2,6±0,008	0,12±0,35
Число звуковых каналов . . . . .	2	2
ОСШ по звуку, дБ . . . . .	45	47

В системе CED звуковая и видеoinформация наносится на диск механическим путем в виде поперечных щелей волнообразной формы в очень мелкие V-образные канавки (рис. 3.9.26, а). При воспроизведении в канавку диска 3 входит алмазная игла 2 с металлической пластинкой 1. Между пластинкой и проводящей поверхностью диска расстояние меняется в соответствии с глубиной канавки, что приводит к изменению емкости при

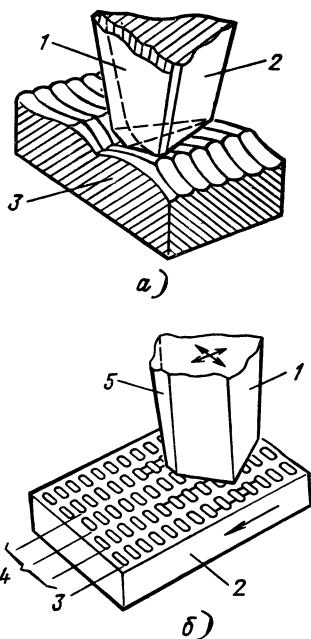


Рис. 3.9.26. Изображение алмазной иглы на сегменте видеодиска системы CED и VHD

вращения диска. Видеосниматель по радиусу диска перемещается механически, как в грампластинке, что обуславливает износ диска и иглы при проигрывании. Число проигрываний — до 500, причем на качестве изображения сильно сказываются царапины и пыль.

В системе VHD информацию о звуке и изображении записывают на диск лазерным лучом в виде микроуглублений (рис. 3.9.26, б). Для воспроизведения используют алмазную иглу 1 с электродом 2, которая касается только поверхности диска 3 и перекрывает несколько микроуглублений. По поверхности диска игла перемещается электромеханической системой, охваченной авторегулированием, а микрослежение за дорожкой осуществляется отдельной системой, которая для управления использует сигналы, записанные между дорожками. Отказ от механического ведения по канавке повышает число проигрываний до 2000. Видеопластинки VHD с записью часовой программы с каждой стороны вводят в видеопроигрыватель в защитном чехле. Диск автоматически центрируется на планшайбе, а чехол вынимается. Проигрывателем управляют путем ввода команд от пульта в микропроцессор, который сам организует его работу в режиме поиска фрагментов и воспроизведения. Поиск осуществляется с 60-кратной скоростью вперед и назад, а стабилизация кадра происходит за 0,3 с. Система VHD обеспечивает воспроизведение с разными скоростями, поэтому ее возможности не отличаются от оптических систем, а скорость видеопроигрывателя значительно ниже.

### 3.9.3. Запись ТВ изображений на киноленту:

1. Методы и общие вопросы записи. Методы записи ТВ изображений на киноленту (К) делят на три основные группы: запись с экрана кинескопа (или экранов), запись с использованием излучения лазеров (Л), запись цветоделенных изображений электронным пучком в вакууме. Здесь рассмотрены наиболее перспективные методы: запись с экранов трех кинескопов с красным, зеленым и синим люминофорами и с помощью излучения трех Л аналоговых цветов. Более подробно с методами записи ТВ изображений на К, их особенностями и характеристиками можно ознакомиться в [1—7]. В процессе записи выполняется преобразование ТВ сигнала в оптическое или электронное

изображение, перенос его на движущуюся К и экспонирование последней. Аппаратура записи на К представляет собой комплекс элементов ТВ и кинотехники и содержит видеоканалы, кинескопы или лазеры, отклоняющие устройства, оптические системы, источники питания, лентопотяжные механизмы (ЛПМ) при плавном перемещении К или киносьемочные аппараты (КА) при прерывистом перемещении К. ТВ изображения записывают на К различных видов: негативные, позитивные, обратимые, промежуточные негативы шириной 16 или 35 мм. Важнейшими характеристиками цветных К являются: фотографическая ширина, светочувствительность, форма кривых спектральной чувствительности отдельных слоев, гранулярность и ЧКХ. Дифференцированное по цвету изображение образуется в отдельных слоях К при экспонировании излучением с длинами волн 640...670 нм для красного, 530...550 нм для зеленого, 400...440 нм для синего. Люминофоры и Л должны излучать в пределах, указанных диапазонов волн, а ОС — пропускать в пределах 400...700 нм. На построение аппаратуры записи влияют следующие различия ТВ и кинематографических систем: разное время смены кадров: 1,5...1,6 мс в ТВ системе и 20...22 мс в кинематографической; разная частота смены кадров: 25 Гц в ТВ системе и 24 кадр/с в кинематографической. Первое и наиболее серьезное различие связано с проблемой перемещения К, которое может быть прерывистым или плавным. Прерывистое перемещение за 1,5...1,6 мс реализовано только для 16-мм К. При использовании 35-мм К применяют цифровые методы обработки ТВ сигналов. С их помощью чересстрочный сигнал преобразуют в сигнал с строчным разложением и той же частотой кадров, но с увеличенной длительностью кадрового гасящего интервала. Это позволяет использовать ЛПМ или КА, у которых время перемещения К удалось снизить до 4...4,5 мс. Перспективным является способ понижения строчной и кадровой частот путем замедленного воспроизведения сигналов изображения, записанных на магнитной ленте.

В видеоканале ПТВС декодируют на составляющие  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$ , далее, как правило, матрицируют эти составляющие для предкоррекции цветоделительных искажений в отдельных слоях цветных К, вводят  $\gamma$ -апертурную и другие виды коррекции, например понижение уровня шумов. Показатель степенной функции  $\gamma$  выбирают таким, чтобы результирующее его значение «от света до света» составляло 1,1...1,2. На практике часто используют нелинейные участки характеристик кинескопов, модуляторов света, К. Поэтому на нижнем участке передаточной характеристики корректора значение  $\gamma=0,5...1$ , в центре  $\gamma=1$ , на верхнем участке  $\gamma>1$ . Уровень апертурной коррекции выбирают на основе компромисса между улучшением четкости и заметностью шумов. Для коррекции и обработки сигналов широко применяют цифровые методы с использованием программ, учитывающих характеристики источников сигнала и К, что позволяет устанавливать и повторять характеристики с большей точностью, чем при использовании аналоговых методов.

К основным характеристикам устройств записи относят значение пространственной частоты, на которой ЧКХ имеет определенные уровни, например 50%, ОСШ, цветопередачу, динамический диапазон и ширину К. Наилучшие результаты достигнуты при записи сигналов ТВВЧ излучением Л на цветную позитивную К шириной 35 мм и составляют для первых двух характеристик 800 ТВЛ и 64 дБ; цветопередача, оцениваемая экспертным способом, не уступает изображению при непосредственной съемке или даже превосходит его. Динамический диапазон обычно выбирают в пределах 1,6...1,85 единиц плотности, причем исключительно большое значение придают постоянству начальной и максимальной плотностей.

2. Запись с экранов трехцветных кинескопов (рис. 3.9.27).

Полный ТВ сигнал (ПТВС)  $U_n$  декодируют в бло-

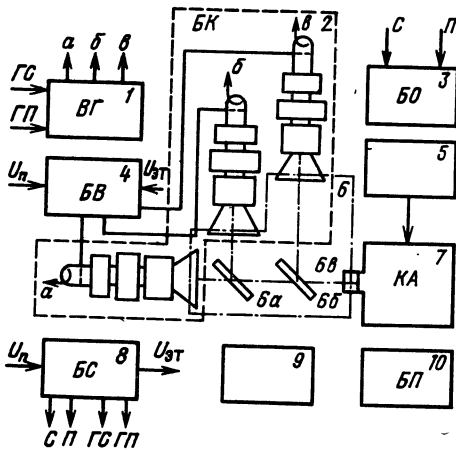


Рис. 3.9.27. Структурная схема аппаратуры записи с экранов трех кинескопов на киноплёнку: (1 — блок гашения, 2 — блок кинескопов, 3 — блок отклонения луча, 4 — блок видеоканала, 5 — блок привода, 6 — оптическая система, 7 — киносъёмочный аппарат, 8 — блок синхронизации, 9 — блок контроля, 10 — блок питания)

ке 4 на составляющие  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$ , которые после обработки и усиления модулируют кинескопы с красным, зеленым и синим люминофорами. Изменение значений яркостей кинескопов от начальных до максимальных ОС 6 линейно преобразует в изменение освещенностей на К. Растры формируют блоком отклонения луча 3. Кинескопы с ФОС устанавливаются в блоке 2 так, что их растры составляют часть ОС 6. В последнюю входят также дихроические зеркала 6а и 6б, которые совмещают три изображения, и объектив 6в, фокусирующий изображение на К. Объективы обычно применяют светосильные, репродукционные с коэффициентом пропускания 400...700 нм. Каждый кадр К экспонируется изображением ТВ кадра. Блок привода 5 управляет двигателем КА 7 и обеспечивает синхронное и синфазное с частотой ТВ кадров перемещение К. Блок контроля 9 является фотоэлектрическим прибором, которым измеряют начальные и максимальные яркости на экранах кинескопов. Блок гашения 1 запирает лучи кинескопов на обратном ходу и устанавливает начальную яркость экранов на прямом. Блок синхронизации 8 формирует из ПТВС синхронизирующие импульсы строк и полей (кадров) С и П, гасящие импульсы строк и полей (кадров) ГС и ГП и эталонные сигналы  $U_{ЭТ}$  для установки яркости кинескопов.

Кинескопы, применяемые в устройствах записи, имеют угол отклонения не более 40...50° и планшайбу из плоского полированного стекла. К основным характеристикам кинескопов относят ЧКХ, яркость экрана, его шумы, временные и спектральные характеристики излучения люминофора, анодное напряжение. Так как оно составляет 25...29 кВ, то в устройствах записи вводят защиту от рентгеновского излучения. Перспективным является применение нового класса кинескопов с монокристаллическими люминесцентными экранами. Формирование электронного пятна малых размеров с высокой плотностью электронов и его отклонение осуществляются с помощью ФОС, в которую входят также катушки динамической фокусировки, центровки электронного луча и катушки для придания пятну вытянутой по вертикали эллиптической формы с целью устранения строчной структуры и увеличения светоотдачи экрана. Катушки, статически управляющие лучом, должны питаться от источников постоянного тока с нестабильностью не выше  $\pm 0,2\%$  при изменении сопротивления нагрузки на 25%. Вместо них в ряде случаев применяют электронные линзы с управляемыми постоянными магнитами.

Точность совмещения трех изображений должна составлять 0,001 размеров раstra. Это обеспечивается точностью изготовления ОС, применением по одному генератору строчной и кадровой разверток, которые нагружают на соответствующие триады отклоняющих катушек, наличием отдельных регулировок размеров и центровок каждого раstra, использованием общего источника анодного напряжения для трех кинескопов. Постоянство начальной и максимальной плотностей обеспечивают стабилизацией режимов записи и обработки К, параметров блоков, особенно блоков питания. Под режимом записи понимают значения начальной и максимальной яркостей кинескопов, которые были выбраны в процессе отработки этого режима. Яркости устанавливают с помощью блока 9 по сигналу  $U_{ЭТ}$ , подаваемому из 8 на 4. Усилители блока гашения 1, подсоединяемые обычно к катодам кинескопов, должны иметь малое выходное сопротивление, на котором ток катода кинескопа не создавал бы дополнительного смещения, изменяющего яркость экрана. Нестабильность напряжения накала кинескопов должна быть не более  $\pm 0,2\%$  при любых колебаниях напряжения сети, а высокого напряжения — не более 0,5% при изменении тока кинескопа от максимального до минимального значения.

3. Запись модулированным излучением трех лазеров (рис. 3.9.28). Узконаправленные

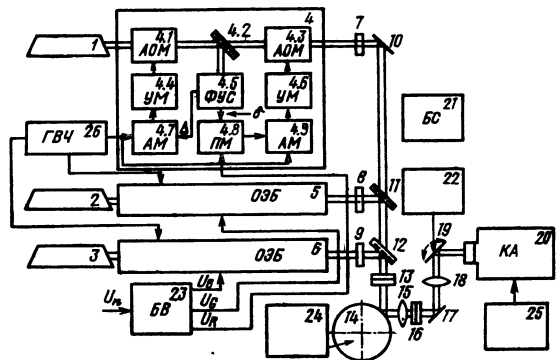


Рис. 3.9.28. Структурная схема аппаратуры записи излучением трех лазеров на киноплёнку (1—3 — He—Ne, Ar и He—Cd лазеры; 4—6 — оптико-электронные блоки; 4.1, 4.3 — АОМ, 4.2 — светорасщепитель, 4.4, 4.6 — усилитель мощности, 4.5 — фотоусилитель, 4.7, 4.9 — амплитудный модулятор, 4.8 — перемножитель, 7—9 — нейтральные фильтры, 10 — зеркало, 11, 12 — дихроические зеркала, 13 — цилиндрическая линза, 14 — многогранный зеркальный барабан, 15 — линза, 16 — цилиндрическая линза, 17 — зеркало, 18 — линза, 19 — зеркальный гальванометр, 20 — киносъёмочный аппарат, 21 — блок синхронизации, 22 — блок привода гальванометра, 23 — блок видеоканала, 24 — блок привода двигателя, 25 — блок привода КА, 26 — ВЧ генератор)

пучки красного, зеленого и синего света лазеров 1—3 поступают на оптические входы аналогичных друг другу оптико-электронных блоков 4—6. На эти же блоки с видеоканала 23 подаются сигналы  $U_R$ ,  $U_G$  и  $U_B$ , а также напряжение с ВЧ генератора 26 для возбуждения акустооптических модуляторов (АОМ). В блоках 4—6 стабилизируют среднюю мощность излучения, подавляют шумы и модулируют пучки Л. Нейтральные фильтры 7—9 служат для дискретного изменения интенсивности Л. Обычные 10 и дихроические 11 и 12 зеркала совмещают Л пучки в один, который через цилиндрическую линзу 13 проецируется на многогранный зеркальный барабан 14. Барабан, отклоняющий по строке совмещенный пучок, вращается синхронным гистерезисным двигателем. Через обычные линзы 15 и 18, цилиндрическую линзу 16 и зеркало 17 пучок направляется на зеркальный гальванометр 19, осуществляющий кадровую развертку пучка. Линзы 13, 15, 16 и 18 образуют систему, компенсирующую непостоянство угла наклона граней барабана к его оси вращения. Сканируемый пучок фокусируется на цветной К, которая пе-

Таблица 3.9.15. Искажения, вызываемые дефектами изготовления сканера, и методы их коррекции

Дефект изготовления сканера	Допустимое значение	Искажение изображения	Метод коррекции
Неравномерность коэффициента отражения от грани к грани, %	2...3	Чередование плотности в строках	Программируемое изменение коэффициента усиления видеоканала
Отклонение поверхности граней от идеальной плоскости в единицах длины волны	$\lambda/8$	Увеличение размеров пятна и искажение его формы	—
Непостоянство угла наклона или непараллельность граней оси вращения сканера, с	$\pm 2,5$	Сгущение и разрежение плотности строк по кадру	Коррекция углового положения Л пучка пьезоэлектрическими, акустооптическими дефекторами или цилиндрической оптикой
Отклонение углов, образованных соседними гранями, от расчетного значения, с	$\pm 14$	Относительное смещение соседних строк в противоположных направлениях, изменение длины строки	Применение датчика начала строки. Программируемый цифровыми или аналоговыми методами размер строки

ремещается КА или ЛПМ 20. Двигатели барабана, КА и гальванометр управляются от блоков привода 22, 24 и 25, синхронизируемых вспомогательными импульсами, частота которых пропорциональна частоте строк. В блоке 21 вырабатываются импульсы, от которых синхронизируется работа устройства записи и его блоков.

В устройствах записи цветного ТВ изображения применяют исключительно газовые Л непрерывного действия, обладающие меньшими углами расхождения пучка и уровнем шумов, а также более узким спектром излучения, чем у других типов Л. В качестве источника красного света используют гелий-неоновые Л ( $\lambda=632,8$  нм), зеленого — аргоновые Л ( $\lambda=514,5$  нм), синего — гелий-кадмиевые Л ( $\lambda=441,6$  нм). Перспективными являются газовые Л с СВЧ возбуждением, которые обладают пониженным уровнем шумов.

Наличие НЧ колебаний и шумов в излучении Л требует их компенсации. Луч Л, проходящий через АОМ 4.1 и светораспределитель 4.2, частично отражается на фотоусилителе 4.5, в котором выделяется НЧ сигнал ошибки  $\Delta$  и ВЧ сигнал шумов  $\delta$ . Первый через амплитудный модулятор 4.7 и усилитель мощности 4.4 поступает на АОМ 4.1 в противофазе с медленными флуктуациями излучения и компенсирует их. Высоко-частотные шумы подавляются цепью коррекции с опережением, в которой работают перемножитель 4.8, амплитудный модулятор 4.9, усилитель 4.6 и АОМ 4.3. На выходе последнего интенсивность излучения пропорциональна  $1-\delta^2$ . Так как  $\delta \ll 1$ , то уровень шумов понижается на 10...20 дБ. Излучение Л модулируют преимущественно с помощью АОМ благодаря простоте управления, высокой стабильности характеристик, возможности получения контраста от 500:1 до 2000:1 и т. д. Для получения высоких значений контраста, а также хорошей линейности модуляционной характеристики и малого уровня гармоник в блоках 4.7 и 4.9 целесообразно применять двойные балансные модуляторы. В отличие от кинескопов АОМ имеют синускватрную модуляционную характеристику. Для расширения ЧКХ АОМ на его оптическом входе обычно устанавливают линзу, фокусирующую пучок Л в центр акустического столба.

Лазерное излучение обладает монохроматичностью, когерентностью и малой расходимостью пучка. Поэтому для определения диаметра пятна, сфокусированного идеальной оптической системой, применимо выражение  $d = \lambda f' / D$ , где  $a = 2...3$ ,  $\lambda$  — длина волны,  $f'$  — фокусное расстояние объектива,  $D$  — диаметр лазерного пучка, который может быть увеличен с помощью телескопических систем. Хотя реальные оптические и отклоняющие системы вносят искажения в волновой фронт пучка, тем не менее можно получить пятно размером

до 10 мкм и меньше. В силу высокой направленности излучения Л можно получить высокую концентрацию энергии в пятне и, следовательно, применить малочувствительные и мелкозернистые К.

Сканирование лазерных пучков — наиболее сложная задача — осуществляется исключительно с помощью оптико-механических разверток: зеркальных барабанов или пирамид по строке и зеркальных гальванометров по кадру. Сканеры обычно изготавливают из бериллия или сплавов алюминия и к качеству их изготовления предъявляются исключительно высокие требования (табл. 3.9.15).

Для зеркальных барабанов разрешающая способность  $N = \pi D \phi / 2k\lambda$ , где  $\phi$  — угол отклонения,  $k$  — отношение сторон ТВ раstra. Геометрические искажения строчных сканеров не превышают 0,01...0,05%, у кадровых сканеров они не более 1%.

Трудности, связанные с изготовлением и эксплуатацией механических сканеров, вызвали многочисленные исследования и разработки других типов сканирующих устройств, среди которых следует выделить акустооптические, голографические и с использованием акустической линзы бегущей волны. Однако пока не решен ряд вопросов, препятствующих применению перечисленных сканеров.

Сравнение аппаратуры записи с экрана кинескопа и с использованием Л излучения показывает, что первая проще по структуре и в эксплуатации, а вторая обладает лучшими характеристиками передачи мелких деталей, ОСШ и цветопередачей. Однако в будущем запись с экрана кинескопов по качественным характеристикам сможет сравниться с записью лучом Л благодаря созданию новых кинескопов, существенному улучшению параметров К и применению цифровых методов.

#### Список литературы

- Семенов В. М., Шайкевич Д. В. Анализ факторов, определяющих плотность почернения при записи телевизионных изображений // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. — 1988. — Вып. 3. — С. 78—85.
- Sugiura Y., Nojiri Y. and Okada K. HDTV Laser-beam Recording on 35 mm Color Film and Its Application to Electro-Cinematography // SMPTE J. — 1984. Vol. 93. — N 7. — P. 642—651.
- Сканирующие устройства на ЭЛТ высокого разрешения / Под ред. С. Т. Васькова. — Новосибирск; Наука, 1978. — 136 с.
- Урбах Дж. К., Фишли Т. Ш., Старкуэдер Г. К. Лазерные сканеры для электронных печатающих

- устройств // ТИИЭР.— 1982.— Т. 70, № 6.— С. 84—112.
5. Кинотелевизионная техника / М. В. Антипин, Ю. С. Косарский, Л. Л. Полосин, Д. А. Таранец.— М: Искусство, 1984.— 228 с.
6. Кривицкая Р. Я., Семенов В. М. Цифровые методы в устройствах записи ТВ изображений на киноплёнку // Техника кино и телевидения.— 1984.— № 11.— С. 31—35.
7. Przybyla H., Morita T. «EBR» — Electron Beam Recording. Der Transfer von «HDVS» — Aufzeichnungen auf 35 mm — Film // Fernseh — und Kino-Technik.— 1986.— Vol. 40. Nr. 8.— S. 347—350.

### 3.10. Звуковое оборудование

#### 3.10.1. Звуковой сигнал и его характеристики:

1. Основные понятия. Звуковой сигнал (ЗС) — это физический процесс, вызываемый передачей звукового сообщения и являющийся материальным воплощением последнего. Различают ЗС речевой, музыкальной, шумовой и т. д. Он может быть представлен акустическими, электрическими, механическими, магнитными и электромагнитными колебаниями. В звуко-технической практике используют как непрерывное (аналоговое), так и дискретное представление ЗС. По статистическим свойствам ЗС  $x(t)$  можно представить в виде быстро меняющегося случайного процесса  $\xi(t)$ , модулированного по амплитуде другим, медленно меняющимся процессом  $\bar{x}(t)$  — огибающей  $x(t) = \bar{x}(t)\xi(t)$ . (3.10.1) Сигнал  $\xi(t)$  — знакопеременный, со спектром в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц, передает в основном семантическую (смысловую) часть информации. Сигнал  $\bar{x}(t)$  — всегда положительный, со спектром от 0 до 16...30 Гц и выше, и несет преимущественно эмоциональную информацию.

2. Огибающая звукового сигнала. Огибающая  $\bar{x}(t)$  выделяется из сигнала  $x(t)$  в автоматических регуляторах и измерителях уровня ЗС, в которых ее после определенных преобразований используют в качестве управляющего или измеряемого сигнала. Рассматривают огибающие пиковых, квазимаксимальных и эффективных (средних) значений. Первым простейшим методом выделения огибающей является амплитудное детектирование — одно- либо двухполупериодное. Для получения огибающей пиковых значений («границы» ЗС) применяют RC-цепь с малыми значениями постоянных времени заряда  $\tau_{зар}$  (микросекунды) и разряда  $\tau_{разр}$  (миллисекунды). Огибающая квазимаксимальных значений получается усреднением  $\tau_{зар} = 5...10$  мс и  $\tau_{разр} = 0,5...1,5$  с. Огибающая эффективных значений сигнала выделяется при  $\tau_{зар} = \tau_{разр} = 200$  мс. Вторым методом — преобразованием Гильберта  $\hat{x}(t) = V \sqrt{x^2(t) + \hat{x}^2(t)}$ ,

$$\text{где } \hat{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{\tau - t} d\tau -$$

сигнал, сопряженный по Гильберту. Этот метод позволяет выделить огибающую с верхней граничной частотой  $\Omega_v$ , которая превышает нижнюю частоту мгновенных колебаний  $\omega_n$ , что характерно для ЗС. Но таким путем можно выделить лишь симметричные огибающие, тогда как у ЗС огибающие положительных и отрицательных значений могут различаться. Третий метод — нелинейная фильтрация или метод *обобщенной суперпозиции*. Здесь логарифмированием (3.10.1) произведение двух сигналов заменяется суммой их логарифмов:  $\log x(t) = \log \bar{x}(t) + \log \xi(t)$ . Сигнал  $\log \bar{x}(t)$  выделяется линейным ФНЧ с верхней граничной частотой 16 Гц. Огибающая  $\bar{x}(t)$  получается его последующим потенцированием.

К огибающим усредненных значений относится и огибающая, мгновенные значения которой адекватны громкости. Для ее выделения необходимо в соответствии с механизмом восприятия громкости ухом человека разделить спектр сигнала на частотные полосы, усреднить его в каждой полосе с определенными постоянными времени и суммировать полученные составляющие с соответствующими весовыми коэффициентами.

В аналоговой звукотехнике наиболее распространен метод *двухполупериодного детектирования*. С переходом на цифровую технику все шире применяют и другие методы, в первую очередь — нелинейную фильтрацию.

3. Уровень звукового сигнала. Звуковое давление в студиях перед микрофонами может меняться от  $5 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup> (легкий шепот) до  $2 \cdot 10$  Н/м<sup>2</sup> (тутти-форте симфонического оркестра, микрофон перед группой медных инструментов), т. е. в  $10^6$  и более раз. В тех же пределах может изменяться и напряжение электрического сигнала во входных цепях студийного звукового тракта. Такими большими изменениями величин трудно оперировать. Поэтому на практике используют понятие уровня сигнала. Уровень — это логарифм отношения данной величины к выбранной отсчетной. Если отсчетная величина общепринятая, то уровень называют *абсолютным*, в противном случае — *относительным*. Абсолютные уровни мощности, напряжения, тока и звукового давления, выраженные в децибеллах, соответственно равны:  $L_p = 10 \lg(P/P_0)$ , дБм ( $P_0 = 1$  мВт);  $L_U = 20 \lg(U/U_0)$ , дБм ( $U_0 = 0,775$  В);  $L_I = 20 \lg(I/I_0)$ , дБ ( $I_0 = 1,29$  мА);  $L_p = 20 \lg(p/p_0)$ , дБ ( $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>). Нулевые значения напряжения, тока и мощности связаны между собой при сопротивлении нагрузки  $R_0 = 600$  Ом соотношением  $P_0 = I_0 U_0 = 1,29 \cdot 0,775 = 1$  мВт.  $p_0$  соответствует порогу слышимости акустического синусоидального сигнала частоты 1 кГц.

Строго говоря, понятие «уровень» относится к синусоидальным сигналам с неизменной амплитудой. На практике это понятие распространяется и на случайно изменяющуюся величину — логарифм ЗС. В этом случае говорят о динамическом уровне.

4. Динамический диапазон (ДД) фрагмента передачи или записи — это диапазон изменения динамического уровня (в дальнейшем просто уровня) ЗС в пределах отдельного произвольного, законченного отрывка и т. п. Общий же диапазон изменения уровня ЗС в студиях и во входных цепях звукового тракта даже на одинаковом по характеру звуковым материале (только речь, только музыка и т. д.) существенно больше ДД фрагмента (табл. 3.10.1).

Таблица 3.10.1. Уровни звукового давления и динамического диапазона для различных источников ЗС (измерены микрофоном, установленным на расстоянии 1 м от источника)

Источник ЗС	Уровень, дБ		Динамический диапазон фрагмента, дБ
	минимальный	максимальный	
Шум реактивного самолета	40	140	60...75
Симфонический оркестр	40	120	
Художественная речь	40	120	
Вокальная речь	40	120	15...40
Оркестр народных инструментов	50	90	20...35
Информационная речь (дикторы)	55	95	15...25
Вокально-инструментальный ансамбль	60	100	10...25

При записи и передаче ДД натурального (естественного, не обработанного) ЗС вручную и автоматически сжимается до пределов, определяемых трактом передачи и условиями воспроизведения у потребителя. В домашних условиях (с учетом норм на звукоизоляцию помещений) допустимое значение максимального ДД 40 дБ. Поскольку ТВ передача может воспроизводиться в шумных помещениях, возникает необходимость сжатия ДД музыкальных программ до 20...25 дБ, а речевых информационных до 15...20 дБ. От ДД следует отличать *контрастность* — перепад уровней на небольшом временном интервале (единицы и доли секунд), существенно влияющую на эстетическое восприятие. Контрастность не может превышать ДД данного фрагмента. При сжатии ДД контрастность необходимо по возможности сохранить.

5. Статистические характеристики. Звуковой сигнал — нестационарный случайный процесс, и о его статистических характеристиках можно говорить только в пределах определенной группы программ одного характера: речь, легкая музыка, симфоническая музыка и т. п. Основные статистические характеристики ЗС следующие.

*Одномерная функция распределения мгновенных значений*  $f(x)$  характеризует вероятность появления мгновенных значений ЗС различного уровня. Для не обработанных звукоинженером ЗС  $f(x)$  может быть аппроксимирована выражением

$$f(x) \approx \frac{a}{\sqrt{2}\sigma_1} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|x|}{\sigma_1}\right) + \frac{b}{\sqrt{2}\sigma_2} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|x|}{\sigma_2}\right) + c\delta(x),$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  зависят от характера ЗС, причем  $a+b+c=1$ .

Функции распределения позволяют вычислить среднеквадратическое значение (дисперсию) ЗС, определяющее энергию, пик-фактор и ряд других параметров. Отличие этих законов от нормального характеризуется коэффициентом эксцесса. Для речевых сигналов он равен 3,5...6,5, для музыкальных 0,5...4 (для нормального закона — 1). Большое значение этого параметра для речевых сигналов объясняется повышенной плотностью вероятности в области малых значений.

*Функцию распределения уровней ЗС* во многих случаях с достаточно хорошим приближением можно аппроксимировать логарифмически нормальным законом распределения. В области малых уровней вероятность несколько возрастает по сравнению с нормальным законом из-за наличия пауз. Закон распределения огибающей можно получить из закона распределения динамических уровней переходом от логарифмических единиц к линейным.

*Спектральные характеристики мгновенных значений ЗС.* Спектр музыкального сигнала, усредненный по

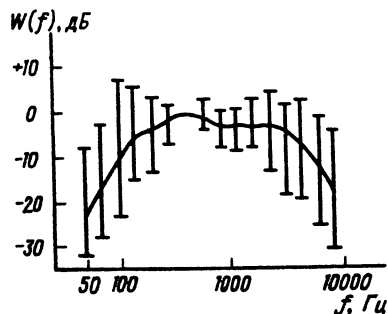


Рис. 3.10.1. Спектр музыкального сигнала

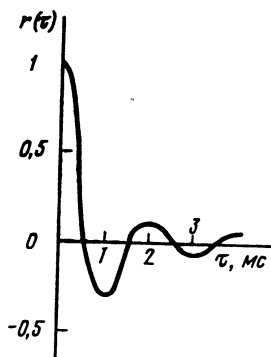


Рис. 3.10.2. Корреляционная функция мгновенных значений речевого сигнала

большому числу программ и нормированный относительно 400 Гц, приведен на рис. 3.10.1. Область наибольшей вероятности появления частотных составляющих лежит в диапазоне 200...3000 Гц. Разброс спектральных характеристик, обозначаемый отрезками прямых, на крайних частотах для разных звуковых фрагментов может достигать значений около  $\pm 15$  дБ и уменьшается на средних частотах.

*Корреляционная функция мгновенных значений ЗС*  $r(\tau)$  определяется спектром ЗС. Примером может служить корреляционная функция на рис. 3.10.2. Интервал или время корреляции (сдвиг во времени, при котором коэффициент корреляции снижается до 0,05) не превышает 4 мс. Часто используют функцию текущей автокорреляции, которая отражает связи в каждый момент времени. Усреднение в этом случае выполняется с весовой функцией, экспоненциально убывающей в области прошедшего времени.

*Спектральная и корреляционная характеристики огибающей.* Долговременные корреляционные связи в ЗС обусловлены ритмической структурой, динамическим рисунком исполняемого произведения и длительностью звуков. Для нормированных функций (рис. 3.10.3) максимальный интервал корреляции в зависимости от характера программы меняется от 4...5 с (речь, эстрадная музыка) до 15 с (симфоническая музыка). Энергетический спектр, т. е. относительная спектральная плотность средней мощности, находится из корреляционных функций с помощью преобразования Фурье. Наиболее широкий спектр (рис. 3.10.4) имеет огибающая речи, наиболее узкий — симфоническая музыка.

*Распределение длительностей выбросов.* Выбросом ЗС называют превышение сигналом  $x(t)$  заданного фиксированного значения  $x_i$ , длительностью выброса  $\tau_b$  — длительность однократного превышения. Из функции распределения длительностей выбросов мгновенных значений ЗС (рис. 3.10.5) видно, что максимальная вероятность приходится на длительность 40...100 мкс. Максимальная длительность выбросов огибающей речевых сигналов не превышает 0,8...0,9 с, музыкальных —

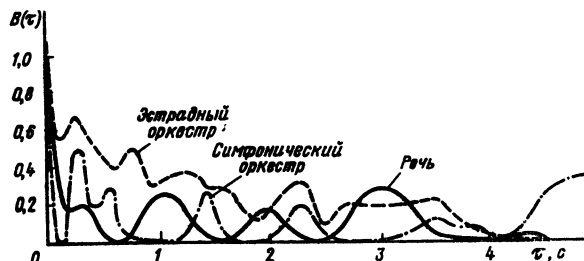


Рис. 3.10.3. Функции корреляции огибающих



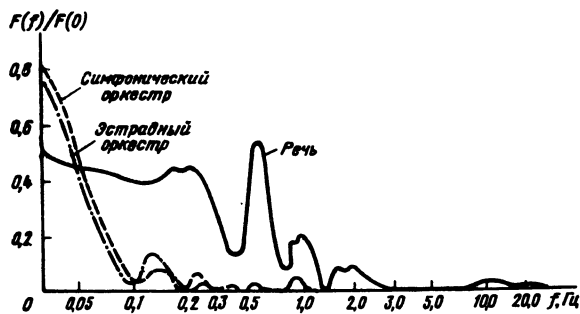


Рис. 3.10.4. Энергетические спектры огибающих

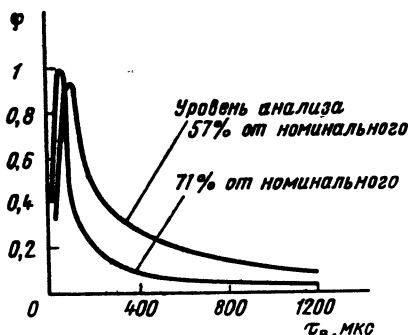


Рис. 3.10.5. Функции распределения длительностей выбросов мгновенных значений

доходит до 1,5 с. Диапазоны длительностей выбросов мгновенных значений (25...1200 мкс) и огибающей (2...1500 мс) не перекрываются.

**Время и скорость нарастания** (атаки) ЗС определяют фронт нарастания огибающей. Время атаки зависит как от вида источника сигнала, так и от методов звукоизвлечения. У скрипки оно меняется от 15 мс при пиццикато до 600 мс при медленном движении смычка, у кларнета — 20...60 мс, органа — 30...100 мс, валторны — 50 мс, трубы — 10 мс, тубы — 50 мс.

**Распределение пауз.** На практике за условную «чистую» паузу, практически свободную от составляющих программ, принимают уровень на 40...45 дБ ниже номинального. Гистограмма распределения вероятности длительностей пауз показана на рис. 3.10.6.

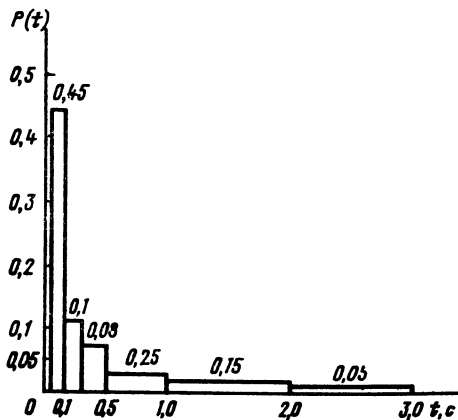


Рис. 3.10.6. Гистограмма распределения вероятности длительностей пауз

### 3.10.2. Звуковые комплексы:

1. **Технология создания звуковой программы** телепередачи в основном совпадает с технологией создания видеопрограммы и разбивается на несколько фаз: подготовка, производство, формирование и выпуск. В подготовку программ входят сбор и переработка информации, в том числе редакторская работа, ретипирование, первичная запись звука в студиях, на ПТС и ТЖК, репортерские записи и т. п. Производство программ включает в себя все процессы постобработки: сведение, обработку и монтаж фонограмм, совмещение с видеозаписью и т. д. Формирование и выпуск программ заключается в изготовлении из отдельных фрагментов (фонограмм, «живых» вставок) готовых ТВ программ и выдачи их на выход телецентра. Каждая фаза делится на отдельные технологические процессы, которые с разной степенью точности могут быть формализованы, т. е. представлены в виде алгоритмов.

При записи звукорежиссер выбирает студию, рассаживает исполнителей, расставляет микрофоны, подбирает типы микрофонов, наиболее подходящие для данного звукового фрагмента, и определяет их расстановку с учетом особенностей звучащих источников, характеристик направленности микрофонов и акустической обстановки в студии. Далее осуществляются первичная обработка сигнала и запись на магнитофоны. Запись может быть синхронной и несинхронной. Синхронная проводится одновременно с записью изображения и применяется в основном при оперативных передачах (запись текущих событий), трансляциях и относительно простых со звуковой точки зрения программах. В этом случае основная обработка (микширование уровней отдельных источников, подбор оптимальной коррекции, стереофоническая обработка) осуществляется непосредственно в процессе записи. Акустическая обстановка при синхронных записях, как правило, не обеспечивает необходимых условия для высококачественной записи ЗС. Поэтому на практике почти во всех музыкальных и в значительной части художественных речевых ТВ программах ЗС записывают отдельно от изображения, т. е. несинхронно. Такую запись осуществляют в радиовещательных студиях, а на телецентрах — в специальных звуковых студиях тонательные либо в ТВ студиях, но в условиях, когда вся обстановка подчинена именно процессу записи звука. При этом сначала, как правило, изготавливают фонограмму, а потом записывают изображение уже под готовую фонограмму.

При проведении первичной записи относительно простых фонограмм ЗС в основном обрабатывается непосредственно в процессе записи на моно- или стереомагнитофоны. Сложные фонограммы записываются на многоканальные магнитофоны. Различают последовательную и параллельную многоканальные записи. При *последовательной записи* первоначально на одну дорожку записывается звуковая основа, например ритм-группа, а затем поочередно на другие дорожки — остальные группы и солисты. Для обеспечения синхронности ансамбля на головные телефоны исполнителям подается звучание уже записанных ранее ритм-групп или инструментов и исполнителей, которые необходимы для согласованной записи. При последовательной записи каждому исполнителю можно обеспечить оптимальные акустические условия, вплоть до подбора помещения, исходя из требований, налагаемых характером данного инструмента. Однако при больших коллективах этот процесс слишком длительный. При *параллельной записи* каждого исполнителя или группу исполнителей также записывают на отдельные дорожки, но эта запись производится одновременно, в процессе исполнения произведения. Здесь труднее добиться хорошего отделения сигналов одной группы инструментов от другой, поскольку на один микрофон могут поступать сигналы от разных исполнителей. Для лучшего разделения специально рассаживают исполнителей, отделяя их друг



от друга акустическими щитами, при очень большой или очень малой звуковой мощности исполнителей иногда переводят в другую студию и т. д. Как и при последовательной записи, для обеспечения синхронности исполнения на головные телефоны каждого исполнителя подается ЗС.

Следующий этап — постобработка первичной записи, осуществляется в аппаратных монтажах фонограмм, подготовки программ, сведения и сложного монтажа. При монтаже выбирают наилучший вариант записи и осуществляют первую подгонку к записи изображения, если оно записывалось не под фонограмму. Механический монтаж осуществляется путем разрезания и склеивания магнитной ленты. В последние годы широко распространился электронный монтаж. Различают простой электронный монтаж (точность монтажа — десятки миллисекунд), точный электронный монтаж (точность — десятки микросекунд) и сложный монтаж или редактирование, при котором точный монтаж сочетается с процессом обработки ЗС.

**Сведение многоканальной записи** — один из основных процессов постобработки. Это преобразование многоканальной записи в стерео- (реже моно-) запись фрагментов, готовых к передаче в эфир. Первичную запись осуществляют так, чтобы записываемые на каждую дорожку сигналы имели максимальные уровни (но без перегрузок). При сведении с помощью ручных регуляторов уровня звукорежиссер добивается оптимального соотношения между уровнями звучания ЗС отдельных дорожек. При необходимости осуществляется дополнительная частотная, с помощью фильтров, и динамическая, с помощью ручных и автоматических регуляторов уровня, коррекция записанных сигналов. Могут быть добавлены записанные отдельно звуковые эффекты, введена оптимальная для каждого инструмента реверберационная окраска. Проводится необходимая стереофоническая обработка, формируется пространственная звуковая картина (звучание отдельных источников слева, справа, в середине) и т. д.

Программа формируется в АПБ из готовых фрагментов. Как правило, формирование заключается в последовательном включении источников сигнала и наложении двух сигналов. В отдельных случаях — при исполнении старых записей или при внешних трансляциях, при передачах пониженного качества (длинные линии, радиоприем и т. п.) — при формировании применяют дополнительную обработку: регулировку уровня, частотную коррекцию и т. п.

**2. Формализация технологических операций.** Запись, постобработка и формирование содержат как творческие процессы, практически не поддающиеся формализации, так и рутинные, которые можно формализовать, а следовательно, и автоматизировать. Не поддаются формализации, например, такие операции, как выбор расстановки микрофонов в студии, выбор соотношения уровней между звуковыми источниками. Частично можно формализовать процесс динамической обработки ЗС. Почти полностью формализуются процессы управления структурой звукового тракта, порядок включения источников, контроль за состоянием звукового тракта и др. Для формального описания функционирования системы (т. е. описания, какие технологические операции и в каком порядке выполняются) используют циклические графы (рис. 3.10.7, а). Состояния системы  $a_{10}, a_{11} \dots a_{1n}$  отображаются на этих графах кружками (вершины графа), а переходы из одного состояния в другое — линиями (ребра графа). Если под воздействием входного сигнала состояние не меняется, линия превращается в петлю. Исходное состояние системы —  $a_{10}$ . Под воздействием входного сигнала  $x_1$  (например, нажата кнопка управления) система переходит в другое состояние  $a_{11}$  и при этом выдает выходной сигнал  $y_1$ . На ребре графа указывают входной сигнал и в некоторых случаях дополнительные логические условия. После поступления нескольких

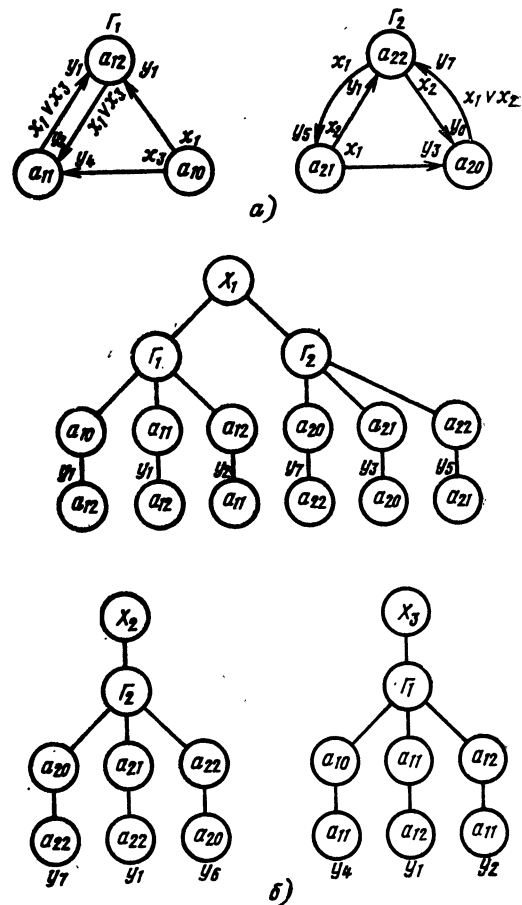


Рис. 3.10.7. Графы технологического процесса

входных сигналов граф позволяет определить, какие выходные сигналы выдала система и в каком состоянии она теперь находится.

Далее циклические графы целесообразно преобразовать в графы типа «дерево», форма которых близка к структуре программ ЭВМ. Каждое «дерево» описывает реакцию системы на один определенный входной сигнал (например, нажата такая-то кнопка). При этом учитывается, в каких вообще технологических операциях участвует этот сигнал, в каких состояниях находились эти операции и в какие состояния перешли, какие выходные сигналы при этом выданы.

Для примера на рис. 3.10.7, а изображена простая система из двух циклических графов  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  с тремя состояниями в каждом; часть входных  $x_1$  и выходных  $y_1$  сигналов являются общими. Этой системе эквивалентно «дерево» на рис. 3.10.7, б. В этом легко убедиться, проследив, например, реакцию системы, находившуюся в начальных состояниях  $a_{10}$  и  $a_{20}$ , на входной сигнал  $x_1$  по рис. 3.10.7, а и б. В обоих случаях получим новые состояния  $a_{12}$  и  $a_{22}$ , выходные сигналы  $y_1$  и  $y_7$ . Совокупность графов или «деревьев» представляет собой точное формальное описание технологических процессов и является исходным материалом для машинного моделирования технологии и составления программ для управляющих ЭВМ программистами, не знакомыми с сущностью операций, выполняемых в аппаратных телецентрах.

**3. Состав и параметры звукового оборудования АСК.** Звукотехническое оборудование АСК входит в те же аппаратные (комплексы), что и видеооборудование. Кроме того, на ТЦ должны быть

комплексы, предназначенные для записи и обработки только ЗС: тонателё, аппаратные подготовки звуковых программ, аппаратные простого и сложного монтажа фонограмм и др. Практически все ТЦ страны оснащены отечественной звуковой аппаратурой III поколения, серийно выпускаемой с 1978 г. (модель «Перспектива-ЦТ»). Небольшая часть ТЦ оборудована звуковой аппаратурой, выпускаемой в Венгрии и Чехо-Словакии. Звуковой тракт ТЦ называют *трактом формирования программ* (ТФП) и относят к оборудованию высшего класса качества.

#### Нормы на основные параметры ТФП

Диапазон передаваемых частот, Гц	40...15 000
Неравномерность АЧХ, дБ, не более, в полосах частот:	
40...125 Гц . . . . .	$\pm 0,5$
125...10 000 Гц . . . . .	$\pm 1,5$
10 000...15 000 Гц . . . . .	$\pm 0,5$
Коэффициент гармоник, %, не более, на частотах:	
до 125 Гц . . . . .	$\pm 0,5$
свыше 125 Гц . . . . .	0,6
Защищенность, дБ, не менее:	
от интегральной помехи . . . . .	61
от психофизического шума . . . . .	74
от вынужденной переходной помехи между независимыми каналами . . . . .	74
от вынужденных переходных помех между каналами А и В стереофонического тракта . . . . .	74
Отклонения выходного уровня, дБ . . . . .	$\pm 0,3$
Разность уровней на выходах каналов А и В стереофонического тракта, дБ, не более, в полосах частот:	
40...125 Гц . . . . .	0,7
125...10 000 Гц . . . . .	0,3
10 000...15 000 Гц . . . . .	0,7
Разность фаз на выходах каналов А и В стереофонического тракта, град, не более, в полосах частот:	
40...125 Гц . . . . .	10
125...10 000 Гц . . . . .	10
10 000...15 000 Гц . . . . .	10

Методика измерения этих параметров по ГОСТ 11515 и ГОСТ 23107. Указанные нормы даются для всего сквозного тракта ТЦ. При определении норм на отдельные его участки исходят из требования, чтобы при суммировании искажений, возникающих в каждом участке, параметры качества сквозного тракта не вышли из допусков.

4. Центральная аппаратная (АЦ). Основными функциями звуковой части АЦ являются: соединение различных аппаратов между собой и образование звукового тракта необходимой конфигурации в масштабах всего ТЦ, окончательное формирование выходных ТВ программ и выдача их на внешние линии, прием и коррекция ЗС, поступающих на ТЦ по внешним линиям, спуховой контроль коммутируемых ЗС и контроль уровня, коммутация одновременно с ЗС сигналов технологической связи, обеспечение громкоговорящей диспетчерской связи с пультом оператора и видеопрограммиста.

В состав АЦ входят два коммутатора: внутренних линий (центральная коммутационная система) и выходных программ (программный коммутатор). Коммутатором внутренних линий управляют дистанционно, непосредственно от потребителей, программным коммутатором — с пульта диспетчера. Часть ЗС коммутируется

синхронно с видеосигналами и с помощью тех же сигналов управления, другая часть — независимо от видеосигнала.

Коммутационные матрицы оборудования II поколения выполнены на электромагнитных реле, а III поколения, как правило, на электронных ключах (бесконтактная коммутация) и на герконовых реле. Коммутация осуществляется стволком, т. е. одновременно коммутируются два звуковых сигнала, сигналы двусторонней служебной связи и идентификации.

Конкретный объем и состав звукового оборудования АЦ зависят от числа выходных программ и входных линий, номенклатуры и количества аппаратных ТЦ.

5. Аппаратно-студийный блок (АСБ). В АСБ осуществляются исполнение, обработка, формирование фрагментов и запись звуковых программ. В некоторых АСБ предусматриваются дополнительные функциональные возможности, позволяющие проводить не только первичную запись, но и постобработку. Источниками ЗС низкого уровня в АСБ являются микрофоны и радиомикрофоны студии, высокого — магнитофоны, линии от видеомагнитофонов и кинопроекторов, внешние линии. В состав АСБ входят основной звуковой тракт, система визуального и слухового контроля, устройства управления, системы сигнализации, связи, озвучивания, питания. Оборудование АСБ размещается в пульте и в приборных шкафах.

*Звукорежиссерский пульт* — основное рабочее место звукорежиссера, на котором сосредоточены органы управления и отображения информации. В пульте рядом с органами управления размещены и устройства основного звукового тракта. В аппаратуре перспективного IV поколения в связи со значительным увеличением технологических возможностей и применением автоматизированного дистанционного управления устройства основного звукового тракта могут размещать отдельно, в шкафах.

*Основным звуковым трактом* называют тракт от входа высокого и низкого уровня до выхода на линию или на запись, включая все средства микширования и обработки ЗС (рис. 3.10.8, а). Он состоит из трех функционально законченных каналов — входного, группового и выходного, соединенных между собой коммутаторами. С помощью входного коммутатора на входные каналы подключаются различные источники сигналов. На входы пульта могут быть подключены источники как низкого, так и высокого уровня. Входной канал (рис. 3.10.8, б) состоит из переключателя ВП, включающего удлинитель при сигналах высокого уровня, входного трансформатора ВТ, микрофонного усилителя МУ, регулятора уровня РУ, промежуточного усилителя УП, индивидуального корректора КИ, выходного усилителя УВ. Между МУ и РУ могут подключаться устройства спецэффектов СЭ: компрессор, сложный частотный корректор, шумоподавитель и т. д. Индивидуальный корректор обеспечивает срез сигналов верхних и нижних частот (с разными частотами среза), плавный подъем и спад сигналов верхних и нижних частот, а также «всплески» и «провалы» частотной характеристики на разных частотах (презент-фильтр). На выходе канала может устанавливаться панорамный регулятор ПАН, плавно перераспределяющий ЗС между двумя каналами при стереофонии. Каждый входной канал имеет два несимметричных выхода для подачи сигналов на групповые шины и один симметричный для подачи сигналов на многодорожечную запись через промежуточный коммутатор ПК. Кроме того, имеется дополнительный выход с дозирующим регулятором уровня РУ, с которого подается сигнал на дополнительные шины ДШ. Последние служат для подключения ревербераторов, подачи сигналов на озвучивание и т. п.

Групповой коммутатор обеспечивает подачу входных каналов на групповые. Он позволяет подключать

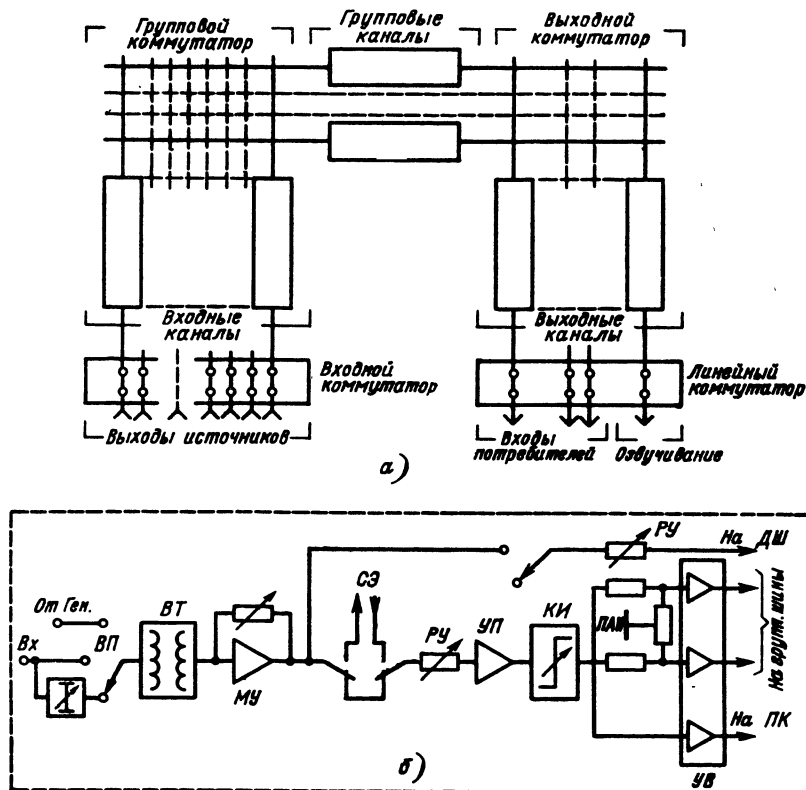


Рис. 3.10.8. Структурная схема основного звукового тракта

с суммированием любое число входных каналов одновременно на одну или несколько групповых шин. Коммутация бесконтактная, электронная, осуществляется непосредственно в пульте. Групповой канал отличается от входного отсутствием презенс-фильтра в корректоре, входного трансформатора и МУ. Выходной коммутатор (при трехступенчатой регулировке) осуществляет подачу групповых каналов на выходной и аналогичен групповому. Выходной канал не содержит корректора, но имеет усилитель-ограничитель УО или линейный усилитель с симметричным выходом. Выходные сигналы подаются на выходные линии с помощью ручного линейного коммутатора. Подача сигналов с входных, групповых и выходных каналов на многоканальный магнитофон осуществляется с помощью коммутационных гнезд ПК, установленного на пульте.

При проектировании и эксплуатации звукорежиссерского оборудования учитывают распределение уровней ЗС в различных точках звукового тракта, так называемую *диаграмму уровней*. На этой диаграмме задаются основные требования к элементам студийного тракта: коэффициенты передачи усилителей, значения затухания регуляторов уровня и удлинителей, ОСШ во всех точках тракта и т. д. На рис. 3.10.9 приведена диаграмма уровней основного звукового тракта, состоящего из входного, группового и выходного каналов. Ход диаграммы под каждым функциональным узлом тракта показывает, какое затухание или усиление он вносит. Напряжения на диаграмме обозначены, дБ: 14 — верхняя граница диапазона пропускания тракта, 6 — номинальный уровень источников высокого уровня, —44 — условно принятый максимальный микрофонный уровень, —

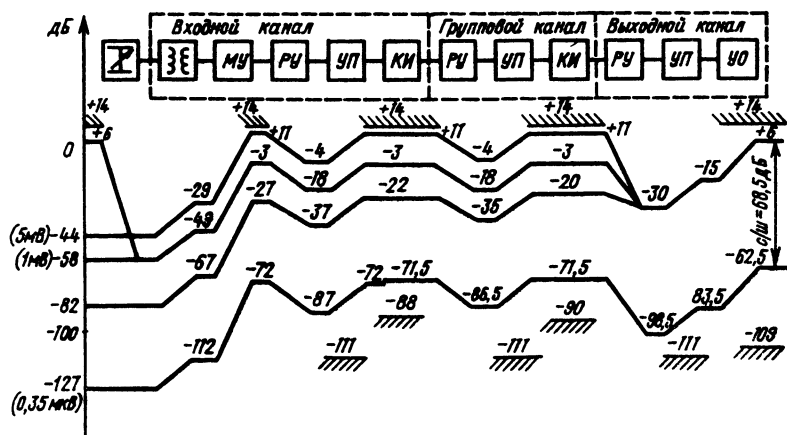


Рис. 3.10.9. Диаграмма уровней звукового тракта

58 дБ — уровень, принятый для оценки ОСШ, — 82 — уровень, создаваемый наименее чувствительным микрофоном, — 88, — 111 и — 127 — соответственно уровни шумов корректора, промежуточного и микрофонного усилителей.

*Система контроля* обеспечивает визуальный и слуховой контроль ЗС в тракте. Визуальный контроль осуществляется с помощью главных и канальных измерителей уровня (ИУ). Главные ИУ имеют диапазон измерения 44 дБ, растянутую шкалу и могут подключаться к различным точкам звукового тракта. Канальные ИУ включены во все входные и групповые каналы, их показывающие приборы совмещены с регуляторами уровня и имеют более широкий, чем главные, диапазон измерений — 55 дБ. Для визуального контроля баланса и совместности стереопрограмм предусмотрен гониометр. Звукорежиссер прослушивает ЗС с помощью больших контрольных агрегатов, а видеоинженер, видеорежиссер и операторы видеомагнитофонных и кинопроекционных аппаратов — с помощью малых агрегатов. Предусмотрена также возможность прослушивания на головные телефоны.

*Система управления* служит для регулировки параметров устройств обработки ЗС, изменения конфигурации звукового тракта, управления внешними средствами обработки. В основном звуком в тракте вручную с помощью размещенных на пульте органов управления осуществляются установочная и оперативная регулировки уровня, коррекция частотной характеристики, панорамирование и т. п. Конфигурация тракта изменяется набором на входном и групповом коммутаторах, подключением дополнительных шин и устройств спецэффектов. Управление магнитофонами, микрофонами, внешними средствами обработки — ревербераторами, комнатами эха, авторегуляторами — осуществляется дистанционно.

С переходом к аппаратуре IV поколения система управления резко усложняется. Дистанционно управляемыми становятся практически все устройства звукового тракта: усилители, регуляторы уровня, корректоры, коммутаторы. Вводится программное управление рядом технологических операций, таких как набор конфигурации тракта, установка и изменение затуханий, регулировка АЧХ, запоминание и воспроизведение в динамике операций, производимых на пульте, и т. д.

*Система сигнализации* отображает структуру звукового тракта, его состояние и готовность к работе. Предусмотрена световая сигнализация состояний во всех каскетах и блоках коммутации, общепультовая сигнализация готовности тракта к работе («Источник готов», «Режиссер готов») и прохождения ЗС на выход канала и тракта («Канал открыт», «Передача идет», «Микрофон включен», «Магнитофон» и др.).

*Система связи* обеспечивает служебную связь между абонентами внутри АСБ и с внешними аппаратами. Предусматривается двусторонняя проводная громкоговорящая связь между видеорежиссером, звукорежиссером, видеоинженером, помощником режиссера в студии, кинопроекционными и видеомагнитофонными аппаратами. В больших АСБ предусмотрена радиосвязь звуко- и видеорежиссера с операторами, а также видеорежиссера с помощником режиссера. Усилителями и коммутаторами связи управляют в звукорежиссерской аппаратуре с пульта звукорежиссера, а в пультах видеооборудования — с панелей, встроенных в соответствующие пульти. На пультах размещены микрофоны связи и громкоговорители, а также органы управления набором абонента. Усилители и коммутаторы связи размещены в шкафах.

*Система озвучивания* служит для подачи на звуковые колонки, контрольные агрегаты и головные телефоны в студию, фойе, холлы, артистические комнаты и т. д. различных ЗС, в том числе специально организованных. Она используется в основном для исполнения под фонограмму, для организации «радио по радио», для контроля сигналов, для подачи громкоговорящих

команд, а в больших студиях — и для звукоусиления речи. Сигналы озвучивания формируются на пульте звукорежиссера или на отдельном пульте, расположенном непосредственно в студии. В тракте озвучивания предусмотрены частотные корректоры, с помощью которых устанавливается АЧХ, оптимальная для каждой студии, и мощные усилители.

В оборудовании типа «Перспектива» питание цепей основного звукового тракта, контроля и связи осуществляется от относительно маломощных источников питания  $\pm 15$  В, цепей управления — 15 и — 30 В, цепей сигнализации — 12 В. Линейные газоразрядные индикаторы ИН-13 питаются напряжением 125 В. Табло студий и аппаратных, магнитофоны, мощные усилители питаются от нестабилизированной сети. Мощные усилители системы озвучивания и контрольных агрегатов имеют собственные (вторичные) источники питания. Обычно питание дублируют и при выходе из строя одного блока переходят на резерв.

6. Аппаратно-программный блок (АПБ). В АПБ формируются готовые звуковые программы из отдельных фрагментов, поступающих как от внешних, так и от собственных источников АПБ. Внешние источники — различные аппаратные ТЦ, а также автозвукорежиссеры, транспункты, ПТС. Собственными источниками могут быть звуковые и видеомагнитофоны, проигрыватели, микрофоны диктора. Сигнал формируется с помощью пульта, аналогичного пульту АСБ, собранного на тех же блоках и каскетах, но в более простой конфигурации, с двухступенчатой регулировкой. Сформированные программы выдаются на внешние линии либо непосредственно, либо через выходной коммутатор АЦ. Обработка входных сигналов в АПБ может быть полностью исключена либо может сохраняться лишь в нескольких каналах. В оборудовании IV поколения основные операции в АПБ практически полностью автоматизированы.

7. Телекинопроекционная аппаратура (ТКА). Звуковое оборудование ТКА служит для воспроизведения фонограмм, записанных на магнитных или оптических дорожках кинолент, и коммутации ЗС на выходные линии аппаратуры. Предусмотрены слуховой и визуальный контроль ЗС. Управление звуковым коммутатором производится дистанционно, одновременно с коммутацией видеосигналов. В ТКА, входящих в состав больших АСБ и АПБ, обычно коммутируются ЗС от 2—4 кинопроекторов на 2 выходные линии, в автономных ТКА в зависимости от их объема изменяется и объем коммутаторов.

3.10.3. Функциональные узлы и элементы звукового тракта:

1. Усилители низкой частоты. *Микрофонный усилитель* (МУ) предназначен для усиления сигналов, поступающих на вход звукового тракта. Основные требования, предъявляемые к нему: относительно большой коэффициент усиления, возможность его установочной регулировки, низкий уровень собственных шумов, симметричный вход и высокая защищенность от синфазной входной помехи. Современные МУ имеют вход, симметричный в широком диапазоне частот, что обеспечивает хорошие переходные характеристики, повышенную устойчивость и т. п. Два противофазных выхода можно использовать как один симметричный. Интегральный уровень собственных шумов по приведенно ко входу 0,28 ... 0,35 кмВ. *Промежуточный усилитель* (УП) — универсальное звено основного звукового тракта. Используется для компенсации затухания, внешнего цепями частотной коррекции и регуляторами уровня, а также в качестве смесительного. В тракт включают последовательно несколько таких усилителей. Особенности — большое (до 130 дБ) ОСШ, перекрываемый коэффициент усиления, высокоомный вход и низкоомный выход. Обычно строится по бестрансформаторной несимметричной двухтактной схеме с глубокой ОС. *Выходной или линейный усилитель* (УЛ) предназначен

для выдачи сигнала непосредственно на выходную линию с волновым сопротивлением 150...600 Ом. Он обеспечивает выходные уровни 6 и 15 дБ. Обычно имеет несимметричный вход и симметричный выход. *Разделительный усилитель* (УР) предназначен для защиты основного тракта от закорачивания, перегрузок и влияния внешних сигналов при ответвлении и разветвлении звуковых цепей. Имеет симметричный вход и несимметричный выход. Специфическим требованием является большое значение обратного затухания, т. е. обеспечение минимального проникновения сигнала с выхода усилителя на вход. *Линейно-разделительный усилитель* (УЛР) может выполнять функции линейного и разделительного усилителей, имеет симметричные вход и выход. *Мощный усилитель* применяют в студийных контрольных агрегатах и акустических системах, предназначенных для слухового контроля ЗС в звукорежиссерских аппаратах, а также в системах озвучивания студий и открытых пространств.

2. Ручные регуляторы уровня. С их помощью звукорежиссер устанавливает заданное значение максимального уровня ЗС в тракте, регулирует баланс уровней звучания отдельных источников, формирует требуемый динамический диапазон.

Современные ручные регуляторы — это потенциометры, в большинстве случаев с продольным перемещением ручки управления. Резистивный элемент — угольный, проволочный или из токопроводящей пластмассы. Токосъемные элементы (щетки), скользящие по резистивному слою или металлизированным электродам, — металлические из бериллиевой бронзы или угольные, с примесью фторопласта, серебра и других компонентов. С учетом того, что токосъемные элементы недостаточно надежны, в оборудовании «Перспектива» применен регулятор уровня, в котором затухание изменяется ступенями с помощью герконов. При передвижении ручки регулятора герконы включают магнитом, закрепленным на движке. В регуляторе размещен измеритель уровня, причем индикатор и регулятор имеют общую шкалу. Плавное регулирование обеспечивается в пределах 80 дБ, шкала линейная в децибелах в пределах 50 дБ и сжата в области больших затуханий. Максимальное затухание — более 100 дБ.

Регуляторы вводятся в звуковой тракт, и они могут изменять затухание ЗС либо непосредственно (рис. 3.10.10, а), либо дистанционно под воздействием управляющих сигналов (рис. 3.10.10, б). В последнем случае легче исключить шорохи и трески, возникающие в процессе регулировки, и можно одним регулятором действовать одновременно в нескольких каналах. Точность аналогового регулирования (непосредственного и дистанционного) 0,5...1,5 дБ и ниже. Для повышения точности дистанционного регулирования ЗС до 0,1...0,3 дБ используются регуляторы — датчики цифровых кодовых управляющих сигналов. Цифровые сигналы, соответствующие положению ручки регулятора,

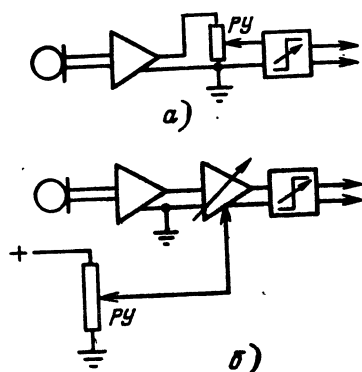


Рис. 3.10.10. Схемы ручного регулирования уровня

формируются, например, с помощью кодовой пластины и фотосчитывающего устройства, перемещаемых относительно друг друга. В этом случае обычно применяют двоичный код Хэмминга, в котором соседние отсчеты различаются только в одном из разрядов. Другой вариант — использование реверсивного счетчика и датчика импульсов. При перемещении ручки регулятора в одну сторону генерируются импульсы, которые суммируются в счетчике, при обратном перемещении генерируемые импульсы вычитаются. Таким образом, число, хранящееся в счетчике, в любой момент времени соответствует положению ручки регулятора. Более простой, но менее точный способ — использовать мастичные или проволочные регуляторы, на выходе которых аналоговый управляющий сигнал преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП.

3. Частотные корректоры (ЧК). В звукорежиссерском оборудовании ЧК являются оперативными устройствами, позволяющими в процессе записи и передачи изменять спектр ЗС для получения наилучшего качества звучания. Неоперативные и полуперативные ЧК применяют для коррекции акустических условий в помещениях, для устранения частотных искажений, возникающих в длинных линиях, и т. п. В оперативных ЧК, как правило, соединяются несколько независимых фильтров. В звукорежиссерском пульте серии «Перспектива-ЦТ» имеются корректоры КИ-5 и КИ-7. Корректор КИ-5 служит для индивидуальной обработки каждого входного сигнала и содержит фильтр плавного подъема и спада верхних и нижних частот, фильтр «присутствия», фильтр среза нижних и верхних частот. *Фильтр плавного подъема и спада* (рис. 3.10.11, а) обеспечивает изменение спектральных характеристик ЗС в области нижних и верхних частот. При этом основные подъем и спад частотных составляющих на 12 дБ относительно частоты 1 кГц осуществляются не на крайних частотах диапазона, а на частотах 60 Гц и 10 кГц. От 30 до 60 Гц и от 10 до 15 кГц изменения АЧХ незначительны. Этот фильтр позволяет подавлять или выделять НЧ в ВЧ участки спектра, корректировать дефекты микрофонов и громкоговорителей, частотные характеристики студий и помещений прослушивания, изменять общий характер звучания. *Фильтр «присутствия»* или *презент-фильтр* (рис. 3.10.11, б) осуществляет подъем АЧХ до 10 дБ на частотах 0,8; 1,4; 2; 2,8; 4 и 5,6 кГц, создает эффект приближения исполнителя к слушателю, позволяет выделять верхние певческие форманты вокалистов и наиболее характерные спектральные составляющие инструментов и т. д. *Фильтр среза* (рис. 3.10.11, в) обеспечивают срез АЧХ на НЧ с частотами среза 60, 120, 180 и 300 Гц и на ВЧ с частотами среза 3, 6, 9 и 12 кГц с крутизной 12 дБ на октаву. Они позволяют резко ограничивать снизу и сверху рабочий диапазон частот, отфильтровывать фоновые составляющие, подавлять мешающие ВЧ призвуки и т. д. Корректор КИ-7, устанавливаемый в групповые каналы, отличается от КИ-5 тем, что в нем нет фильтра присутствия.

В отечественный звукорежиссерский пульт П-19 (II поколения) в 1965 г. впервые в мире был введен графический корректор КЭ-1, в котором расположение органов регулировки мнемонически повторяло форму АЧХ. Впоследствии за рубежом такие ЧК стали называться *эквалайзерами*. Они состоят из набора полосовых фильтров с разными средними частотами; изменение АЧХ достигается изменением усиления в каждой спектральной полосе. В аппаратуре «Перспектива-ЦТ» используется корректор КЭ-1. В состав аппаратуры «Тесла» входит графический корректор ЕКВ-1015.

4. Автоматические регуляторы уровня (АРУр). Эти устройства применяют для автоматического преобразования ДД, повышения средней мощности сигналов, защиты звуковых трактов от перемодуляции и перегрузок, уменьшения шумов и помех, по-

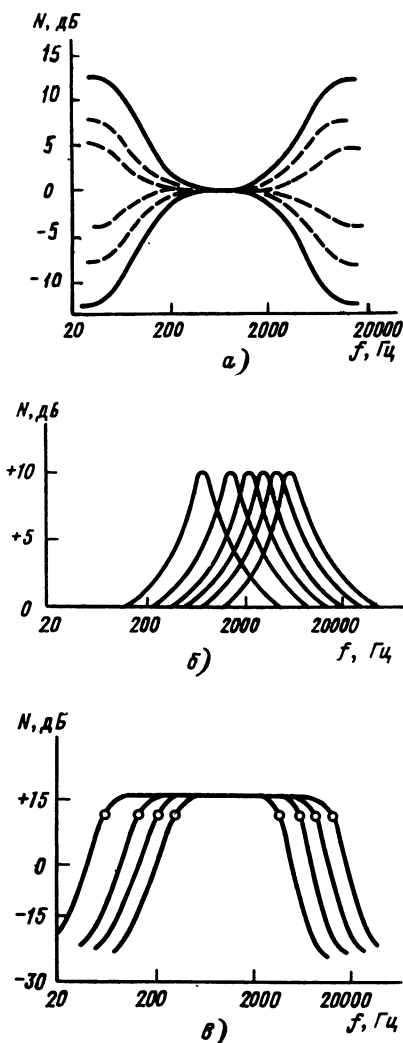


Рис. 3.10.11. Амплитудно-частотные характеристики фильтров в частотных корректорах

вышения разборчивости информационных передач, улучшения соотношения громкости звучания речи и музыки, для поддержания нормированного или заданного значения пиковых уровней.

**Основные принципы построения АРУр.** В большинстве случаев АРУр состоит из основного (управляемого) и управляющего (УК) каналов. Основной канал содержит одно или несколько управляемых звеньев (УЗ), коэффициент передачи которых меняется в зависимости от управляющего воздействия. Последнее вырабатывается в УК на основе заданного закона регулирования и зависит от уровня ЗС на выходе и/или входе АРУр. В простейшем случае УК состоит из детектора и сглаживающего фильтра, выделяющих огибающую, в наиболее сложном он включает в себя анализаторы ЗС, линейные и нелинейные преобразователи, вычислительные устройства. Возможны схемы АРУр и без УК. В них параметры УЗ меняются под воздействием управляемого сигнала (например, мостовая и потенциометрическая аналоговые схемы АРУр на терморезисторах). Применимы и более сложные схемы АРУр без УК, построенные на принципах гомоморфной обработки сигнала. По форме представления регулируемого и управляющего сигналов различаются аналоговые системы, аналоговые с цифровым управлением

и цифровые АРУр. В зависимости от времени регулирования АРУр бывают безынерционными (мгновенного действия) и инерционными, в которых параметры изменяются много медленнее, чем мгновенные значения ЗС. Безынерционные преобразователи используют, как правило, только при двойном преобразовании (см. ниже).

По принципу управления различают разомкнутые, замкнутые и комбинированные системы. К *разомкнутым* относят системы, регулирующие усиление УЗ по входному сигналу (системы с прямой регулировкой), а также системы дистанционного и программного управления. В последних усиление УЗ изменяется по закону, задаваемому извне, например от внешнего управляющего устройства. Примером регулятора с дистанционным управлением является *кроссфейдер* (рис. 3.10.12), в котором одновременно регулируются

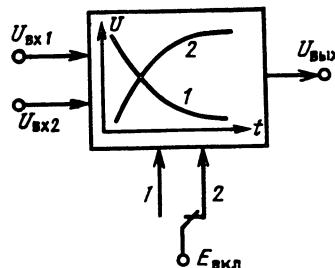


Рис. 3.10.12. К объяснению принципа работы кроссфейдера

два сигнала: один выводится, другой вводится. При подаче  $E_{вкл}$  на вход управления 1 ЗС  $U_{вх1}$  вводится,  $U_{вх2}$  выводится, при подаче  $E_{вкл}$  на вход 2 — наоборот. Режим функционирования задается вручную с пульта управления или программным способом. Кроссфейдеры используют, например, в автоматизированном АПБ (время регулирования — секунды и доли секунды), при электронном монтаже фонограмм (время регулирования — доли, единицы и десятки миллисекунд). К *замкнутым* системам относятся АРУр, в которых управление осуществляется по выходному сигналу (системы с обратной регулировкой). По сравнению с разомкнутыми они имеют ряд преимуществ, свойственных системам с ОС: большее быстродействие, стабильность характеристик системы, более простое УК, менее жесткие требования к УЗ. Недостатки — возможность нарушения устойчивости в целом, ухудшение переходных характеристик, невозможность построения ограничителя без превышения установленного номинального уровня. В *комбинированных* системах управление осуществляется и по входному, и по выходному сигналам. Если цепи прямого и обратного управления функционируют одновременно, система позволяет реализовать преимущества как замкнутой, так и разомкнутой систем. При разновременном функционировании в одной системе могут быть реализованы две разные характеристики, например, на малых уровнях одна, на больших — другая.

По регулируемой величине различаются регуляторы уровня напряжения, громкости, тока и мощности в нагрузке. Регуляторы напряжения наиболее распространены и часто называются преобразователями динамического диапазона ЗС. С их помощью ДД сжимается, ограничивается сверху и снизу и т. д. В АРУр громкости уровень ЗС под воздействием управляющего сигнала изменяется в определенной степени адекватно его субъективной громкости. Регуляторы тока и мощности в нагрузке, как правило, входят в систему защиты мощных усилителей. Если регулируется одна величина, система называется *одномерной*, при нескольких регулируемых величинах — *многомерной*.

В адаптивных системах в УК вводят дополнительный блок адаптации, который изменяет режим работы АРУР в зависимости от характера сигнала (речь, музыка), от его пик-фактора, значения среднего уровня, спектрального состава и т. д.

Назначение систем двойного преобразования (компандерных) — борьба с шумами. Осуществляют компрессирование сигнала на входе канала с шумами и экспандирование (т. е. восстановление исходного ДД) на выходе. В простых компандерных системах, применяемых в основном на линиях связи, проявляются заметные на слух динамические искажения. В студийном оборудовании, в основном в магнитофонах и при грамзаписи, применяют более сложные высококачественные системы двойного преобразования Dolby, Victor, dbx и др.

Различают два режима работы АРУР — установившийся и переходный и соответственно статические и динамические параметры. К статическим относятся амплитудная статическая характеристика и степень преобразования ДД, к динамическим — времена установления и восстановления.

**Статическая амплитудная характеристика** — это зависимость выходного напряжения от входного  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  или в логарифмическом масштабе  $L_{\text{вых}} = f(L_{\text{вх}})$ . По форме амплитудной характеристики различают АРУР, изображенные на рис. 3.10.13. *Компрес-*

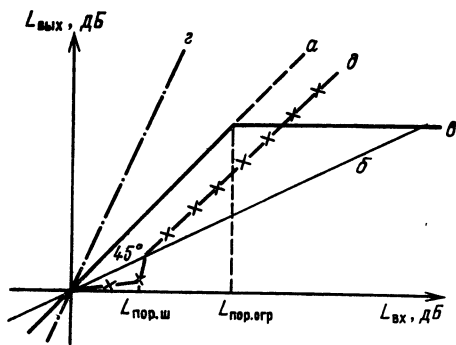


Рис. 3.10.13. Статические амплитудные характеристики автоматических регуляторов уровня (а — усилитель, б — компрессор, в — ограничитель, г — экспандер, д — шумоподаватель)

сор (рис. 3.10.13, б) предназначен для сужения ДД. Его коэффициент передачи с увеличением амплитуды входного сигнала уменьшается. В логарифмическом масштабе это отображается прямой, угол наклона которой меньше 45°. Если коэффициент передачи начинает уменьшаться только после определенного порогового уровня ( $L_{\text{пор}}$ ), компрессор называют пороговым. Обычно его строят по схеме с обратной регулировкой. *Ограничитель* максимальных уровней (рис. 3.10.13, в) служит для ограничения ДД сверху и представляет собой пороговый компрессор с очень большой степенью компрессирования. *Экспандер* (рис. 3.10.13, г) расширяет ДД. Его коэффициент передачи растет с увеличением уровня входного сигнала. Экспандирование может осуществляться до установленного порогового уровня, после которого устройство работает как линейный четырехполюсник. *Шумоподаватель* (рис. 3.10.13, д) является ограничителем минимальных уровней, имеет малый коэффициент передачи для сигналов, уровень которых ниже порогового, и большой для сигналов с уровнем выше порогового. Таким образом, в паузах передачи, когда шумы наиболее заметны, усиление тракта передачи снижается. *Регулятор со сложной статической характеристикой* представляет собой сочетание устройств с различными статическими характеристиками, например компрессора с ограничителем, шумоподавателя с компрессором и т. д.

**Степень или коэффициент преобразования** характеризует отношением регулируемой части выходного диапазона к регулируемой части входного:  $K = 20 \lg(\Delta U_{\text{вых}}/\Delta U_{\text{вх}})$ . При сложном преобразовании определяется отдельно для каждого участка регулируемого ДД. В линейном усилителе он равен 1, при компрессировании и ограничении находится в пределах от 1 до 0, при экспандировании — больше 1. **Время установления**  $t_{\text{уст}}$  — интервал от начала переходного процесса при включении тонального сигнала на входе до момента, при котором сигнал на выходе достигает уровня, на 2 дБ отличающегося от уровня в установившемся режиме. **Время восстановления**  $t_{\text{восст}}$  — интервал между моментом ступенчатого уменьшения уровня тонального входного сигнала и моментом, при котором сигнал на выходе системы достигает уровня, на 2 дБ отличающегося от уровня в установившемся режиме. В ограничителях, выполняющих защитные функции,  $t_{\text{уст}}$  обычно выбирается в пределах от нескольких десятков микросекунд до 5 мс, в обычных компрессорах в пределах 0,5...10 мс, в компрессорах, сжимающих диапазон средних значений, оно увеличивается до 150...200 мс. Время восстановления существенно зависит от характера ЗС: для речевых сигналов оптимальное  $t_{\text{восст}} = 150...500$  мс, для музыкальных увеличивается до 1...3 и даже 5 с. В АРУР часто автоматически изменяются  $t_{\text{восст}}$  в зависимости от характера ЗС, чаще всего пик-фактора.

5. Устройства обработки ЗС на основе временной задержки. Служат для задержки ЗС, создания искусственной реверберации и других звуковых эффектов. **Линии задержки** (ЛЗ) задерживают ЗС на определенный интервал и при самостоятельном использовании предназначены для изменения локализации источника при стереозаписи, для выравнивания времени запаздывания ЗС от различных источников в студиях записи, для задержки сигналов, проходящих к слушателю в озвучиваемых помещениях, и т. п. Время задержки  $t_{\text{зад}}$  изменяется от единиц до сотен миллисекунд и даже до нескольких секунд (например, для регулирования и обработки ЗС с упреждением) ВЛЗ должен быть обеспечен большой ДД, поскольку они могут включаться непосредственно в студийный тракт. По принципу действия ЛЗ делят на акустические, магнитофонные и цифровые. **Акустическая ЛЗ** основана на использовании времени распространения звуковой волны в воздушной среде (в трубке). Время  $t_{\text{зад}}$  определяется расстоянием от излучателя до микрофона, расположенных в трубке. Она требует установки в акустически изолированных помещениях. **Магнитофонная ЛЗ** использует запись на кольцевой магнитной ленте с несколькими воспроизводящими головками. Значение  $t_{\text{зад}}$  задается расстоянием между зазорами головок записи и воспроизведения. Преимущество магнитофонных ЛЗ — легкость получения больших  $t_{\text{зад}}$ , недостаток — быстрый износ ленты и головок, малое значение ОСШ.

**Цифровая ЛЗ** основана на задержке цифрового сигнала, осуществляемой с помощью регистра сдвига или ЗУ с произвольной выборкой. В первом случае  $t_{\text{зад}}$  изменяется относительно крупными ступенями переключением отводов регистров сдвига, во втором — задержанный сигнал может считываться с любой ячейки памяти, и таким образом обеспечиваются мелкие шаги переключения. При использовании в аналоговом тракте на входе и выходе блока задержки устанавливаются АЦП и ЦАП. Цифровая ЛЗ регулирует  $t_{\text{зад}}$  в широких пределах без существенных искажений сигнала и в последнее время практически вытеснили ЛЗ на других физических принципах. В настоящее время серийно выпускается отечественная стереофоническая цифровая ЛЗ типа Ф4286. Она имеет два входа, восемь выходов и способна задерживать ЗС на 0...820 мс ступенями 0,1 мс независимо на каждом из восьми выходов. Динамический диапазон не менее 85 дБ.



**Ревербератор** — устройство, искусственно создающее сигнал, имитирующий звучание в помещениях разного объема и конфигурации. Акустические свойства помещения оцениваются временем реверберации  $\tau_{рев}$  (время, за которое мощность процесса затухания ЗС уменьшится на 60 дБ при выключении источника звука). Оно колеблется в пределах 0,5...1 с для обычного жилого помещения и до 5 с и более в большом гулком зале, соборе. Для лучших концертных залов  $\tau_{рев} = 1,2...1,5$  с.

К аналоговым схемам искусственной реверберации относятся акустические камеры (эхо-камеры), листовой, пружинный и магнитный ревербераторы. *Эхо-камера* — помещение объемом 30...300 м<sup>3</sup>, стены, пол и потолок которого хорошо отражают звук. Во избежание резонансов объема и стоячих волн стены непараллельны. Воздушный объем помещения возбуждается громкоговорителем, на который подается исходный сигнал. Микрофон (или микрофоны) устанавливается так, чтобы принимать в основном многократно отраженный ЗС. *Листовой ревербератор* использует изгибные колебания тонкого (0,4...0,5 мм) металлического (стального, латунного, реже — сплава золота) листа. В одной точке листа закреплен возбудитель, в другой — приемник звуковых колебаний. Время  $\tau_{рев}$  регулируется изменением расстояния между листом и демпфирующим материалом. *Пружинный ревербератор* основан на использовании крутильных колебаний стальной пружины, к одному из концов которой прикрепляется возбудитель, а к другому — приемник колебаний. Время  $\tau_{рев}$  регулируется изменением расстояния между поглотителем и пружиной. Пружинные ревербераторы имеют худшие электроакустические характеристики, чем листовые и эхо-камеры, но малогабаритны. Их используют в основном для внестудийного вещания. *Магнитный ревербератор* построен на магнитофонной ЛЗ и имеет несколько (до 8) звуковоспроизводящих головок, сигналы которых смешиваются при определенном уменьшении уровня от первой к последней. В настоящее время аналоговые ревербераторы в связи с широким распространением высококачественных цифровых потеряли свое значение в силу малых частотного и динамического диапазонов и низких эксплуатационных характеристик.

**Цифровой ревербератор** (ЦР) представляет собой специализированный быстродействующий процессор (10 млн. операций в секунду и более), снабженный АЦП и ЦАП на входе и выходе. Программы работы, обеспечивающие получение заданной реверберации, записаны в ПЗУ; ряд параметров можно изменять и вручную. Основан на схеме Шредера, представляющей собой параллельно-последовательное соединение гребенчатых и всепропускающих фильтров. Гребенчатые фильтры (рис. 3.10.14, а) определяют долговременную

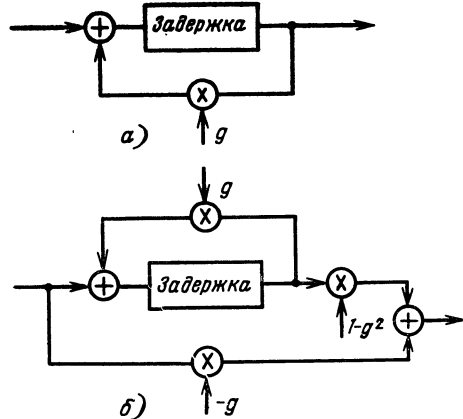


Рис. 3.10.14. Структурные схемы элементарных цифровых фильтров

реверберацию, а всепропускающие (фазосдвигающие (рис. 3.10.14, б)) — требуемую плотность потока эхосигнала в начальный период реверберационного отклика. Число задержанных сигналов, их уровень, фаза, время задержки определяют характер и качество реверберации. Современные ЦР имеют аналоговые входы (1—2) и выходы (2—4). Они дают практически неограниченное  $\tau_{рев}$  (до 70 с). Большинство ЦР имеет несколько программ, заложенных при изготовлении. Динамический диапазон до 86...90 дБ, частотный от 20...30 до 15 000 Гц. Они малогабаритны, не подвержены влиянию механических колебаний и вибраций, не создают специфической тембральной окраски, свойственной механическим и электромеханическим элементам.

Принцип действия устройств *звуковых эффектов* (ЗЭ) основан, как и в ревербераторах, на смешивании прямого (незадержанного) сигнала с одним или несколькими задержанными, но времена задержек изменяются здесь с разной скоростью и по различным законам. Устройства ЗЭ широко применяют в процессе обработки ЗС при записи и передаче, а также при исполнении произведений на электромузыкальных инструментах. Система образования большинства ЗЭ иллюстрируется обобщенной схемой (рис. 3.10.15) и

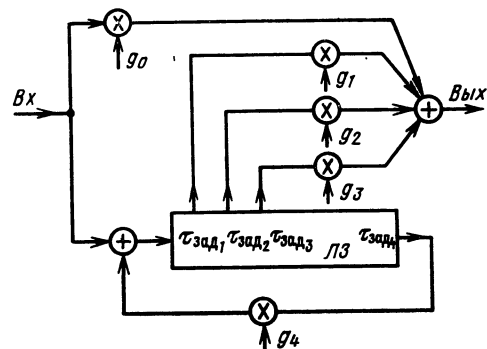


Рис. 3.10.15. Обобщенная схема образования звуковых эффектов

табл. 3.10.2. Времена задержки  $\tau_{зад1}... \tau_{зад4}$  и коэффициенты  $g_0...g_4$  могут быть либо фиксированными, регулируемые пользователем, либо переменными, т. е. изменяемыми в процессе функционирования по случайному или периодическому закону. При  $g_0=g_1=g_2=g_3=g_4=0$  (цепи разомкнуты) и  $g_3=1$  (цепь ра-

Таблица 3.10.2. Образование звуковых эффектов на основе временной задержки ЗС (в таблице следующие сокращения: П — периодическая, Р — регулируемая, С — случайная, Ф — фиксированная задержки)

Вид эффекта	Задержка				Коэффициент				
	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$g_0$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
Задержка	—	—	Р	—	0	0	0	1	0
Эхо однократное	—	—	Р	—	1	0	0	Р	0
Эхо многократное	Ф	—	—	Р	1	Р	0	0	Р
Подчеркивание	—	—	Ф	—	1	0	0	Р	0
«Вибрато»	—	П	—	—	1	0	Р	0	0
Дуэт	С	—	—	—	1	1	0	0	0
Хор	С	С	—	—	1	1	1	1	0
«Фленжинг»	Ф	П	—	—	1	Ф	Р	0	0



зомкнута) получается задержка ЗС с регулируемым  $\tau_{\text{зад}}$ . Эффект *эха* — имитация отражений от одной или нескольких поверхностей, расположенных на большом расстоянии. Период повторения регулируется величиной  $\tau_3$ ; она должна быть не менее 50 мс, поскольку при меньшей задержке два сигнала не различаются на слух, как раздельно звучащие. При подаче задержанного сигнала в цепь обратной связи получают многократное эхо, при  $g_4 < 1$  — затухающее, при  $g_4 > 1$  — нарастающее (звучание, не встречающееся в природе). *Подчеркивание* (dubble—tracking ADT) — эффект увеличения громкости без повышения выходной мощности. Достигается добавлением к прямому ЗС сигнала с фиксированной задержкой в пределах 20...100 мс (20 мс для бас-гитары, 25...45 мс для вокалиста, 100 мс для хора). При этом характер звучания не изменяется. При дальнейшем увеличении  $\tau_{\text{зад}}$  становится заметным изменение звучания, четко слышен второй голос, т. е. возникает эффект дублирования. *Вибрато* — эффект типа гавайской гитары, можно получить периодическим изменением  $\tau_{\text{зад}}$  по синусоидальному закону или по треугольной кривой. *Дует* — один голос звучит как два. Достигается суммированием прямого и задержанного сигналов. Задержка относительно медленно меняется по случайному закону в пределах от 2 до 20...25 мс. *Хор* — один голос звучит как хор, один инструмент — как оркестр однородных инструментов. Образуется аналогично эффекту «дует», но к прямому сигналу добавляется несколько задержанных сигналов, времена задержек которых изменяются независимо друг от друга. *Фленжинг* — специфическое звучание, которое возникает при пропускании ЗС через фильтр, АЧХ которого имеет непрерывно перемещающиеся «горбы» и «впадины», в результате чего подчеркиваются сигналы то одних, то других частот. Реализуется суммированием двух сигналов — с фиксированной и переменной задержками. Задержки одинаковы на всех частотах. Переменное  $\tau_{\text{зад}}$  меняется в пределах от 500 мкс до десятков миллисекунд с частотой от сотых герца до 1 Гц.

Ряд ЗЭ не отражен в таблице: «фейзинг», повтор, реверс и др. *Фейзинг* — специфическое звучание, при котором частоты «горбов» и «впадин» фильтра не меняются. Значение  $\tau_{\text{зад}}$  обратно пропорционально частоте, расположение «горбов» и «впадин» — через равные музыкальные интервалы. Для создания эффекта *повтора* отрывок длительно до нескольких сотен миллисекунд запоминают и затем воспроизводят один или несколько раз подряд. Подмешивая такой сигнал к прямому, получают своеобразный аккомпанемент. При изменении уровня задержанного сигнала получается многократное эхо, затухающее или возрастающее. Для создания эффекта *реверса* отрывок запоминается, а потом воспроизводится в обратном порядке. Своеобразное звучание создается за счет необычной динамики реверсированного сигнала: медленное нарастание, быстрый спад. Эффект используется так же, как обычный повтор.

Ряд ЗЭ основан на изменении тональности сигнала без изменения времени его звучания и, наоборот, на изменении времени воспроизведения записанного отрывка без заметного на слух изменения тональности. Для транспозиции тона программный материал разделяется на достаточно короткие отрезки и осуществляется временное компрессирование и экспандирование этих отрезков, а затем их рекомбинация. При этом тональность может быть сдвинута на какой-то интервал гармонического звукограда. Высотой тона можно управлять от внешнего источника — это осуществляет так называемый *гармонайзер* — устройство, в котором мелодия модулируется речью, пением, изменяется вместе с освещением зала и т. д.

6. Устройства обработки стереофонического сигнала. Локализация источника звука при стереофоническом восприятии обусловлена

разностью интенсивностей сигналов от источника, входящих к правому и левому ушам человека, а также разностью фаз сигналов на низких и разностью времен прихода на высоких частотах. Поэтому при формировании стереофонической звуковой картины применяются устройства, обеспечивающие разность уровней в правом и левом каналах (например, панорамный регулятор), ЛЗ, фазовращатель, иногда — регуляторы базы и направления.

*Панорамный регулятор* предназначен для размещения сигнала моноисточника в стереофонической «картине». Его вводят на выходе входных, а иногда групповых и дополнительных каналов звукорежиссерского тракта. Он имеет один вход и два выхода (рис. 3.10.16), которые подключают к левому L и пра-

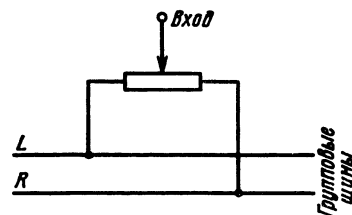


Рис. 3.10.16. Схема панорамного регулятора

вому R каналам последующего стереофонического тракта. В среднем положении движка потенциометра напряжение сигнала делится поровну между каналами, виртуальный источник слышится в центре базы громкоговорителей. При перемещении движка в одно из крайних положений виртуальный источник перемещается соответственно вправо и влево. *Линию задержки* включают в один из стереоканалов. Различаемое человеком минимальное время задержки 3 мс. *Фазовращатель* предназначен для создания сдвига фазы между двумя звуковыми сигналами на  $90 \pm 3^\circ$  во всем диапазоне звуковых частот и дальнейшего суммирования сигналов. Используется в АЦ для передачи стереофонической программы по монофоническим каналам. *Регулятор базы и направления*, иногда называемый *ригхтмикшером*, применяют в MS и XY стереофонических системах. Он позволяет изменять ширину базы регулировать направление звучания в пределах  $\pm 90^\circ$ . Направление и базу регулируют с помощью двух независимых линейных потенциометров. При максимальном значении уровня сигнала S звуковая картина простирается от левого до правого громкоговорителя. Направления регулируют подмешиванием сигнала M в один из каналов с изменением его величины и полярности. Специфическим параметром регулятора базы и направления является реальное разделение между двумя стереоканалами в тех случаях, когда коэффициент передачи в одном из них равен 0. Отечественный регулятор III поколения обеспечивает это разделение до значения 40 дБ.

7. Измерители уровня (ИУ) — приборы для отображения значений уровня ЗС в динамическом режиме. По ИУ производятся установочная регулировка усиления во всех звеньях звукового тракта и оперативная регулировка уровня на пульте звукорежиссера. В оборудовании АСБ III и IV поколений используют 2—4 главных ИУ, и индивидуальные ИУ в каждом входном, групповом и выходном каналах. Состоит ИУ из преобразователя, где измеряемый сигнал преобразуется в сигнал, адекватный его контролируемому параметру, показывающего прибора (ПП), имеющего шкалу и указатель. Значения основных параметров ИУ регламентирует ГОСТ 21185 «Измерители уровня квазипиковые. Типы и основные параметры. Методы испытаний» и Публикация 268—10 МЭК «Оборудование для электроакустических систем. Ч. 10. Измерители уровня сигналов», 1978 г. с дополнениями к ней.

Основной параметр ИУ — *время интеграции* — характеризует способность регистрировать короткие выбросы ЗС. Определяется как длительность одиночной прямоугольной посылки синусоидального сигнала номинального уровня частотой 5000 Гц, при которой показания прибора оказываются на 2 дБ ниже показаний при длительном воздействии сигнала с тем же уровнем и той же частотой. Кроме того, нормируются времена срабатывания и возврата указателя, его переброс (только для магнитоэлектрических ПП), динамический диапазон и вид шкалы, а также параметры, типичные для обычных электронных приборов: чувствительность и входное сопротивление, погрешность регулировки и рабочий диапазон частот. Для ИУ с дискретным ПП нормируют ряд дополнительных характеристик: число дискретных элементов, разрешающую способность, яркость свечения, скорость включения элементов и др.

По *виду контролируемых уровней* ИУ подразделяют на измерители квазипиковых (тип I — для оперативной и тип II — для установочной регулировок) и средних значений уровня. По *способу реализации преобразователя и форме представления измеряемого сигнала* различают аналоговые (АИУ), аналого-цифровые (АЦИУ) и цифровые (ЦИУ) измерители уровня. По *типу применяемого ПП* различают ИУ с магнитоэлектрическими и электронными (аналоговыми и дискретными) ГП, по *виду указателя* — ИУ со стрелкой, с индикацией световым штрихом, световым столбиком. Существуют одно-, двух- и многоканальные ИУ.

*Квазипиковые ИУ* измеряют значения сигналов, близкие к пиковым («почти пиковые»). Они имеют небольшое (10 мс) время интеграции, необходимое для регистрации достаточно коротких импульсов ЗС музыки и речи, и относительно большое (1,5...2 с) время возврата. При коротких ЗС квазипиковые ИУ показывают пониженный уровень: сигналы длительностью 5 мс регистрируются с погрешностью 2 дБ, при 3 мс погрешность увеличивается до 4 дБ и т. д. Однако эта погрешность не нормируется, так как даже большие нелинейные искажения при длительностях сигналов меньше 10 мс малозаметны на слух. Квазипиковые ИУ типа I имеют динамический диапазон измеряемых уровней 44...55 дБ, сравнительно большую шкалу (около 160 мм), высокую точность и стабильность показаний; ИУ типа II имеют меньший динамический диапазон измеряемых уровней (23 дБ) и более простое устройство. Типичными представителями квазипикового ИУ типа I являются ИУ-12, ИУ-14, типа II — ИУ-3.

Измерители уровней *средних значений*, называемые часто *вольтметрами* (VU-meter), дают показания, пропорциональные средним значениям измеряемых сигналов. Их время интеграции, как и время возврата, примерно равно 165 мс. Показания этих приборов ближе к значениям уровня громкости, но хуже отображают пиковые уровни.

В качестве ПП в АИУ применяют магнитоэлектрические приборы (например, М-96) и линейные газоразрядные индикаторы (ИН-9 и ИН-13). В АЦИУ и ЦИУ в качестве ПП используют шкально-дискретные индикаторы (ШДИ), шкала которых состоит из множества дискретных элементов. Наиболее распространены светодиодные (СИД) и газоразрядные (плазменные) ШДИ, за рубежом называемые «Барграф». Для управления ШДИ используют параллельные АЦП (при небольшом числе дискретных элементов) и последовательные. Примером АЦИУ может служить ИУ МАЕ-113 на 32 светодиодах венгерского производства. В многоканальных ИУ в качестве ПП применяют ЭЛТ (отечественный индикатор на 12 каналов — 8Э79) и плазменные индикаторы (на газоразрядных индикаторных панелях переменного тока).

8. **Контроль стереосигналов.** Кроме контрольного прослушивания при стереофонии требуется объективный контроль уровня сигнала, баланса стереоканалов по громкости, правильности фазировки и совместимости. Под совместимостью понимается обеспечение удовлетворительного качества звучания стереофонической передачи при приеме на обычный монофонический приемник. Уровень сигнала контролируют по двум квазипиковым индикаторам уровня, подключенным к левому и правому каналам. Для контроля баланса и фазировки применяют стереогониометры (иногда называемые стереомониторами и стереоиндикаторами) и стереокоррелометры. По принципу действия эти устройства во многом близки. *Стереогониометр* представляет собой осциллографическую трубку, на вертикальные пластины которой подается суммарный сигнал левого и правого каналов, а на горизонтальные — разностный. При реальном ЗС передача совместима, если весь экран засвечен сложным узором с примерно одинаковыми размерами по всем направлениям или узор несколько вытянут по вертикали, т. е. стереосигнал полностью модулирован с хорошей шириной базы. Передача несовместима, если фигуры растянуты по горизонтали, т. е. стереосигнал гасится поляризованным стереосигналом. Если в передаче нарушен стереофонический баланс, то изображение на экране имеет наклон к горизонтали вправо или влево. *Стереокоррелометр* дает представление только о правильности фазировки стереосигналов, имеет показывающий прибор со стрелочным или светодиодным указателем. Показывает мгновенные значения разницы фаз между левым и правым стереоканалами, характеризующие степень корреляции  $r$ . Обычно значение  $r=0,3...0,7$  и возрастает при сужении базы стереосигнала. На рис. 3.10.17 приведено сравнение показаний гониометра и стереокоррелометра. В студийной аппаратуре используют отечественные гониометры Г2 и МЭЗ-907 и стереокоррелометры фирмы Тесла-Электроакустика (ЧСР) типов ЕЖК-021, ESS-2010, ESS-136.

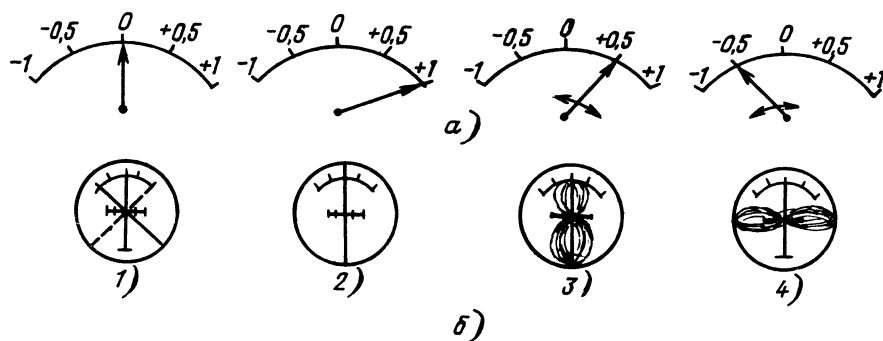


Рис. 3.10.17. Показания гониометра и стереокоррелометра: а — показания коррелометра, б — показания гониометра (1 — в правом или левом канале нет сигнала. Виртуальный источник слева или справа; 2 — сигналы в правом и левом каналах равны по уровню и фазе. Виртуальный источник в центре; 3 — оба канала передают когерентную смесь стереосигналов; 4 — оба канала передают смесь стереосигналов с перевернутой полярностью)

## ЧАСТЬ 4.

### ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ПЕРЕДАЮЩАЯ СЕТЬ

#### 4.1. Построение сетей ТВ вещания

**4.1.1. Структура сетей.** Сеть ТВ вещания представляет собой взаимосвязанные технические комплексы, осуществляющие формирование электрических сигналов ТВ программ, доведение их до потребителя и воспроизведение изображения на экранах телевизоров. Комплекс сложного ТВ оборудования, предназначенного для преобразования оптических изображений в электрические сигналы, размещается в ТВ центрах (телецентр, ТЦ). Сформированные сигналы поступают в распределительную сеть и далее на ТВ радиостанции, излучающие их на радиочастоте соответствующего канала, воспроизводящие изображение и звук.

Телецентр — распределительная сеть, передающие и приемные устройства; эти четыре основных звена образуют тракт *средств ТВ вещания* (СТВ), который сохранился практически неизменным до наших дней (рис. 4.1.1). Состав и технические решения каждого

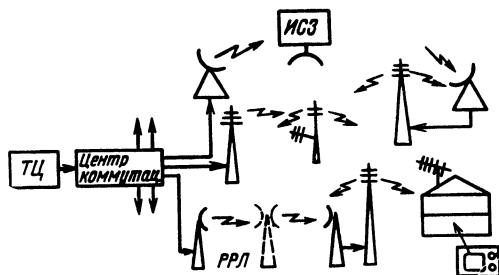


Рис. 4.1.1. Обобщенная структурная схема средств ТВ вещания

звена претерпевают принципиальные изменения с развитием техники.

*Первое звено тракта* СТВ — телецентры — располагают в столицах государств, административных центрах, национальных и экономических районах, где имеется необходимость и возможность создавать ТВ программы. В бывшем СССР с его многонациональной культурой и огромной территорией, простирающейся через 11 часовых поясов, созданы телецентры в столицах союзных и автономных республик, многих краевых и областных центрах — всего более 120. В США также имеется множество небольших по объему ТЦ для создания местных коммерческих и рекламных программ.

Второе и третье звено (средства распределения и трансляции) тракта СТВ образуют взаимосвязанную ТВ передающую сеть. Они определяют степень охвата ТВ вещанием населения, а их технический уровень характеризует развитие ТВ вещания в стране. *Второе звено тракта* (сеть распределения сигналов ТВ программ) состоит из междугородных ТВ каналов, орга-

низуемых в наземных (преимущественно радиорелейных (РРЛ) и в некоторых случаях кабельных) и спутниковых линиях связи (см. п. 4.7). Это развитая древовидная сеть симплексных каналов общей протяженностью многие тысячи или сотни тысяч километров. *Третье звено тракта* СТВ — передающая ТВ радиостанция (ПТС). В ее состав входят ТВ передатчик, опора (мачта или башня) с размещенными на ней передающими антеннами, строениями и службами. Наличие в составе передающей ТВ станции высокой опоры позволяет использовать ее и для других целей, например антенн радиовещательного передатчика с частотной модуляцией, радиовещательного средневолнового радиопередатчика, приемных антенн радиолинии передвижных ПТС (см. 3.3.5), магистральных РРЛ, высотных датчиков метеослужбы, антенн связи с подвижными объектами и др. Передающую ТВ станцию обычно называют передающей станцией, ретрансляционной ТВ станцией, радиотелевизионной передающей станцией или центром.

Составной частью *четвертого звена тракта* СТВ являются системы кабельного ТВ. Простейшая состоит из приемной антенны, от которой сигналы по кабелям подводятся к телевизорам в пределах одного дома или подъезда; такие системы называют *антенной коллективной приемом*. Сложные разветвленные системы обслуживают тысячи абонентов. Системы кабельного ТВ можно применять для расширения зоны действия основной станции аналогично назначению ТВ ретранслятора малой мощности (см. п. 4.5). Это единственное средство обеспечения условий нормального приема сигналов ТВ программ в зонах «радиотеней», возникающих в отдельных районах городов вследствие застройки их разновысокими домами.

Границы звеньев тракта, а также их полный состав, оговорены ГОСТ 18471—83 [14]. Как видно из предыдущего, звено тракта — функционально законченный его участок. К нему относятся все составные части тракта, показанные на рис. 4.1.2. Отдельные звенья связаны ТВ соединительными линиями (СЛ), которые включены в состав звена на его выходе. Соединительные линии могут быть с активными корректорами (усилителями, преобразователями) и пассивными (фильтрами). Пассивный корректор используют при длине кабеля, имеющего неравномерность АЧХ не более 4 дБ (ослабление на высших частотах спектра передаваемого сигнала 6 МГц). Такой корректор — составная часть звена. Соединительные линии с активным корректором представляют собой отдельное звено.

Таким образом, электрическая граница звена по входу — входные зажимы модулятора, усилителя и т. п., а по выходу — конец пассивной СЛ, служащей для доведения сигнала до входа следующего звена.

**4.1.2. Телевизионные стандарты и частоты.** В процессе работы (п. 4.3—4.5) ТВ радиостанция формирует следующие радиосигналы: *радиосигнал изображения* — несущая изображения, модулированная полным (пол-

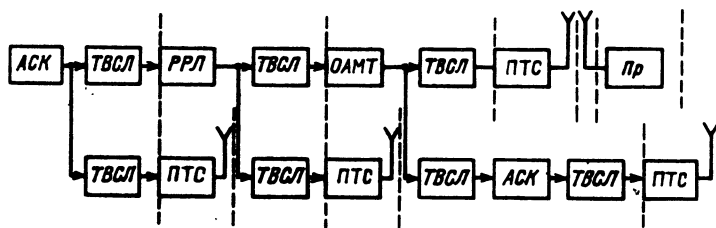


Рис. 4.1.2. Структурная схема типового тракта (АСК — аппаратно-студийный комплекс, ТВСЛ — соединительная линия, РРЛ — радиорелейная линия, ОАМТ — оконечная аппаратная междугородного, ПТС — передающая телевизионная станция, Пр — ТВ приемник (телевизор), — — — границы звена тракта)

ным цветовым) ТВ сигналом: радиосигнал звукового сопровождения — несущая звука, модулированная сигналом звукового сопровождения; радиосигнал вещательного телевидения — совокупность радиосигналов изображения и звукового сопровождения одной ТВ программы.

Полосу радиочастот, отводимую для передачи радиосигналов вещательного ТВ одной программы, называют *радиоканал*. Согласно Регламенту радиосвязи<sup>1</sup> [45] и ряда международных соглашений для ТВ вещания используются земные передающие станции на радиоволнах метрового и дециметрового диапазонов. Спектры метровых волн занимают полосу частот 30...300 МГц (очень высокие частоты (ОВЧ или VHF, диапазон № 8), а дециметровые 300...3000 МГц (ультравысокие частоты (УВЧ или UHF, диапазон № 9)).

Используемые для ТВ вещания частоты, МГц, условно разбиты на пять диапазонов, называемых также *полосами*:

#### Диапазоны метровых волн:

I . . . . .	41...68
II . . . . .	87...100
III . . . . .	162...230

#### Диапазоны дециметровых волн:

IV . . . . .	470...582
V . . . . .	582...960

Граничные частоты I—III диапазонов в ряде стран несколько различаются. В России в метровом диапазоне волн для ТВ вещания используют полосы частот 48,5...66, 76...100 и 174...230 МГц, для звукового радиовещания с частотной модуляцией, 66...74 МГц. В большинстве стран для радиовещания используют полосу 87,5...108 МГц.

*Стандарты разложения* ТВ изображения, отношения числа строк в кадре и числа кадров в секунду, регламентированы. Их обозначают латинскими буквами (табл. 4.1.1). Для ТВ вещания в мире используют два стандарта разложения 625/25 и 525/30. Однако из-за разновидностей сигналов имеются разновидности и стандартов. До 1986 г. в Англии сохранился стандарт разложения А, а во Франции — Е, по которым дублировались по одной из программ стандартов J и L. Вещание по этим стандартам было прекращено с окончанием срока амортизации ранее выпущенных телевизоров (около 20 лет).

При одинаковых стандартах в разных странах имеется разница в номиналах несущих радиочастот изображения и звукового сопровождения, что видно из данных табл. 4.1.2 и 4.1.3. Несущие звукового сопровождения и частоты границ канала могут быть вычислены по данным табл. 4.1.1.

<sup>1</sup> Регламент радиосвязи — документ, регламентирующий порядок использования радиочастот различными службами с целью исключения взаимных помех. Действующий Регламент введен с 1982 г.

Таблица 4.1.1 Характеристики ТВ систем

Стандарт	Число строк разложения	Полоса частот, МГц		Разнос несущих частот, МГц	Остаток нижней боковой, МГц	Полярность модуляции изображения <sup>1</sup>	Модуляция звукового сопровождения
		видео	радио				
A	405	5	3	—3,5	0,75	+	АМ
B	625	5	7	5,5	0,75	—	ЧМ
C	625	5	7	5,5	0,75	+	АМ
D	625	6	8	6,5	0,75	—	ЧМ
E	819	10	14	±11,5	2,0	+	АМ
C	625	5	8	5,5	0,75	—	ЧМ
H	625	5	8	5,5	1,25	—	ЧМ
J	625	5,5	8	6	1,25	—	ЧМ
K	625	6	8	6,5	0,75	—	ЧМ
K <sup>1</sup>	625	6	8	6,5	1,25	—	ЧМ
L	625	6	8	6,5	1,25	+	АМ
M	525	4,2	6	4,5	0,75	—	ЧМ
N	625	5,2	6	4,5	0,75	—	ЧМ

<sup>1</sup> + положительная, — отрицательная.

Таблица 4.1.2. Значения используемых несущих частот изображения при стандарте разложения 625/25\*

Номер канала	Несущая частота изображения <sup>1</sup> МГц	ГДР, западноевропейские страны, кроме Франции, Монако, Италии и членов ОИРТ, часть стран Африки, Стандарт В	
СССР, НРБ, ВНР, МНР, ПНР, СРР, ЧССР, Албания Стандарт Д			
P1	49,75	E-2	48,25
P2	59,25	E-2A	49,75
P3	77,25	E-3	55,25
P4	85,25	E-4	62,25
P5	93,25	E-5	175,25
P6	175,25	E-6	182,25
P7	183,25	E-7	189,25
P8	191,25	E-8	196,25
P9	199,25	E-9	203,25
P10	207,25	E-10	210,25
P11	215,25	E-11	217,25
P12	223,25	E-12	224,25
Франция, Монако Стандарт L		Страны Африки, использующие Стандарт K <sup>1</sup>	
2	49,25	K <sup>1</sup> 4	175,25
3	54,00	K <sup>1</sup> 5	183,25
4	57,25	K <sup>1</sup> 6	191,25
5	176,00	K <sup>1</sup> 7	199,25
6	184,00	K <sup>1</sup> 8	207,25
7	192,00	K <sup>1</sup> 9	215,25
8	200,00		
9	208,00		
10	216,00		

\* Данные приведены по состоянию на 1985 г.

Продолжение табл. 4.1.2

Италия, Стандарт В		Северная Ирландия, Стандарт J	
A	53,75	A	45,75
B	62,25	B	53,75
C	82,25	C	61,75
D	175,25	D	175,25
E	183,75	E	183,25
F	192,25	F	191,25
G	201,25	G	199,25
H	210,25	H	207,25
H <sup>1</sup>	217,25	I	215,25
		J	223,25
Марокко; Стандарт В		Южная Африка; Стандарт I	
M 4	163,25	4	175,25
M 5	171,25	5	183,25
M 6	179,25	6	191,25
M 7	187,25	7	199,25
M 8	195,25	8	207,25
M 9	203,25	9	215,25
M 10	211,25	10	223,25
		11	231,25
		13	247,43
Австралийский Союз, Стандарт В		Новая Зеландия, Стандарт В	
2	57,25	1	45,25
6	138,25	2	55,25
7	175,25	3	62,25
8	189,25	4	175,25
10	209,25	5	182,25
11	216,25	6	189,25
28	527,25	7	196,25
29	534,25*	8	203,25
.	.	9	210,25
.	.		
68	807,25		
69	814,25		
Китай; Стандарт D		Несущие частоты в дециметровом диапазоне для всех стран, кроме Китая и Австралии; Стандарт 625/25	
C-1	49,75	21	471,25
C-2	57,75	22	479,25***
C-3	65,75	.	.
C-4	77,25	.	.
C-5	85,25	.	.
C-6	168,25	80	943,25
C-7	176,25	81	951,25
C-8	184,25		
C-9	192,25		
C-10	200,25		
C-11	208,25		
C-12	216,25		
C-13	471,25**		
.	.		
.	.		
C-24	559,25		
C-25	605,25		

Окончание табл. 4.1.2

Китай; Стандарт D		Несущие частоты в дециметровом диапазоне для всех стран, кроме Китая и Австралии; Стандарт 625/25	
.	.		
.	.		
C-36	693,25		
* Значения несущих частот изображения, МГц, пропущенных номеров каналов: $f_{из} = 527,25 + 7(N-28)$ .		*** Значения несущих частот изображения, МГц, пропущенных номеров каналов: $f_{из} = 471,25 + 8(N-21)$ .	
** Значения несущих частот изображения, МГц, для каналов: C-13—C-23; $f_{из} = 471,25 + 8 \times (N-13)$ C-25—C-36; $f_{из} = 605,25 + 8 \times (N-25)$ .			

Таблица 4.1.3. Значения используемых несущих частот изображения при стандарте разложения 525/30

Номер канала N	Несущая частота изображения, МГц	Япония, Стандарт M	
США, Куба, Канада, большинство стран Южной Америки и Океании, Стандарт M			
A-2	55,25	j-1	91,25
A-3	61,25	j-2	97,25
A-4	67,25	j-3	103,25
A-5	77,25	j-4	171,25
A-6	83,25	j-5	177,25
A-7	175,25	j-6	183,25
A-8	181,25	j-7	189,25
A-9	187,25	j-8	193,25
A-10	193,25	j-9	199,25
A-11	199,25	j-10	205,25
A-12	205,25	j-11	211,25
A-13	211,25	j-12	217,25
A-14	471,25	j-13	471,25
A-15	477,25*	j-14	477,25*
.	.	.	.
.	.	.	.
A-82	879,25	j-61	759,25
A-83	885,25	j-62	765,25
* Значения несущих частот изображения, МГц, пропущенных номеров каналов: $f_{из} = 471,25 + 6(N-14)$ .		* Значения несущих частот изображения, МГц, пропущенных номеров канала $f_{из} = 471,25 + 6(N-13)$ .	

**4.1.3. Основы планирования сети** Планирование обслуживания телевидением заданной территории — это выбор оптимальных значений параметров ПТС (частотного канала, мощности, высоты подъема передающей антенны) и места ее расположения. В силу специфики распространения радиоволн метрового и дециметрового диапазонов радиус действия ПТС незначительно превышает расстояние прямой видимости между передающей и приемной антеннами, которое зависит от высоты подъема антенн над поверхностью Земли. Мощность определяет только напряженность поля в зоне прямой видимости. Для увеличения зоны действия станции ан-

тенну следует поднимать на максимальную высоту, используя и высоты местности. В качестве типовых в России применяют опоры высотой 200...300 м со значением мощности радиопередатчиков в канале изображения 5, 25 и 50 кВт. В этом случае радиус приема составляет 60...100 км. Поэтому для обеспечения повсеместного приема необходимо сооружать большое число ПТС, отстоящих друг от друга на расстояние не более 100...150 км. Так, для обеспечения вещания по всей территории России при высоте подъема антенн на 100 м (радиус действия около 50 км) требуется около 3000 ПТС, а при высоте подъема 350 м (радиус около 100 км) — 1000 станций. Мощные ПТС строят в густонаселенных районах: в зоне действия существующих 600 мощных станций проживает около 80% населения страны. Строительство ПТС в районах с уменьшающейся плотностью населения снижает экономическую эффективность, поэтому при сохранении темпов развития передающей сети (за пятилетие вводят около 100 мощных ПТС) прирост охвата населения страны ТВ вещанием снизился с 20 до 5%. В то же время затраты на сооружение ПТС возрастают, так как строить приходится в удаленных и труднодоступных местах. Для полного охвата населения страны ТВ вещанием широко используют *ретрансляторы*. Это станции малой мощности (радиопередатчик в канале изображения 1...100 Вт). При высоте подъема передающей антенны 20...50 м радиус их действия составляет 2...15 км.

Ретрансляторы можно комплектовать специальными приемными устройствами и высокоэффективными антеннами для ретрансляции сигналов мощной ПТС, что расширяет зону ее приема. Из-за дальнего распространения волн метрового диапазона, особенно первых ТВ каналов, в зонах со слабым уровнем сигнала имеются помехи приему от других ПТС, поэтому ретрансляторы могут и не обеспечить заданное качество изображения. Телевизионные ретрансляторы успешно используют для создания условий приема в теневых зонах, образуемых рельефом местности в радиусе действия мощной станции, например, расположенных возле крутых и высоких берегов рек, возвышенностей в гористой местности, где

поселки, как правило, находятся в ущельях. Приемную антенну ретранслятора обычно устанавливают на возвышенности, где уровень сигнала высок и устойчив, а излучение направляют на затененную зону. Число ТВ ретрансляторов обычно во много раз превышает число мощных ПТС, а доля населения, проживающего в зоне их действия, значительно меньше, чем в зоне приема мощных ПТС.

В качестве каналов подачи сигналов ТВ программ длительное время использовали РРЛ и кабельные линии связи. С появлением простых спутниковых распределительных систем (РС) типа «Экран» и «Москва» (п. 4.7) сигналы ТВ программ передаются практически в любую точку страны. Эти РС широко используют для подачи сигналов на ретрансляторы малой мощности.

При планировании ТВ передающей сети необходимо учитывать наличие 11 временных поясов на территории с востока на запад (10 000 км), так как в каждом из них программу нужно передавать в удобное для зрителей время. Общенациональную единую для всех программу формируют повторяющимися сеансами (блоками) с временным сдвигом. Этот сдвиг может быть либо опережающим, если программа создается для западной части страны, либо запаздывающим, если для восточной. Территория бывшего СССР разбита на пять вещательных зон с учетом разницы во времени внутри зоны не должна превышать 1 ч. Так как два восточных часовых пояса объединены, число часовых поясов 10. В направлении с востока на запад вещательные зоны именуют А, Б, В, Г и М. Соответственно программу ЦТ, создаваемую в Москве, вначале передают зону А с опережением на 8 ч относительно московского времени, затем в зону Б с опережением на 6 ч и т. д. В зоне М временного сдвига нет (рис. 4.1.3). Сдвинутые по времени блоки первой программы называют «Орбита 1» (2—4) и для зоны М — Первая Общесоюзная программа (программу «Орбита-4» называют также «Программа Восток»). Вторую программу называют «Блок 1» (2, 3...) Второй Общесоюзной программы ТВ. Местные программы создают и транслируют в каждой зоне исходя из местного времени.

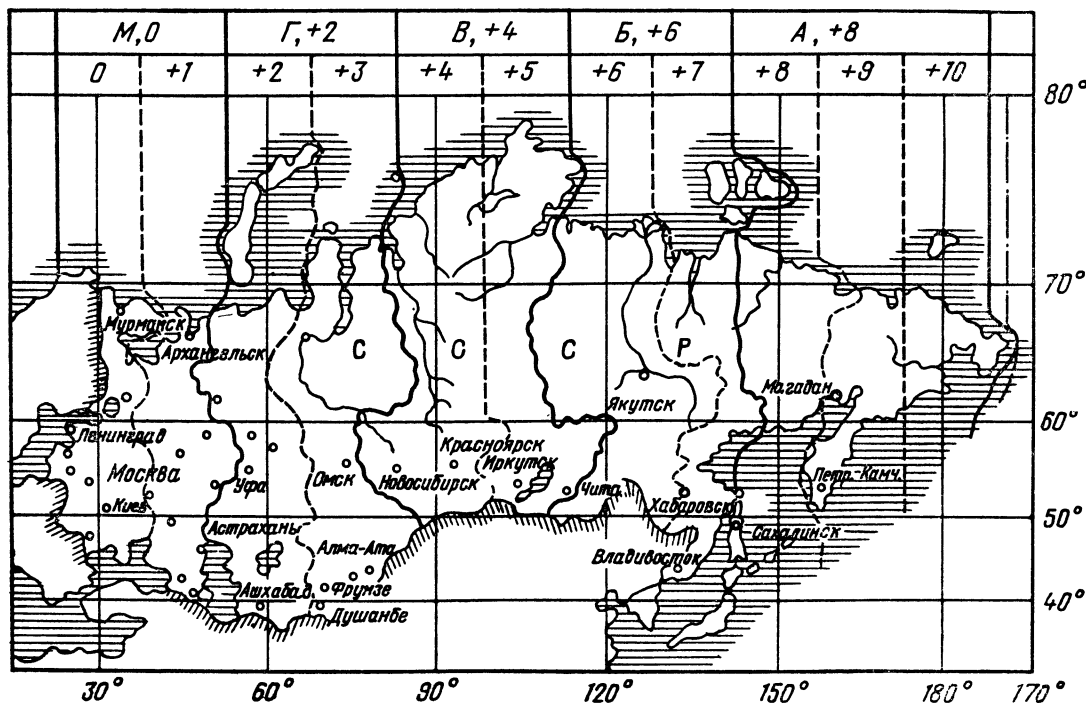


Рис. 4.1.3. Временные зоны вещания на территории бывшего СССР

Наиболее сложная задача планирования — назначение частотных каналов, обслуживающих заданную территорию при отсутствии взаимных помех и экономном использовании спектра, ресурсы которого ограничены. Для эффективного использования спектра и увеличения числа ТВ радиоканалов в отведенных полосах частот в ТВ вещании используют передачу с частично подавленной одной боковой полосой (см. табл. 4.1.1).

Назначению частотных каналов предшествует разработка планов развития ТВ вещания в стране (регионе), в котором заранее определяются параметры ПТС и их дислокация. Так как план разрабатывают на длительный период (практически 1 раз на время использования принятого стандарта вещания), он имеет теоретический характер. При строительстве уточняют параметры ПТС с учетом местных условий и сложившегося частотного положения в данном районе. В любом случае частотный план — основа развития. Во избежание взаимных помех планы согласовывают в пограничных зонах между соседними государствами. Расстояние между ПТС, работающими на одинаковых частотах (в совмещенных каналах), составляет 350...400 км. В пределах этих расстояний исключаются взаимные помехи из-за дальнего (тропосферного) распространения радиоволн. Это и определяет ширину пограничной зоны, в которой согласуются планы. *Единый план распределения частотных каналов* был принят для Европейской зоны радиовещания<sup>1</sup> в 1961 г., для стран африканского континента в 1963 г. Изменение параметров ПТС в пограничной зоне требует согласования с соседними государствами. Взаимные помехи между ПТС, работающими в совмещенных и соседних каналах, являются основным критерием планирования. План зависит от условий распространения радиоволн и уровней полезного и мешающего сигналов, минимально допустимого значения принимаемого сигнала и параметров радиотракта приемника.

Принятию Международных планов распределения частот предшествовала большая работа по изучению условий распространения радиоволн, разработке норм и методик планирования. Работы проводились в ряде стран и обобщались в рамках Международной организации МККР.

*Международный консультативный комитет по радио* (МККР) входил в состав Международного Союза Электросвязи (МСЭ) — органа ООН. Занимался МККР рассмотрением технических проблем нормирования параметров систем радиосвязи и выработкой рекомендаций, способствующих эффективной работе радиосвязи и предотвращению помех между радиослужбами.

В настоящее время произошла реорганизация структуры МСЭ с передачей функций МККР созданному Сектору Радиосвязи. Используемые в настоящем разделе материалы были приняты в 1990 г.

К моменту принятия единого частотного плана во многих европейских странах уже велось ТВ вещание в метровом диапазоне радиоволн с использованием различных норм излучения. Конкретные значения несущих частот в различных странах разные (см. табл. 4.1.2). Это было учтено при распределении радиоканалов в дециметровом диапазоне. Поскольку на момент согласования плана вещание в дециметровом диапазоне практически еще не велось, всеми европейскими странами независимо от используемой системы были приняты единые значения полосы 8 МГц и несущих частот изображения. Последняя отстоит на 1,25 МГц от ниж-

него края полосы радиоканала. Значения же несущих частот звукового сопровождения разные и зависят от принятого в данном стандарте разноса несущих частот (см. табл. 4.1.1). Эти значения позже были приняты и другими странами, использующими систему разложения на 625 строк.

Для системы разложения на 525 строк все страны используют единую полосу радиоканала, равную 6 МГц, и то же значение несущих частот изображения. В дециметровом диапазоне волн используют две полосы частот радиоканалов и четыре значения несущих частот изображения для стандартов 625 и 525 строк разложения (табл. 4.1.1—4.1.3).

## 4.2. Радиочастотные параметры передающей сети

**4.2.1. Распространение радиоволн вещательного диапазона.** В свободном пространстве, однородной непоглощающей среде с  $\epsilon=1$  радиоволны распространяются прямолинейно, ослабляясь с увеличением расстояния. Действующее значение напряженности ЭМ поля (напряженность поля), мВ/м,

$$E_d = 173 \sqrt{PG/r}, \quad (4.2.1)$$

где  $r$  — расстояние между передающим и приемным пунктами, км;  $P$  — мощность передатчика, кВт;  $G$  — коэффициент усиления (КУ) антенны в направлении пункта приема относительно элементарного (всенаправленного или изотропного) диполя, который излучает энергию равномерно во все стороны. Если  $G$  выражено относительно полуволнового диполя, то под корень вводят множитель 1,5, равный КУ полуволнового диполя в направлении максимального излучения относительно изотропного излучения, или коэффициент 173 заменяют на 212. Для получения амплитудного значения напряженности поля вводят дополнительный множитель 2 или коэффициент 173 заменяют на 245 (212 на 300).

Для удобства расчетов можно выразить напряженность поля, дБ/мкВ/м,

$$E = 106,59 - 20 \lg r + 10 P + 10 \lg G, \quad (4.2.2)$$

где  $r$ , км,  $P$ , кВт.

Часто в качестве исходного принимают значение напряженности поля, создаваемое при излучении полуволновым диполем мощности 1 кВт. Тогда  $E = 106,59 - 20 \lg r$ . Потери в реальных условиях распространения учитывают введением функций ослабления  $F$  или добавлением слагаемого  $-20 \lg F$ . Влияние дифракции (огнивания волн сферической поверхности Земли или препятствий), рефракции (отклонение от прямолинейного распространения луча), отражения и других факторов зависит от длины волны. Волны метрового и дециметрового диапазонов слабо дифрагируют вокруг Земли и слабо отражаются от тропосферы и ионосферы, уходя в космическое пространство. Поэтому радиус действия ТВС определяется пределами прямой (оптической) видимости между передающей и приемной антеннами. С учетом кривизны Земли радиус действия, км,

$$r = 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (4.2.3)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — высоты передающей и приемной антенн, м. Радиовидимость несколько больше оптической из-за частичной дифракции и слабой рефракции в нижних слоях атмосферы и увеличивается примерно на 15% (рис. 4.2.1). С учетом этого радиовидимость, км,

$$r = 4,12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (4.2.4)$$

При расчетах высоту подъема приемной антенны принимают равной 10 м. По условиям распространения радиоволн метрового и дециметрового диапазонов пространство разделено на четыре зоны. *Ближняя зона* прости-

<sup>1</sup> В соответствии с Регламентом радиосвязи, [45, п. 404] Европейскую зону радиовещания ограничивают на западе примерно меридианом 10° з. д. включая Азорские острова, на востоке 40° в. д., а на юге параллелью 30° с. ш., включая западную часть СНГ, северную Саудовской Аравии и части тех стран, которые прилегают к Средиземному морю в пределах этих границ. Кроме того в Европейскую зону радиовещания включены Ирак и Иордания.

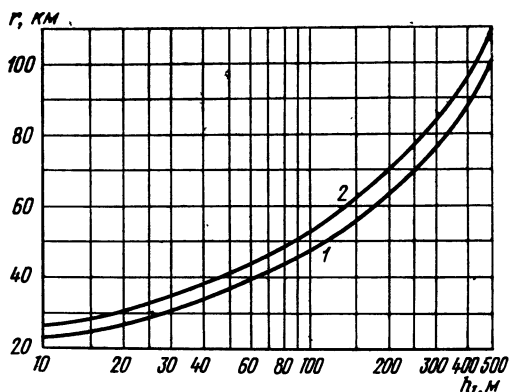


Рис. 4.2.1. Зависимости дальности прямой видимости (кривая 1) и радиовидимости (кривая 2) от высоты подъема передающей антенны при высоте подъема приемной антенны 10 м

рается в пределах нескольких километров от передающей антенны и характеризуется большой неравномерностью поля в виде периодических максимумов и минимумов, обусловленных интерференцией в точке приема между прямой и отраженной от поверхности Земли радиоволной (лучом). Разность фаз между лучами определяется разностью их хода (рис. 4.2.2.). При малых

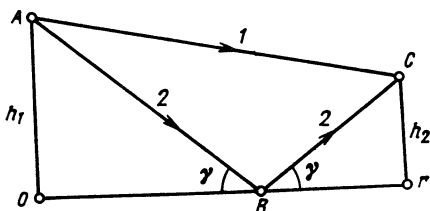


Рис. 4.2.2. К определению разности хода (фаз) лучей (1 — ходы прямого, 2 — отраженного лучей)

углах скольжения луча  $\gamma$  и для практически любой поверхности Земли, особенно при горизонтальных поляризованных волнах, коэффициент отражения луча  $K_{отр}=1$  (без потерь) и угол изменения фазы луча (угол потери фазы)  $\theta \approx 180^\circ$ , а коэффициент ослабления

$$F=2|\sin(0,36h_1h_2/r\lambda)^\circ|, \quad (4.2.5)$$

где  $h$  и  $\lambda$ , м;  $r$ , км.

Из (4.2.5) следует, что по мере увеличения  $r$  множитель ослабления, а следовательно, и напряженность поля приобретают ряд максимумов и минимумов, расстояние до которых, км,

$$r_{\max}=4h_1h_2/\lambda \cdot [(1/2m)-1]; \quad (4.2.6)$$

$$r_{\min}=4h_1h_2/\lambda \cdot (1/2m),$$

где  $m=1, 2, 4, \dots$

Первый максимум удален от ПТС на расстояние  $r_{1\max}=4h_1h_2/\lambda$ , а на больших расстояниях поле монотонно убывает. При отражении от Земли возникают потери, зависящие от угла скольжения волн. Непостоянен и угол потери фазы  $\theta$ . Вследствие этого множитель ослабления  $0 < F < 2$ , что снижает реальную неравномерность поля (рис. 4.2.3). Неравномерность поля в ближней зоне значительна, и ее нужно учитывать при выборе места размещения ПТС с тем, чтобы в нее не попали густонаселенные районы. Зона прямой видимости (дифракционное поле). На  $r > r_{1\max}$  разность хода прямого и отраженного лучей и разность их фаз быстро уменьшаются, приближаясь к нулю, причем последняя

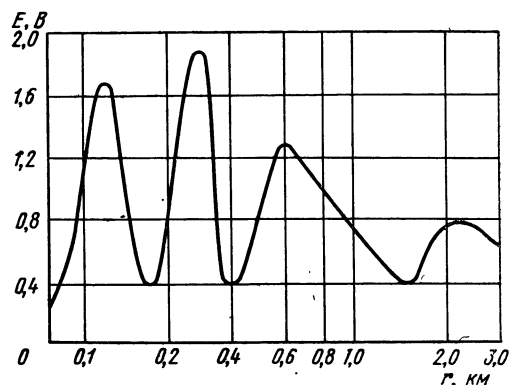


Рис. 4.2.3. Пример картины изменения напряженности поля в ближней зоне

начинает определяться изменением фазы луча при отражении от Земли и приближаться к  $180^\circ$ . Амплитуды сигналов отраженного луча приближаются к амплитуде сигнала прямого луча. На расстояниях, превышающих  $4,5r_{1\max}$ , угол потери фазы  $\theta < 20^\circ$ . В этой области действующая напряженность поля, дБ (интерференционная формула академика Б. А. Введенского),

$$E_d=2,18\sqrt{P\bar{G}h_1h_2/r^2\lambda}, \quad (4.2.7)$$

где  $h$ ,  $r$  и  $\lambda$ , м.

Формула (4.2.7) справедлива без учета сферичности Земли, которая начинает сказываться на больших расстояниях. Она не учитывает также наличие рефракции радиоволн, хотя и слабо выраженной, но имеющей место, особенно в длинноволновой части метрового диапазона. Значения напряженности поля в зоне дифракции, рассчитанные по (4.2.7), несколько занижены, поэтому ее лучше применять на расстояниях  $r=0,7 \dots 0,8$  прямой видимости. За горизонтом в зоне тени поле быстро убывает, так как волны метрового и особенно дециметрового диапазонов распространяются практически прямолинейно. Зона тропосферного поля находится на расстояниях от 100...150 до 800...1000 км от ПТС и обусловлена отражением или преломлением лучей в зоне тропосферы, т. е. части атмосферы, расположенной непосредственно у Земли. Ее высота изменяется от 8...10 в полярных широтах до 16...18 км в тропиках, а параметры по высоте неоднородны. В тропосфере наблюдаются как плавные изменения температуры и насыщенности водяными парами, так и слоистые неоднородности, возникающие из-за резко очерченных границ облаков, потоков теплого и холодного воздуха и т. п. Плавные изменения состояния тропосферы вызывают рефракцию траектории распространения радиоволн, а слоистые неоднородности приводят к их диффузному отражению (рис. 4.2.4). При рефракции и диффузном отражении каждый луч, попадающий в точку приема, оставляет лишь незначительную часть прямого луча. Поэтому напряженность поля, образованного благодаря

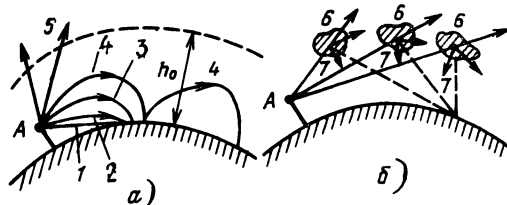


Рис. 4.2.4. Схема тропосферного распространения радиоволн в условиях: а — рефракции, б — диффузного отражения (1 — луч радиовидимости; 2 — луч радиовидимости; 3 — луч рефракции; 4 — луч в условиях сверхрефракции; 5 — лучи, уходящие в космическое пространство; 6 — слоистые неоднородности; 7 — лучи диффузно отраженные (А — передающая антенна,  $h_0$  — слой тропосферы)



тропосферному распространению радиоволн, мала, хотя и значительно больше напряженности поля, получаемой только по дифракционной теории распространения. Однако в некоторые моменты могут создаваться условия свехрефракции, при которой некоторые лучи, отразившись от поверхности Земли, могут повторно преломляться в тропосфере и на расстоянии в несколько тысяч километров. По абсолютному значению и стабильности во времени тропосферное поле может быть мало для регулярного приема сигналов ТВ программ, но достаточно для создания помех приему других ПТС, что должно учитываться при планировании передающей сети. Тропосферное поле, начиная с расстояния нескольких сотен километров, практически не зависит от высоты подъема передающей антенны, а определяется лишь мощностью передатчика. Это подтверждает нецелесообразность увеличения мощности свыше значения, требуемого для создания нормированного уровня напряженности поля в зоне радиовидимости.

Расчет напряженности тропосферного поля — трудоемкая операция. Ее обычно определяют по графикам (п. 4.2.2). Между зонами дифракционного и тропосферного полей существует переходная, в которой из-за интерференции результирующее поле нестабильно и практически непригодно для приема.

Зона ионосферного поля обусловлена отражением радиоволн от регулярного слоя  $F_2$ , находящегося на высоте 240...400 км, от неоднородностей слоя D, расположенного на высоте 60...90 км (ночью слой D исчезает и отражение происходит в нижней области нормально ионизированного слоя E, занимающего высоту 90...120 км), а также от спорадического слоя, образующегося временами на высоте слоя E. Процесс ионосферного распространения аналогичен дальнему тропосферному. Но поскольку рассеивающие слои ионосферы расположены выше, чем тропосферные, дальность распространения из-за ионосферного рассеяния значительно больше и достигает нескольких тысяч километров. Ионосферному распространению подвержены радиоволны I и II каналов. Лучшие условия распространения наблюдаются летом днем в южных широтах, а также в периоды усиления солнечной активности, когда повышается электронная плотность слоев. Ионосферное поле в отдельные моменты может достигать значений, достаточных для создания существенных помех и даже приема сигналов, однако оно практически отсутствует или мало и нестабильно и при расчетах, как правило, его не учитывают.

При приеме волн от ПТС, расположенных за высокими препятствиями, необходимо учитывать, что с уменьшением длины волны ослабление поля увеличивается. При выборе места ПТС это нужно учитывать с тем, чтобы число и размер затененных зон свести к минимуму. Радиоволны метрового и дециметрового диапазонов отражаются от препятствий с малыми потерями, создавая сложные структуры поля, зачастую непригодного для приема, хотя и достаточного по напряженности. В точке приема искажается форма радиосигнала изображения, что проявляется на экранах в виде повторов, интенсивность которых определяется соотношением прямого и отраженного сигналов, а расстояние между ними — временем запаздывания отраженного сигнала относительно прямого. Отраженные сигналы ослабляют как выбором места установки приемной антенны, так и повышением коэффициента ее направленности. При этом нужно применять сложную остронаправленную антенну с большим коэффициентом усиления. Точный характер поля в условиях отраженных сигналов учесть невозможно, хотя можно предвидеть его наличие. Его определяют путем измерения и обследования условий приема. На распространение влияет также поляризация радиоволн. Поля, создаваемые промышленными устройствами, зажиганием автомашин, а также отражением от вертикальных стен зданий, деревьев и других вертикальных поверхностей, имеют вертикальную поляризацию. Поэто-

му для ослабления помех в ТВ вещании используют горизонтально поляризованные волны. В ряде случаев для ослабления взаимных помех между двумя ПТС, работающими в смежных или совмещенных каналах, используют разные поляризации радиоволн — для одной горизонтальную, а для другой вертикальную. Особый случай представляет распространение радиоволн при наличии на трассе, длина которой выше расстояния прямой видимости (100...150 км), высокого (1000...2000 м) клиновидного препятствия, например гребней горного хребта. За такими препятствиями поле может не ослабляться, а значительно увеличиваться до 60...80 дБ (усиление препятствием) по сравнению с сигналом на таком же расстоянии без препятствия. Это объясняется тем, что как бы возбуждается клиновидная вершина препятствия и на участках передающая антенна — вершина препятствия и вершина препятствия — приемная антенна распространение происходит в пределах прямой видимости.

За клиновидным препятствием поле можно рассчитать по (4.2.1) при введении соответствующего множителя ослабления  $\gamma$  (определяют по рис. 4.2.5):

$$u = \sqrt{\frac{2(r_1 + r_2)}{r_1 r_2 \lambda}} H, \quad (4.2.8)$$

или для зоны тени  $I = 0,225/|U|$ , где  $H$  — просвет, имеющий положительное значение, когда вершина препятствия (точка C) ниже линии АВ, и отрицательное, когда выше;  $\lambda$  — длина волны.

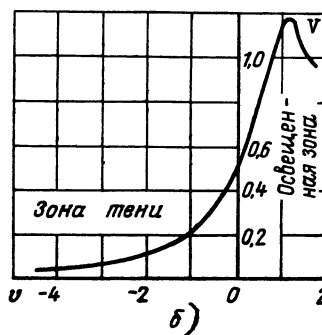
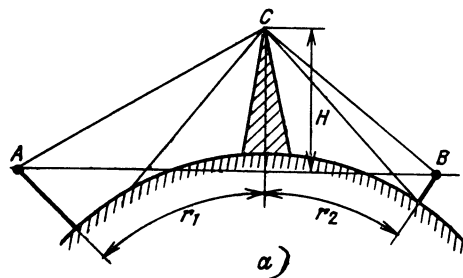


Рис. 4.2.5. Усиление сигнала на трассе с препятствием: а — схема трассы (А — передающая антенна; В — приемная антенна; С — вершина препятствия); б — зависимость множителя ослабления от коэффициента  $V$

**4.2.2. Напряженность поля, создаваемая ПТС.** В реальных условиях напряженность поля зависит от многих факторов и нестабильна как во времени, так и по месту, особенно на больших расстояниях. Поэтому поле характеризуется средним уровнем, называемым *медианным*  $E_{мед}$ . Это уровень, превышаемый в 50% времени приема (рис. 4.2.6). Характеризуя средний уровень принимаемого сигнала, медианный не отражает уровня его отклонения от среднего значения, т. е. глубины замира-

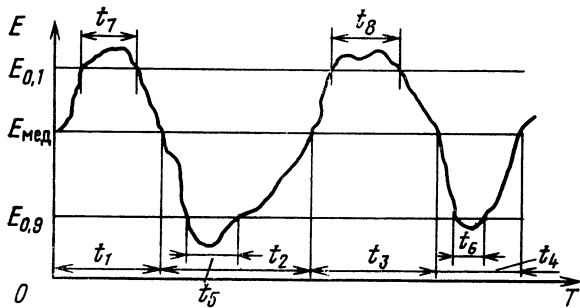


Рис. 4.2.6. Зависимость медианного уровня принимаемого сигнала ( $T$  — время приема;  $E_{мед}$  — уровень, для которого  $t_1+t_3=t_2+t_4$ ;  $E_{0,9}$  — уровень, для которого  $0,9T=T-(t_5+t_6)$ ;  $E_{0,1}$  — уровень, для которого  $0,1T=(t_7+t_8)$ ).

ния или превышения. Два сигнала с одинаковым медианым уровнем могут претерпевать разные отклонения. Кроме медианного используют также значения уровней, превышающих в течение другого, заданного, времени приема  $T$  в процентах, что записывается как  $E(T)$ . Тогда медианный уровень  $E_{мед}=E(50)$ , а уровни, превышающие в течение 90 и 10%, как  $E(90)$  и  $E(10)$ , или  $E_{0,9}$  и  $E_{0,1}$  соответственно. Случайные изменения напряженности бывают быстрые и медленные (их не следует смешивать с регулярными суточными и сезонными изменениями уровня напряженности поля).

Быстрые случайные изменения поля длительностью от минут до долей секунд обусловлены интерференционными явлениями и подчиняются закону распределения Рэлея. Медленные же обусловлены изменяющимися метеорологическими условиями и подчиняются логарифмически нормальному закону. Отклонения уровней обычно выражают в децибелах относительно медианного, которое принимают за 0 дБ (рис. 4.2.7). По функции рас-

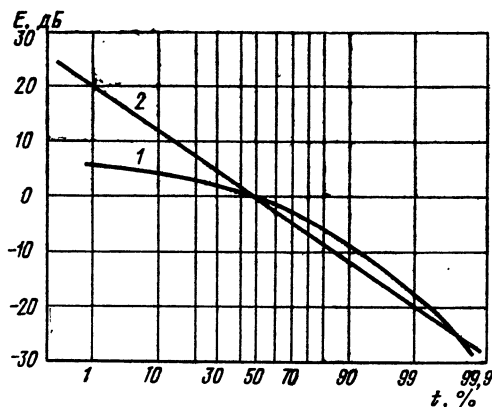


Рис. 4.2.7. Зависимости уровней сигнала для быстрых 1 и медленных 2 изменений от процента времени относительно медианного уровня сигнала

пределения уровней можно определить время, в течение которого уровень принимаемого сигнала будет отличаться от медианного на заданное значение и наоборот. Уровень сигнала зависит также от местных условий приема, изменяясь от точки к точке. Эти условия оговариваются процентом мест  $L$ , в которых напряженность поля превышает указанный уровень и обозначается как  $E(L)$ . Распределение  $E(L)$  подчиняется нормально логарифмическому закону (рис. 4.2.8). В диапазонах IV и V множитель ослабления зависит от холмистости местности  $\Delta h$ , равной разности высот, превышаемых соответственно на 10 и 90% длины трассы

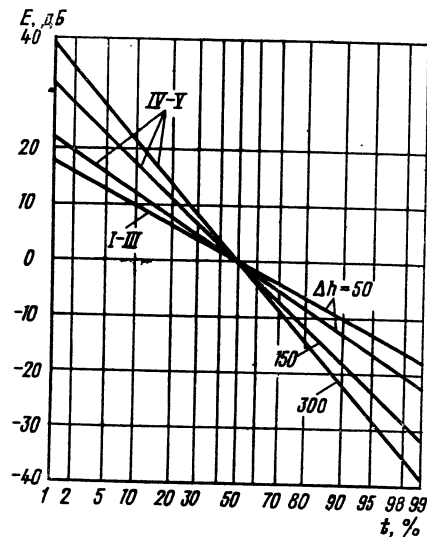


Рис. 4.2.8. Зависимости распределения напряженности поля от процента мест относительно 50% приемных пунктов

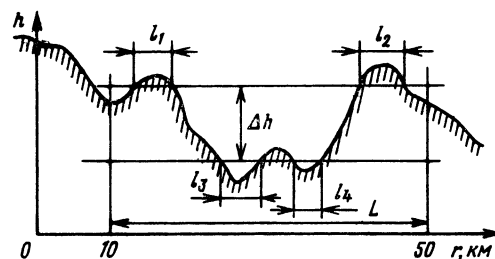


Рис. 4.2.9. К определению холмистости местности ( $0,1L=l_1+l_2$ ;  $0,9L=L-(l_3+l_4)$ )

в пределах 10...50 км от передатчика (рис. 4.2.9). Напряженность поля обозначают  $E(T, L)$ , где вместо  $T$  и  $L$  записывают соответствующие значения процентов или доли, части.

Рассчитать напряженность поля по формулам трудно. На практике используют кривые распространения и таблицы, построенные по результатам многочисленных измерений, выполненных в реальных условиях. Кривые распространения отображают зависимость напряженности поля, выраженной в децибелах относительно 1 мкВ/м (принимаемой за 0 дБ), для 1 кВт действующей мощности, излучаемой полуволновым диполем при разных высотах подъема передающей антенны  $h_1$  и разных процентах времени и мест приема в зависимости от расстояния между ПТС и местом приема. Высоту подъема передающей антенны определяют над средним уровнем Земли на расстояниях 3...15 км от ПТС в направлении приемника (рис. 4.2.10), а высоту приемной антенны принята равной 10 м.

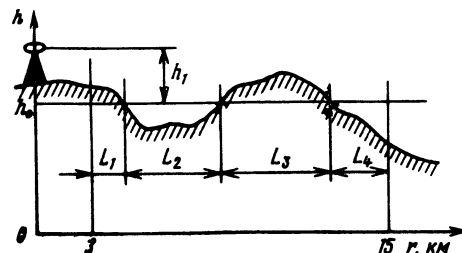


Рис. 4.2.10. К определению среднего уровня Земли в районе расположения передающей станции ( $L_1+L_3=L_2+L_4$ )

Приведенные на рис. 4.2.11 кривые отображают поле в ближней зоне, а на рис. 4.2.12—4.2.15 — на больших расстояниях дифракционное поле в пределах прямой видимости и поле с учетом тропосферного распространения. Эти кривые справедливы для сухопутных

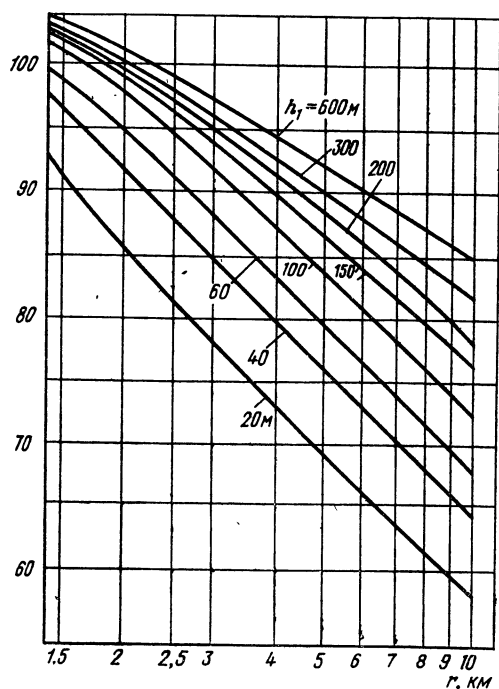


Рис. 4.2.11. Кривые распространения в ближней зоне, 50% времени, 50% мест

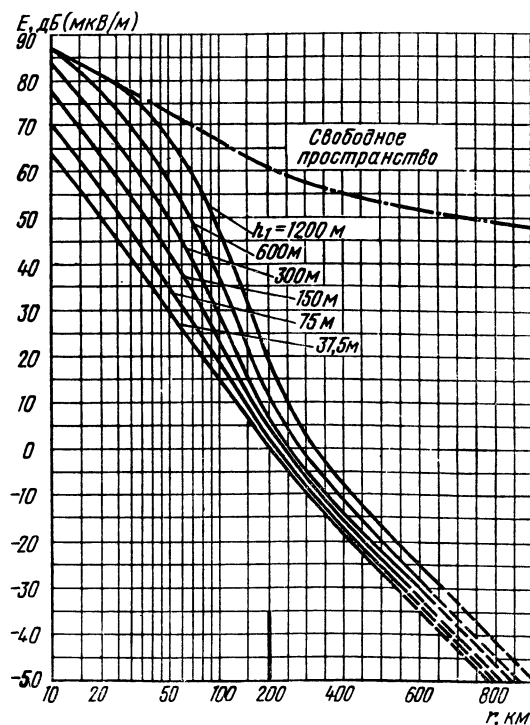


Рис. 4.2.12. Кривые распространения для частот 30...250 МГц (I—III диапазоны), 50% времени, 50% мест

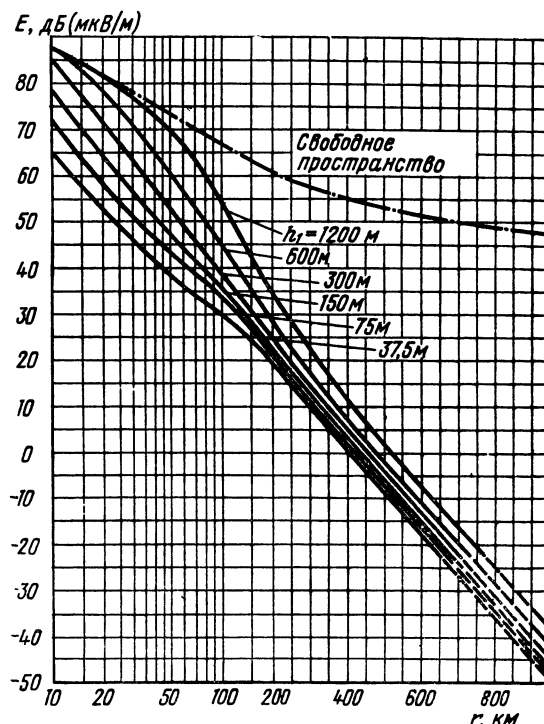


Рис. 4.2.13. Кривые распространения для частот 30...250 МГц (I—III диапазоны), 1% времени, 50% мест

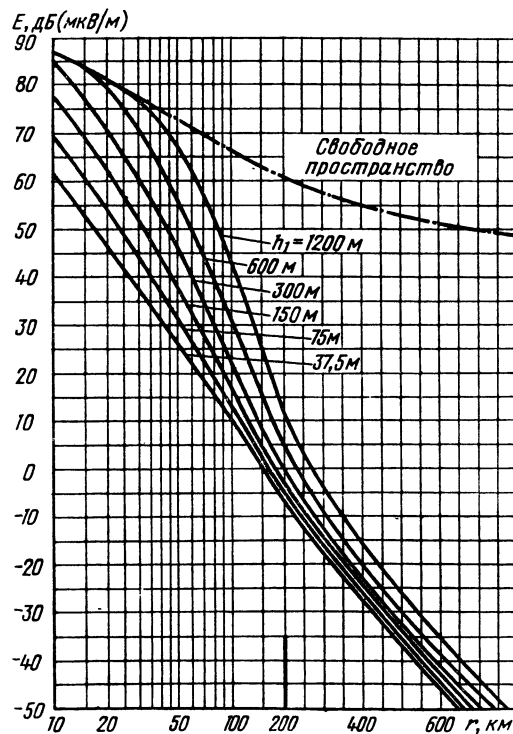


Рис. 4.2.14. Кривые распространения для частот 450...1000 МГц (IV, V диапазоны), 1% времени, 50% мест

трасс со значением холмистости  $\Delta h = 50$  м, характерным для Европы. Для других трасс вводят поправочные коэффициенты (рис. 4.2.16 и 4.2.17). Приведенные кри-

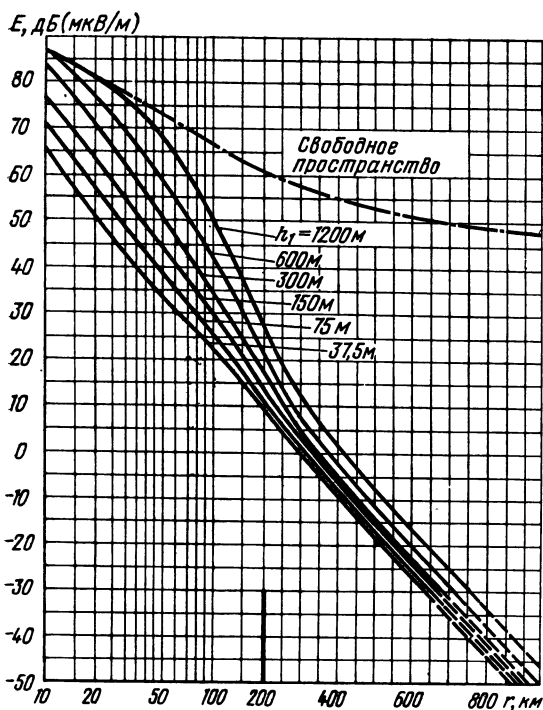


Рис. 4.2.15. Кривые распространения для частот 450...1000 МГц (VI, V диапазоны), 1% времени, 50% мест

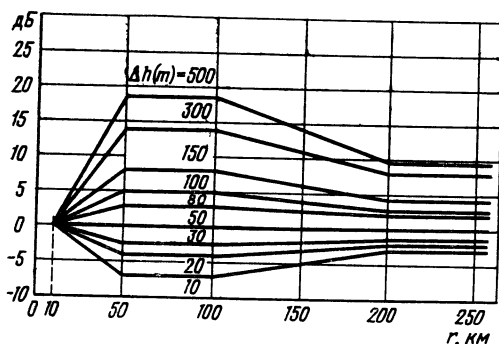


Рис. 4.2.16. Зависимости поправочного коэффициента от холмистости для частот 80...250 МГц (II, III диапазоны)

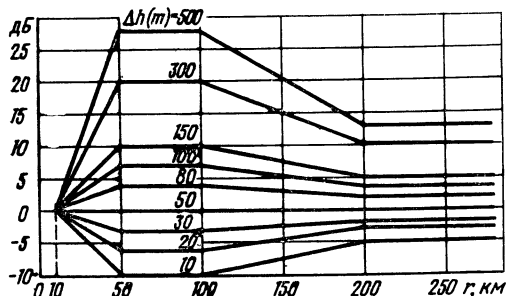


Рис. 4.2.17. Зависимости поправочного коэффициента от холмистости для частот 450...1000 МГц (IV, V диапазоны)

вые распространения не учитывают всех факторов, влияющих на условия распространения. Например, в больших городах происходят дополнительные ослабления до 6 дБ и более и изменение плоскости поляризации. Лесистая поверхность Земли также вызывает дополнительное ослабление уровня сигнала. В I—III диапазонах частот сигнал для 50% времени мало зависит от того, сухопутная или морская трасса. Для малых процентов времени на морских трассах на больших расстояниях он оказывается большим. Так, для 1% времени при холодном море на расстояниях около 1000 км сигнал может увеличиваться на 30 дБ, а при теплом на 70 дБ. В IV и V диапазонах поле несколько (10...20 дБ) возрастает и в ближней зоне, а на больших расстояниях — до 70 дБ для холодного моря и 85 дБ для теплого. При определении поля мешающей ПТС нужно учитывать, что влияние указанных факторов в основном сказывается на больших расстояниях.

Таким образом, напряженность поля, дБ, относительно 1 мкВ/м

$$E = E(T, L) + P + G + k(T) + k(L) + k(\Delta h) + k(x), \quad (4.2.9)$$

где  $E(T, L)$  — напряженность поля, определенная по кривым распространения, составленным с учетом вышеизложенных условий, дБ/мкВ/м, относительно 1 кВт;  $P_{\text{дБ/кВт}} = 10 \lg P_{\text{кВт}}$ ;  $P$  — мощность, подводимая к антенне, кВт;  $G_{\text{дБ}} = 10 \lg G$  — КУ антенны относительно полуволнового диполя в направлении приемной антенны;  $k(T)$ ,  $k(L)$ ,  $k(\Delta h)$  — поправочные коэффициенты, учитывающие процент времени, мест и холмистость, дБ;  $k(x)$  — сумма поправочных коэффициентов, учитывающих другие факторы, дБ.

Учитывая, что  $E_{\text{дБ/мкВ/м}} = 20 \lg E_{\text{мкВ/м}}$ , абсолютное значение напряженности поля, мкВ,

$$E_{\text{мкВ/м}} = 10^{E_{\text{дБ/мкВ/м}}/20}. \quad (4.2.10)$$

Для вычислений используют табл. 4.2.1.

**4.2.3. Защитные отношения.** Зона обслуживания ПТС определяется не только напряженностью поля в точках приема на ее границе, но и уровнем помех, создаваемых другими ПТС и различными радиосредствами. Допустимое отношение напряжений полезного сигнала к помехе на входе приемника называют *защитным отношением*. Этот параметр наряду с минимально допустимым уровнем полезного сигнала является основным при планировании размещения передающих станций. Допустимый уровень помехи базируется на физиологии их восприятия и зависит от уровня и характера помех, а также от параметров приемника. Флуктуационные шумы сопутствуют процессу преобразования оптического изображения в электрические импульсы, а также дальнейшего усиления, преобразования и передачи сигналов, в том числе и в приемнике. Шумы в аналоговом сигнале не могут быть скомпенсированы применением корректоров подобно ряду других искажений. Шумы — единственная причина, ограничивающая чувствительность ТВ передающей трубки, дальность передачи сигналов изображения по каналам связи и чувствительность приемника. В ТВ уровень шумов определяют ОСШ — отношением  $\psi$  в децибелах или размах размаха сигнала изображения от уровня белого до уровня черного  $U_c$  к действующему значению напряжения шумов  $U_{\text{ш.д.}}$ . Действующее значение в 6...7 раз меньше квазипикового, которое можно измерить с помощью широкополосного осциллографа.

На основе многочисленных экспертиз установлено, что для хорошего качества изображения в подаваемом на кинескоп сигнале должно быть ОСШ  $\psi \geq 38$  дБ. С учетом собственных шумов приемника (6...12 дБ) и особенностей детектирования сигнала с подавленной одной боковой защитное отношение на входе приемника составляет около 50 дБ. Для обеспечения за-

Таблица 4.2.1. Перевод отношений напряжений (токов) и мощностей в децибелы. 1 дБ =  $20 \lg(U_1/U_2) = 10 \lg(P_1/P_2)$ ; — 1 дБ =  $20 \lg(U_2/U_1) = 10 \lg(P_2/P_1)$  при  $U_1 > U_2$ ;  $P_1 > P_2$

$U_2/U_1$	$P_2/P_1$	дБ	$U_1/U_2$	$P_1/P_2$
1,000	1,000	0,0	1,000	1,000
0,989	0,977	0,1	1,012	1,023
0,977	0,955	0,2	1,023	1,047
0,966	0,933	0,3	1,035	1,072
0,955	0,912	0,4	1,047	1,096
0,944	0,891	0,5	1,059	1,122
0,891	0,794	1,0	1,122	1,259
0,871	0,759	1,2	1,148	1,349
0,851	0,724	1,4	1,175	1,413
0,832	0,676	1,6	1,202	1,445
0,813	0,661	1,8	1,230	1,514
0,794	0,631	2,0	1,259	1,585
0,750	0,562	2,5	1,334	1,778
0,708	0,501	3,0	1,413	1,995
0,668	0,447	3,5	1,496	2,24
0,631	0,398	4,0	1,585	2,51
0,596	0,355	4,5	1,679	2,82
0,562	0,316	5,0	1,778	3,16
0,531	0,282	5,5	1,884	3,55
0,501	0,251	6,0	1,995	3,98
0,473	0,224	6,5	2,11	4,47
0,447	0,200	7,0	2,24	5,01
0,422	0,178	7,5	2,37	5,62
0,398	0,158	8,0	2,51	6,31
0,376	0,147	8,5	2,66	7,04
0,355	0,126	9,0	2,82	7,94
0,335	0,112	9,5	2,98	8,91
0,316	0,100	10	3,16	10,0
0,178	0,0316	15	5,62	31,6
0,1000	0,0100	20	10,10	100,0
0,0562	0,00316	25	17,78	316,0
0,0316	0,00100	30	31,6	1000,0
0,0178	$3,16 \cdot 10^{-4}$	35	56,2	3160,0
0,0100	$10^{-4}$	40	100	$10^4$
$3,16 \cdot 10^{-3}$	$10^{-5}$	50	316	$10^5$
$10^{-3}$	$10^{-6}$	60	1000	$10^6$
$3,16 \cdot 10^{-4}$	$10^{-7}$	70	3160	$10^7$
$10^{-4}$	$10^{-8}$	80	$10^4$	$10^8$
$3,16 \cdot 10^{-5}$	$10^{-9}$	90	$3,16 \cdot 10^4$	$10^9$
$10^{-5}$	$10^{-10}$	100	$10^5$	$10^{10}$

данного значения ОСШ на кинескопе  $\psi$ , в размах, напряжение сигнала на входе приемника, В,

$$U_{с.вх} = \sqrt{NP_{ш.вх}\psi R_n}, \quad (4.2.11)$$

где  $N$  — коэффициент шума приемника,  $kT_0$ ;  $k$  — постоянная Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $T_0 = (273 + t^\circ)$  К — абсолютная температура;  $t^\circ$  — температура резистора,  $^\circ\text{C}$ ;  $P_{ш.вх}$  — мощность шума приемника, отнесенная ко входу, Вт;  $R_n$  — входное сопротивление, обычно равное 75 Ом.

Напряженность поля

$$E = U_{с.вх} 2\pi/\lambda, \quad (4.2.12)$$

где  $\lambda/2\pi$  — действующая высота антенны;  $\lambda$  — длина волны, м;  $U_{с.вх}$  — напряжение на входе полуволнового диполя (рис. 4.2.18).

Поскольку практически всегда используют сложные приемные антенны, требуемое значение напряженности поля будет меньше. Для идентичности расчетов приняты типовые значения коэффициентов направленности приемных антенн (рис. 4.2.19, табл. 4.2.2.). К другим постоянно действующим факторам, влияющим на уро-

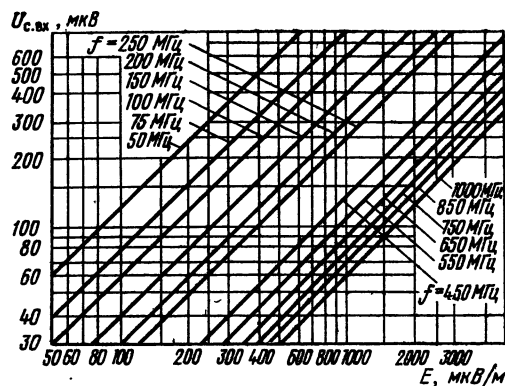


Рис. 4.2.18. Зависимости напряжения сигнала  $U_{с.вх}$  на выходе согласованного полуволнового диполя от напряженности поля  $E$

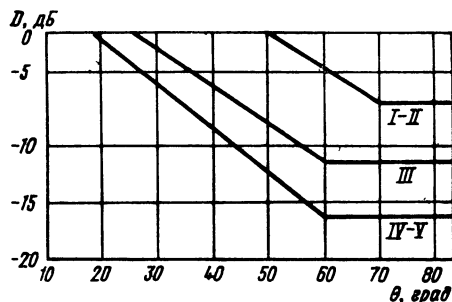


Рис. 4.2.19. Характеристики направленности приемных антенн

вень шумов, следует отнести космические шумы, шумы приемной антенны и потери в фидере антенны, ухудшающие значение  $\psi$  на несколько децибел. Индустриальные помехи и помехи от других ТВС зависят от конкретных условий и учитываются в каждом случае отдельно.

С учетом этого приняты минимально допустимые значения напряженности поля (табл. 4.2.2) на высоте 10 м от поверхности Земли в пределах зоны обслуживания ТВ вещанием, которые должны создаваться для обеспечения заданного качества приема. Вследствие неравномерности восприятия шумов по спектру ВЧ составляющие заметно меньше, что составляет на частоте 6 МГц около 6 дБ, защитные отношения по спектру неравномерны. Дополнительную неравномерность вносит АЧХ радиотракта приемника, сопряжение которой

Таблица 4.2.2. Значения коэффициентов усиления (КУ) приемных антенн и минимальной напряженности поля  $U_{min}$

Диапазон частот	Коэффициент усиления, дБ		Минимальная напряженность поля			
			ГОСТ 7845—92			
	ГОСТ 7845—92	МККР, Рек. 419	дБ/мкВ/м	мкВ/м	дБ/мкВ/м	мкВ/м
I	4	6	50	320	48 <sup>1</sup>	250
II	4,5	—	52	410	—	—
III	8	6	55	570	55 <sup>1</sup>	570
IV	10	16	65	1800	67 <sup>1,2</sup>	2200
V	10	16	68	2500	72 <sup>1,2</sup>	3700

<sup>1</sup> В сельской местности уровень сигнала может быть снижен до 46, 49, 58 и 64 дБ/мкВ/м соответственно.

<sup>2</sup> Для стандарта G на 2 дБ ниже.



Таблица 4.2.3. Значения защитных отношений для разных режимов работы

Параметр	Смещение в долях $1/12 f_c$														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	20
Обычный режим СНЧ															
Защитное отношение, дБ	45	44	40	34	30	28	27	28	30	34	40	44	45	30	30
Смещение, кГц	0	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7	13	14,3	15,6	20,8	26
Точный режим СНЧ															
Защитное отношение, дБ	—	—	—	—	22	—	—	—	22	—	—	—	—	22	22
Смещение, кГц	—	—	—	—	5,225	—	—	—	10,450	—	—	—	—	20,85	20,075
Число кадров относительно нуля смещения	—	—	—	—	209	—	—	—	418	—	—	—	—	$834 = 625 + 209$	$1043 = 625 + 418$

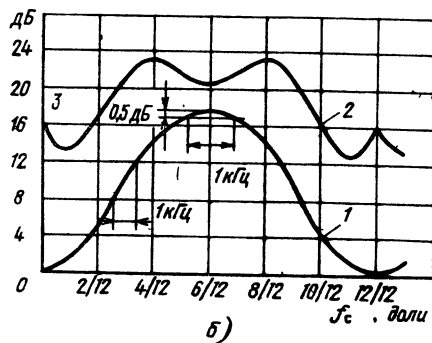
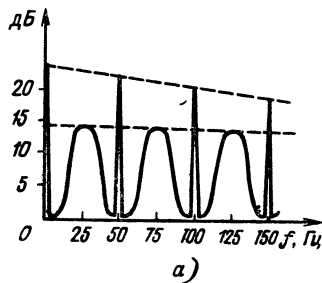


Рис. 4.2.24. Зависимости изменения защитного отношения: а — из-за кадровой дискретности ТВ сигнала; б — при режимах обычного СНЧ (кривая 1), точного СНЧ (кривая 2) и при режиме работы с повышенной стабильностью несущих частот (точка 3)

от  $f_c/2$  до  $2/3 f_c$  рассмотренный точный режим СНЧ обеспечивается на частотах, кратных четному числу кадров, т. е.  $f_{cm} = f_c \pm n \cdot 25$  Гц, где  $n = 1, 3, 5, \dots$ . Это объясняется тем, что относительно частоты  $f_c$  смещение на  $-25$  Гц соответствует четному числу кадров ( $15625 = 25 \cdot 626$ ) относительно нулевого смещения (точки отсчета).

На рис. 4.2.24, б кривая для точного режима СНЧ изображена в виде огибающей (в действительности она дискретна) по максимальным значениям ослабления за-

щитного отношения. Для точного СНЧ необходима также высокая стабильность частоты строк (не ниже  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ ). Практически при точном СНЧ (табл. 4.2.3) используют смещения, равные  $1/3, 2/3, 4/3$  и  $5/3$  частоты  $f_c$ , при которых снижение защитного отношения достигает наибольших значений, равных примерно 23 дБ. Для сигналов нижнего смежного канала значение защитного отношения равно  $-6$  дБ. При этом считается, что отношение мощностей сигналов изображения и звука равно 10 дБ (10:1). Для сигналов верхнего смежного канала защитное отношение составляет 4 дБ. Если полезный и мешающий сигналы имеют разную поляризацию, то защитное отношение может быть уменьшено примерно на 10 дБ.

### 4.3. Телевизионные радиопередатчики

**4.3.1. Построение ТВ радиопередатчиков.** Телевизионный радиопередатчик — комплекс устройств, предназначенных для преобразования ПТВС и сигнала звукового сопровождения в радиосигнал вещательного ТВ. Вместе с антенно-фидерным устройством (АФУ) он составляет ТВ радиостанцию. В ТВ радиопередатчик входят каналы изображения и звукового сопровождения. В некоторых конструкциях усиливаются совместно радиосигналы изображения и звукового сопровождения. При таком усилении необходимо иметь высокую линейность амплитудной характеристики (АХ) тракта для предотвращения возникновения перекрестных искажений. Наиболее опасны сигналы комбинационных частот  $f_{\text{нес.из}} - f_{\text{сигн}} + f_{\text{нес.зв}}$ , где  $f_{\text{сигн}} = f_{\text{нес.из}} \pm f_{\text{нес.зв}}$ , которые попадают в полосу усиливаемого сигнала. При переходе от радио к видеочастоте, когда  $f_{\text{нес.из}} = 0$ , а  $f_{\text{зв}} = 6,5$  МГц, комбинационная частота помехи будет равна  $(6,5 - f_{\text{из}})$ , МГц, остальные расположены вне полосы канала и легко отфильтровываются. Для обеспечения высокой линейности АХ усилителей отдаваемую ими мощность снижают примерно в 3 раза, что сопровождается существенным снижением КПД усилителя мощности — основным потребителем электроэнергии. Для устранения этого применяют высоколинейные лампы. Хотя режим с совместным усилением сигналов перспективен, его широко используют только в

ретрансляторах малой мощности, где наличие низкого КПД вследствие небольшой потребляемой мощности передатчиком не столь существенно.

Обозначать ТВ радиостанцию принято условным названием или символом и дробным числом, числитель которого означает мощность радиосигнала на выходе канала изображения, а знаменатель — звукового сопровождения, выраженные в киловаттах или ваттах.

При негативной модуляции мощность радиосигнала изображения определяют по амплитуде радиосигнала, соответствующего передаче синхронизирующих импульсов (на уровне синхроимпульсов), что соответствует пиковой мощности. Мощность радиосигнала звукового сопровождения с частотной модуляцией определяется на уровне несущей при отсутствии модуляции. По мощности радиосигнала изображения передатчики разделяют на *мощные* (или большой мощности) — 1 кВт и выше и *малой мощности* — менее 1 кВт. Работают ТВ передатчики на частотах, соответствующих выделенному для данного пункта частотному каналу. Поэтому их изготавливают без возможности оперативной перестройки в условиях эксплуатации на другую, что упрощает конструкцию ВЧ тракта, особенно мощных каскадов УМК. Несущая частота радиосигнала звукового сопровождения близка к несущей частоте радиосигнала изображения, что позволяет использовать для их канализации и излучения общие фидер и антенну. Для исключения взаимного влияния обоих сигналов выходы каналов изображения и звукового сопровождения соединяют через устройство сложения, называемое *разделительным* (или антенным) ВЧ фильтром. Это устройство обеспечивает прохождение без потерь и искажений каждого из радиосигналов в общий фидер, идущий к антенне, и достаточное затухание сигнала каждого канала на выходе другого (рис. 4.3.1).

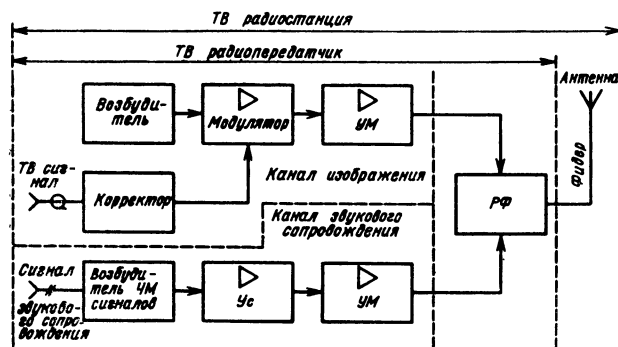


Рис. 4.3.1. Упрощенная структурная схема телевизионной радиостанции (УМ — усилитель мощности, РФ — разделительный фильтр)

Для бесперебойной работы оборудования применяют его резервирование. Поскольку АФУ не содержат активных и часто коммутируемых элементов, их обычно не резервируют. Простейший метод резервирования — дублирование радиопередатчика (*метод замещения*): один работает, а второй готов к работе. В зависимости от допустимого времени перехода резервное оборудование находится либо с включенным накалом радиоламп и снятым высоким напряжением (или включенным напряжением, но запертым по ВЧ каскадами усилителя мощности), либо полностью выключенным. Если мощность резервного передатчика в 5—10 раз меньше, чем основного, — такое резервирование экономичнее, но снижается напряженность поля (в 2...3 раза), что особенно чувствительно на границе зоны приема.

Более рационально резервировать путем параллельной работы двух радиопередатчиков, называемых *полуккомплектами*. В этом случае оба непрерывно участвуют в работе: при выходе одного второй продолжает

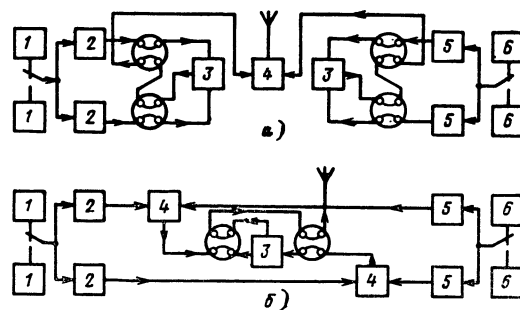


Рис. 4.3.2. Варианты построения структурных схем ТВ радиостанций при сложении полуккомплектов: а — каналов радиопередатчика; б — ТВ радиопередатчиков (1 и 2 — возбудитель и полуккомплект канала изображения; 3 — мост сложения; 4 — ВЧ разделительный фильтр; 5 — усилитель мощности; 6 — возбудитель ЧМ сигнала)

работать, но выходная мощность снижается вдвое, а напряженность в 1,4 раза.

Используют различные варианты построения ТВ радиопередатчиков со сложением мощностей, два из которых пояснены на рис. 4.3.2. В одном (рис. 4.3.2, а) вначале складываются раздельно сигналы полуккомплектов каналов изображения и звукового сопровождения, а затем полная мощность каждого из каналов подается на разделительный фильтр и далее в антенну. При этом возможно любое сочетание полуккомплектов, но требуется больше переключателей. В другом варианте (рис. 4.3.2, б) вначале складывают сигналы полуккомплектов каналов изображения и звука, образуя полуккомплекты радиопередатчика. При повреждении, например, в полуккомплекте канала изображения выключается определенный канал звукового сопровождения. Это упрощает систему коммутации, но сокращает возможные комбинации резервирования. В некоторых вариантах для сохранения мощности в аварийном режиме предусматривают форсирование режима ламп оставшегося оборудования для повышения его мощности. Однако форсирование связано с использованием ламп в нелинейном режиме, что требует включения дополнительного корректора нелинейности. Когда требуется высокая эксплуатационная надежность, применяют резервирование с тремя полуккомплектами. Два работают параллельно, обеспечивая номинальную выходную мощность, а третий находится в пассивном скользящем резерве и может включаться для замены любого из работающих. Используют также работу радиопередатчика на две половины антенны.

Еще два варианта резервирования, обычно используемые в передатчиках дециметрового диапазона на клистрах, поясняются на рис. 4.3.3. В одном (рис. 4.3.3, а) усилители мощности 3 и 4 конструктивно одинаковы, но работают в различных режимах. Усилители 3 работают в канале изображения параллельно, обеспечивая резервирование с понижением мощности вдвое. При неисправности усилителя звука 4 он подменяется одним из усилителей 3 (на рисунке нижним) с понижением мощности радиоканала изображения в 2 раза. В другом (рис. 4.3.3, б) оба усилителя мощности 3 и 4 полностью идентичны и пропускают радиосигналы изображения и звука. В нормальном режиме один усиливает радиосигналы изображения, а второй — звукового сопровождения. При выходе одного из усилителей из строя, другой переводится в режим совместного усиления обоих радиосигналов, предварительно объединенных в разделительном фильтре или линейном смесителе.

Приведенные варианты резервирования используют при мощностях более 1 кВт, когда основные затраты определяются блоками усиления мощности и их пассив-





постоянство выходного напряжения. Система ФАПЧ находится в состоянии устойчивого равновесия при неизменности фаз сравниваемых колебаний, что имеет место только при их равенстве. При расхождении частот скважность выходных импульсов будет периодически изменяться от минимума до максимума. Частота повторений периода изменений определяется разностью частот сравниваемых колебаний. После фильтрации выходное напряжение будет периодически изменяться, пока система не войдет в синхронизм.

Система ЧАПЧ находится в состоянии устойчивого равновесия, и напряжение на ее выходе постоянно при некоторой разности сравниваемых частот. При равенстве частот выходное напряжение равно нулю (частотный детектор называется *детектором нулевых биений*) и система будет находиться в неустойчивом положении. Поэтому при использовании ЧАПЧ всегда имеется разность частот, что ограничивает область ее применения. При неравенстве частот выходное напряжение имеет импульсную форму с частотой, равной разности сравниваемых частот.

Система ЧАПЧ имеет большую полосу захвата (синхронизации) частот, чем ФАПЧ. Поэтому иногда используют два детектора — частотный для грубой перестройки частоты ГУН в больших пределах и фазовый для точного удержания частоты ГУН после установления режима ФАПЧ. Частоту сравнения  $f_{ср}$  выбирают из условия быстрогодействия системы ФАПЧ с учетом того, что ее фильтрующее действие примерно равно  $(0,05 \dots 0,1) f_{ср}$ . Это обуславливает достаточно высокое значение частоты сравнения, обычно от сотен килогерц до мегагерца. При малых значениях частот система ФАПЧ будет инерционной, а выходной сигнал будет иметь большую девиацию паразитной частотной модуляции.

В возбуждателях ТВ передатчиков начали применять синтезаторы частоты, обеспечивающие получение сетки частот — любого из ТВ каналов [4]. Изменяются частоты обычно путем переключения нескольких цепей, реже — их перестройкой. Применение синтезаторов вызвано требованием повышения стабильности несущих частот ТВ передатчика, что легко достигается использованием стандартов частоты и синтезаторного способа ее преобразования. С развитием микроэлектроники созданы стабильно работающие сложные синтезаторы в малых объемах. Частотно-модулированный радиосигнал звукового сопровождения формируют только на малом уровне мощности непосредственно в возбуждателях. В последующем тракте он усиливается и умножается по частоте. Последнее должно учитываться при определении девиации частоты на выходе возбуждателя, которая также умножается. Для получения ЧМ колебаний обычно используют возбуждатель с непосредственной модуляцией сигнала генератора и автоподстройкой средней частоты системой с импульсно-фазовым детектором и цифровыми делителями частоты. Структурная схема такого возбуждателя (или блока формирования ЧМ колебаний) аналогична изображенной на рис. 4.3.4. Разница заключается в том, что на ГУН кроме управляющего напряжения системы ФАПЧ подается модулирующее напряжение звуковой частоты.

Для исключения демодулирующего действия полосы синхронизации  $\Delta f_{синхр}$  должна быть в несколько раз меньше нижней модулирующей частоты  $\Omega_n = 30$  Гц и выбирается равной  $10 \dots 15$  Гц. Это достигается выбором параметров RC-фильтра нижних частот. В то же время полоса удержания  $\Delta f_{уд}$  частоты ГУН должна быть в несколько раз больше нестабильности частоты ГУН, которая при воздействии всех факторов достигает десятков килогерц. Отсюда коэффициент деления частоты ГУН в цепи ФАПЧ  $n_1 \geq \Delta f_{уд} / f_{синхр}$ , частота сравнения  $f_{ср} < f_{гун} / n_1$  и выбирается в пределах сотен герц.

В радиопередатчиках с модуляцией на промежуточной частоте несущие изображения и звукового со-

провождения формируются с помощью гетеродинирования. Возбудитель такого передатчика содержит ряд генераторов и представляет собой законченный тракт передатчика малой мощности. С учетом использования синтезаторов частоты он может быть унифицирован для широкого диапазона. Схемы передатчиков с унифицированными возбудителями (рис. 4.3.5) отличаются, только начиная с каскадов усиления модулированных колебаний главным образом большой мощности.

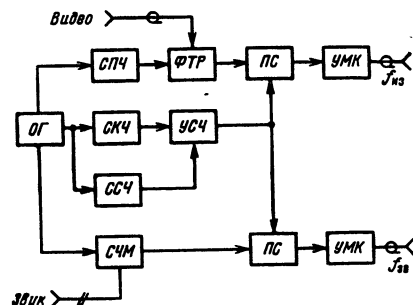


Рис. 4.3.5. Структурная схема унифицированного возбудителя (ОГ — опорный генератор; СПЧ — синтезатор ПЧ; ФТР — формирователь ТВ радиосигнала на ПЧ; ПС — преобразователь радиосигнала; УМК — усилитель модулированных колебаний; СКЧ — синтезатор канальных (гетеродинных) частот; УСЧ — устройство сдвига частот ССЧ, СЧМ — синтезаторы смещенных частот и ЧМ сигналов)

**4.3.3. Модуляция в канале изображения.** Место и метод модуляции в канале изображения определяются построением тракта ТВ передатчика. Модуляция бывает на несущей и промежуточной частотах. Ранее применяли модуляцию только на несущей. С учетом широкополосности и наличия сигнала постоянной составляющей модулирующего сигнала используют только сеточную модуляцию. При сеточном управлении модулировать сигнал можно на разных уровнях мощности. В соответствии с этим модуляция производится непосредственно в оконечном ВЧ каскаде или на среднем в предоконечном промежуточном каскаде ВЧ тракта (*модуляция на высоком уровне мощности*). При такой модуляции упрощается тракт ВЧ усиления, так как нет широкополосных каскадов УМК. Качественные показатели на выходе канала изображения определяются только одним ВЧ каскадом (модулируемым) и модуляционным устройством, не требующим оперативной подстройки, что повышает стабильность показателей. Вместе с тем при модуляции на высоком уровне мощности необходима сложная система выходных контуров для обеспечения подавления одной боковой полосы в заданных пределах. Модуляционные устройства получаются громоздкими, не уступающими по мощности ВЧ тракту. Усложняются источники электропитания модулятора. Все это приводит к снижению устойчивости и КПД канала изображения передатчика.

*Модуляцию на среднем уровне мощности* целесообразно применять, если в модуляторе не требуются мощные лампы и потребляемая им мощность незначительна по сравнению с мощностью, потребляемой ВЧ трактом. В ТВ передатчиках ранних выпусков, когда применялись мощные электронные лампы с малым коэффициентом усиления (в основном триоды), использование модуляции на среднем уровне приводило к необходимости иметь до 4—5 мощных широкополосных каскадов УМК, что усложняло схему передатчика, его настройку и снижало стабильность параметров.

С разработкой мощных ламп с большим коэффициентом усиления в широкополосном режиме (тетроды) модуляцию на среднем уровне мощности стали использовать в предоконечном или третьем от конца каскаде. При этом существенно упростилась модулятор,

легче стала обеспечиваться линейность модуляции, повысилась КПД передатчика. Несколько упростилась система фильтров подавления одной боковой полосы благодаря частичному подавлению в тракте УМК, который, однако, усложняется по сравнению с резонансными каскадами усиления немодулированных колебаний. При недостаточной линейности каскадов УМК следует учитывать возможность частичного восстановления подавленных компонент нижней боковой. На современном уровне техники можно создать канал изображения с модуляцией на оконечный или предоконечный каскад с модулятором полностью на транзисторах. Считается, что место модуляции целесообразно перенести ближе к выходу канала до тех пор, пока в модуляторе не требуется применять мощные лампы. Модулируемым параметром является крутизна анодно-сеточной характеристики лампы, изменяющаяся в зависимости от напряжения смещения или угла отсечки (рис. 4.3.6). Не-

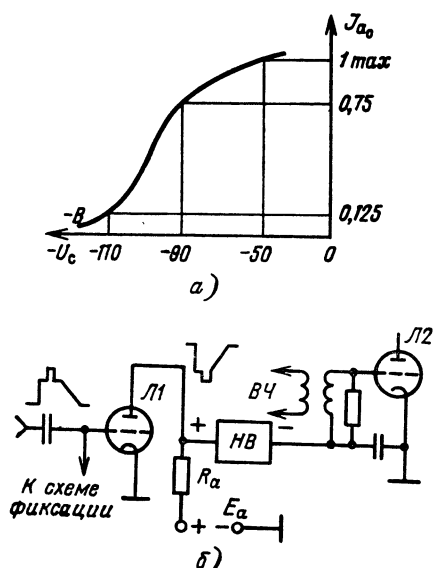


Рис. 4.3.6. Модулятор:

*а* — типичная статическая модуляционная характеристика лампового каскада с модуляцией смещением; *б* — структурная схема с модулируемым каскадом без потери сигнала постоянной составляющей

достатком сеточной модуляции является нелинейность модуляционной характеристики на концах (характеристика линейна в средней части при углах отсечки  $60 \dots 120^\circ$ ). Поэтому для обеспечения полного использования лампы, к чему всегда стремятся при модуляции на среднем и высоком уровнях мощности, неизбежна работа на нелинейных участках модуляционной характеристики. При негативной полярности модуляции синхронизирующие импульсы располагают в области верхнего изгиба модуляционной характеристики. Возникающее при этом ограничение их уровня компенсируется увеличением размаха синхроимпульсов в тракте модулятора. Искривление же нижней части модуляционной характеристики вызывает искажение уровня белого. Эти искажения особенно проявляются при передаче цветowych ТВ сигналов, так как при передаче отдельных цветов немодулированный остаток несущей снижается до 5%.

Выходное сопротивление модулированного ВЧ каскада с общим катодом изменяется в широких пределах. При изменении модулирующего напряжения сопротивление изменяется от нескольких сотен или тысяч ом из-за наличия сеточных токов при прохождении уровня черного, особенно синхроимпульсов, до бесконечности во время прохождения уровня белого, когда сеточные

токи отсутствуют. Поэтому в качестве выходного каскада модулятора используют устройства, обладающие малым выходным (внутренним) сопротивлением. Ими являются триоды (обычно несколько включенных параллельно) с малым внутренним сопротивлением, катодные повторители или устройства с параллельным управлением — каскады с анодно-катодным выходом.

В ТВ вещании используют излучение радиосигнала изображения с постоянной составляющей. Поэтому в сигнале, поступающем на сетку модулирующего каскада, средняя составляющая должна быть восстановлена. Это достигается фиксацией уровня на сетке лампы последнего каскада модулятора и гальванической связью его выхода с сеткой модулируемого каскада. Реже применяют фиксацию уровня на сетке лампы предоконечного каскада модулятора и соответственно работу двух последних его каскадов, если каскад собран по схеме усилителя постоянного тока (без переходных конденсаторов). Гальваническую связь выхода модулятора с модулируемым каскадом устанавливать технически трудно, так как необходимо предотвратить влияние анодного напряжения модулятора на сеточное смещение модулируемого каскада.

Поясним принцип построения связи модулятора с модулируемым каскадом (рис. 4.3.6). На рисунке НВ — незаземленный выпрямитель. Постоянное напряжение смещения на сетке лампы Л2 будет  $E_{н.в} - E_a$  (без учета падения напряжения на резисторе  $R_a$ ) и регулируется изменением напряжения незаземленного выпрямителя. Так как через НВ протекает изменяющийся сеточный ток лампы Л2, выпрямитель делают со стабилизацией напряжения. Конструкция НВ должна создавать минимальную паразитную емкость относительно земли.

В мощных модуляторах трудно создать сопротивление нагрузки (рис. 4.3.6). Оно должно рассеивать значительную мощность, что определяет его габариты, и быть безындукционным. В то же время необходимо стремиться к снижению паразитной емкости на землю. Поэтому в качестве нагрузки в мощных каскадах модуляторов обычно применяют цепи постоянного сопротивления.

Дальнейшим развитием радиотракта канала изображения явилось применение модуляции на низком уровне мощности по ПЧ [26]. При этом формирование АЧХ и коррекция искажений радиосигнала осуществляются полностью на ПЧ и затем спектр преобразуется в радиочастотный на несущей изображения заданного частотного канала. Это привело к созданию унифицированного модулятора ПЧ, пригодного для работы без перестройки в канале изображения любого канала I—V диапазонов и любой мощности передатчика. Промежуточные частоты выбирают исходя из условия, чтобы комбинационные, образующиеся в результате бинария несущих промежуточных частот и их составляющих, не попали в полосу радиотракта и тракта ПЧ. В качестве ПЧ канала звукового сопровождения в ряде случаев служит разница между несущими частотами изображения и звукового сопровождения. В этом случае несущая радиосигнала звука образуется путем смещения сигнала ПЧ звука и несущей изображения (табл. 4.3.1).

В схемах с модуляцией по ПЧ частоту переноса спектра обычно выбирают выше промежуточной. В этом случае в тракте ПЧ подавляют верхнюю боковую полосу частот, которая после конвертирования спектра становится нижней. При модуляции на низком уровне мощности можно использовать высоколинейные схемы модуляции, которые на высоких и средних уровнях мощности энергетически невыгодны.

На низком уровне мощности обычно используют *балансные* (двухтактные и кольцевые — двойные двухтактные) модуляторы, построенные на полупроводниковых диодах или транзисторах.

#### 4.3.4. Коррекция искажений в канале изображения.

Таблица 4.3.1. Значения использующихся промежуточных частот

ТВ стандарт	ПЧ, МГц		ТВ стандарт	ПЧ, МГц	
	изображение	звук		изображение	звук
Д, К*	32,75	26,25	В	35	5,5
	35,75	29,25	Л	32,7	39,2
В, G	38,9	33,4	М**	37	32,5
Ж	38,9	32,9			
В	39,25	5,5			

\* В РФ в передатчиках I—III диапазонов используют частоты 32,75 и 35,75 МГц, а IV—V только 32,75 МГц.

\*\* Используется в США.

В процессе усиления и преобразования сигнал искажается, ухудшая воспроизводимое изображение. Искажения обусловлены как методом передачи сигнала с подавленной одной боковой полосой, так и нелинейностью амплитудных характеристик ламп и транзисторов. Искажения компенсируются введением в тракт корректоров.

Способу передачи сигнала с одной боковой полосой присущи амплитудно-фазочастотные искажения, возникающие как в процессе формирования однополосного сигнала, так и при его дальнейшем усилении и детектировании. Амплитудно-модулированный сигнал можно представить суммой трех гармонических составляющих (несущей и двух боковых) в виде векторов (рис. 4.3.7). При детектировании амплитуды боковых

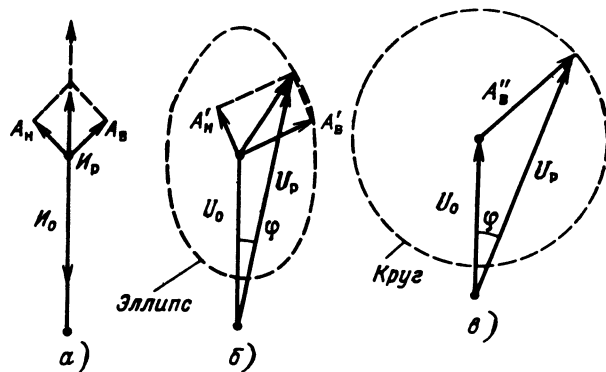


Рис. 4.3.7. Векторные диаграммы сигнала при амплитудной модуляции и передаче: а — двухполосный; б, в — с частично (сигнал  $A_H$ ) и полностью подавленной одной боковой

составляющих суммируются. А так как одна боковая частично или полностью подавляется, то результирующий вектор будет зависеть от степени ее подавления. Поскольку боковая полоса частот по спектру подавляется неравномерно, то значение результирующего вектора будет также изменяться, что вызовет подъем АЧХ на частотах, боковые составляющие которых передаются с меньшим подавлением. Компенсировать эти искажения можно по видеочастоте приданием соответствующей формы АЧХ усилителя. Но это не обеспечивает получения сигнала с малыми искажениями, вследствие чего его применяют в основном в контрольных вспомогательных цепях. Полностью скорректировать амплитудно-частотные искажения можно по радиочастоте путем придания определенной формы АЧХ приемника (рис. 4.2.20, в). Из рис. 4.3.7 видно, что одновременно результирующий вектор  $U_p$  совершает качания на угол  $\varphi$ , вызывая сопутствующую фазовую модуляцию. Искажения сигнала при этом называют

системными. Фазовая модуляция зависит от разности векторов одинаковых составляющих боковых полос, которая определяется глубиной модуляции и степенью подавления одной боковой (крутизной склона Найквиста). Результирующий вектор  $U_p$  можно разложить на две составляющие (рис. 4.3.8), одна из которых  $U_c$

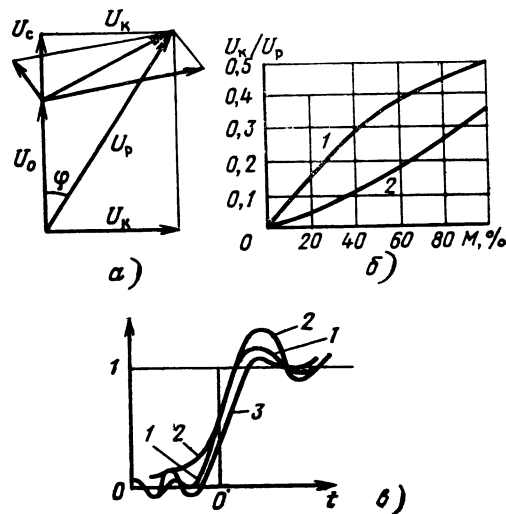


Рис. 4.3.8. Квадратурные искажения при частично подавленной одной боковой полосе частот: а — возникновение квадратурной составляющей  $U_k$ ; б — зависимости квадратурной составляющей от глубины модуляции при полностью 1 и частично 2 подавленной одной боковой и 100%-ной модуляции; в — искажение формы переходной характеристики при стандартном подавлении одной боковой при 1 —  $m=25\%$ ; 2 —  $m=100\%$ ; 3 — исходный сигнал без квадратурных искажений

совпадает по фазе с несущей  $U_0$ , а вторая  $U_k$  сдвинута относительно  $U_0$  на  $90^\circ$ , т. е. находится в квадратуре. Квадратурная составляющая характеризует паразитную фазовую модуляцию и нарушает пропорциональность между исходным и результирующим векторами, что проявляется в изменении формы сигнала изображения (квадратурные искажения). Поскольку квадратурные искажения зависят от глубины модуляции, они при реально передаваемых сюжетах незначительны. Это объясняется тем, что составляющие сигнала изображения с ростом частоты быстро убывают, снижая глубину модуляции. Поэтому ранее квадратурные искажения не учитывались и не корректировались. В настоящее время они корректируются повсеместным использованием в телевизорах синхронного детектирования.

Фазовые искажения вызываются также несимметричностью однополосного сигнала относительно центральной частоты характеристики полосы пропускания радиотрактов каналов изображения передатчика и приемника, а также крутыми склонами этих характеристик на краях полосы (рис. 4.3.9). Непосредственно измерить фазовые отклонения сложно, обычно используют характеристику группового времени запаздывания (задержки) сигнала (ХГВЗ), которая представляет собой производную фазовой характеристики по частоте, определяя ее крутизну:  $\tau_{гр} = d\varphi(\omega)/d\omega$ . Отсутствию фазовых искажений соответствует прямолинейная фазовая ХГВЗ сигнала, которая при этом изображается горизонтальной линией, что соответствует одинаковому времени задержки составляющих сигнала на всех частотах.

Фазовая характеристика радиоканала изображения передатчика практически линейна в пределах большей части его полосы пропускания и искажается только на ее краях. При двухполосном сигнале фазовым искажениям подвергаются только ВЧ составляющие на краях

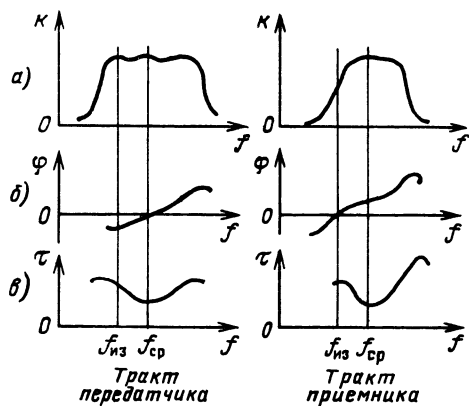


Рис. 4.3.9. Характеристики:  
а — АЧХ; б — ФЧХ; в — ГВЗ радиочастотного тракта изображения

полосы пропускания. При частичном подавлении одной боковой несущая смещается к краю полосы пропускания радиоканала, вследствие чего фазовым искажениям подвергаются и НЧ составляющие спектра. Аналогичные искажения претерпевают сигналы и в тракте изображения приемника. При этом в ВЧ области со стороны несущей звука из-за более крутого среза АЧХ значения фазовых искажений больше. В результате ХГВЗ сигнала отклоняется от горизонтальной линии в сторону замедления на краях полосы в НЧ области до 0,2...0,25 мкс и в ВЧ области до 0,6...0,8 мкс.

Фазовые искажения в НЧ области вызывают появление левого отрицательного выброса в области, предшествующей нарастанию сигнала. На изображении это проявляется в виде окантовки слева от деталей изображения. На уровне выше 0,5 уменьшается крутизна нарастания сигнала, затягивается фронт (рис. 4.3.10). Это

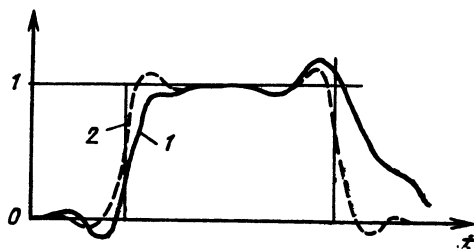


Рис. 4.3.10. Искажение переходной характеристики при передаче сигналов (1 — с частично подавленной одной боковой полосой частот при наличии фазовых искажений; 2 — двухполосного без искажений)

проявляется в виде «смазывания» яркостного перехода, что на изображении более заметно, чем левая окантовка. При негативной модуляции и переходе от белого к черному выброс направлен в сторону белого, а переход смазывается на уровне черного. При переходе от черного к белому — наоборот.

Фазовые искажения в ВЧ области вызывают появление колебательного затухающего процесса после скачка напряжения как от белого к черному, так и от черного к белому. Они приводят к подчеркиванию правого края детали изображения, что как бы повышает его резкость. Колебательный процесс заметен сравнительно слабо, так как имеет достаточно высокую частоту и быстро затухает. В сигнале цветного ТВ в ВЧ части спектра передаются на поднесущей НЧ сигналы цветности. Их временный сдвиг относительно НЧ яркостных составляющих, называемый *расхождением во времени* сигнала яркости и цветности, вызывает искажения изображения в виде расслоения цветов. Коррекция ХГВЗ обеспечивается путем включения в тракт ТВ сиг-

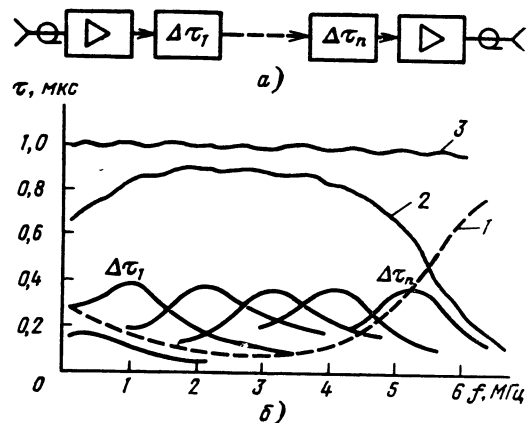


Рис. 4.3.11. Фазовый корректор с пассивными звеньями: а — структурная схема; б — характеристика ХГВЗ (1 — тракта передачи без корректора; 2 — корректора; 3 — суммарная)

нала устройства, дополняющего общее время задержки до одинакового значения по всему спектру (рис. 4.3.11). При этом обычно предусматривают коррекцию фазовых искажений, возникающих в тракте не только радиопередатчика, но частично и приемника. Корректоры ХГВЗ состоят из последовательно включенных элементов в виде неминимально-фазовых фильтров, каждый из которых задерживает сигнал в определенной области частот на определенное время без амплитудно-частотных искажений. Однако коррекция по видеочастоте не позволяет полностью компенсировать фазовые искажения, так как производится без учета асимметрии ХГВЗ в области несущей изображения.

Полностью корректировать фазовые искажения можно только в ВЧ сигнале, что легко выполнить при модуляции на низком уровне мощности, например на ПЧ [19, 22]. Для такой коррекции можно использовать неминимально-фазовые пассивные звенья. Но реализация их затрудняется с возрастанием несущей частоты, так как реактивные элементы фильтров становятся соизмеримыми с паразитными емкостями и индуктивностями, а также из-за существенного увеличения потерь. Поэтому для коррекции в ВЧ тракте используют активные корректирующие звенья (рис. 4.3.12). Входной

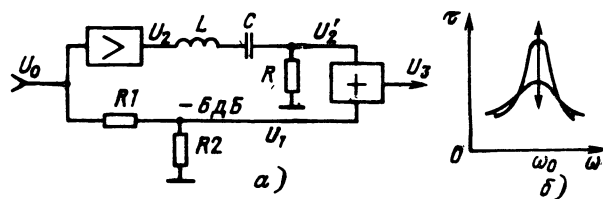


Рис. 4.3.12. Активное звено фазового корректора: а — эквивалентная схема; б — ХГВЗ

сигнал  $U_0$  вначале разделяется по двум цепям, а затем складывается. В нижней цепи сигнал  $U_1$  ослабляется на 50% (6 дБ) без изменения фазы относительно  $U_0$ . В верхней цепи вначале изменяется фаза  $U_0$  на  $180^\circ$ , а затем сигнал  $U_2$  проходит через резонансный контур LC, настроенный на частоту  $\omega_0$ , с регулируемой резистором R добротностью. На частоте  $\omega_0$  напряжения  $U_1$  и  $U_2$  будут противофазны, а результирующее напряжение будет  $U_1 = 0,5 U_0$ . При изменении частоты входного сигнала  $\omega$  напряжение  $U_2$  будет изменяться как по фазе, так и по амплитуде относительно  $U_0$ . При этом выходное напряжение  $U_3$  будет сохранять постоянную амплитуду, но получит частотно-зависимый фазовый сдвиг. Он будет изменяться в пределах  $0 \dots 360^\circ$  при изменении входной частоты от 0 до  $\infty$ ,

что соответствует параметрам неминимально-фазовой цепи. Задержку и форму ХГВЗ такого звена определяют добротностью контура LC и регулируют резистором R. Такая цепь легко перестраивается по частоте изменением параметров этого контура.

В тракте сигнала изображения всегда содержатся нелинейные элементы, вносящие амплитудные искажения [9]. При негативной модуляции нелинейность больше проявляется вблизи уровней черного и синхроимпульсов, что объясняется желанием лучше использовать усилительные приборы по мощности. При модуляции на большой мощности нелинейность проявляется также в районе уровня белого при прохождении сигналом мощных ступеней усиления модулятора и в модулируемом каскаде. Снижение уровня синхроимпульсов в УМК обычно компенсируется в тракте модулятора.

Степень нелинейности амплитудной характеристики с достаточной точностью описывается уравнением  $U_{\text{вых}} = kU_{\text{вх}}^\gamma$ , где  $\gamma$  определяет характер и значение нелинейности, а  $k$  — коэффициент пропорциональности. Нелинейность корректируется включением в тракт модулятора нелинейного корректора ( $\gamma$ -корректора) с амплитудной характеристикой, обратной характеристике тракта передачи. В этом случае  $\gamma_{\text{тр}} \gamma_{\text{кор}} = 1$ . Поскольку в тракте канала изображения  $\gamma_{\text{кан}} > 1$ , соответственно  $\gamma_{\text{кор}} < 1$ . Работа  $\gamma$ -корректора основана на применении нелинейного элемента в качестве нагрузки усилительного каскада, цепи обратной связи (ОС) или одного из плеч делителя напряжения. В качестве нелинейного элемента обычно используют полупроводниковые элементы. В  $\gamma$ -корректоре с нелинейной обратной связью (рис. 4.3.13) диоды (нелинейные элементы) заперты постоян-

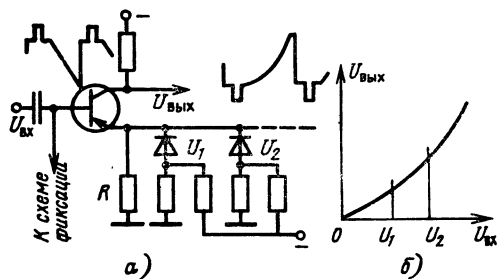


Рис. 4.3.13. Корректор нелинейности ТВ сигнала: а — принципиальная схема; б — АЧХ

ными напряжениями  $U_1, U_2 \dots$ . По мере увеличения уровня входного сигнала диоды поочередно будут отпираться, шунтируя резистор R в цепи эмиттера, уменьшая глубину отрицательной ОС по току. Изменяя запирающие напряжения, можно регулировать форму амплитудной характеристики корректора.

Зависимость полного входного сопротивления каскада от уровня сигнала вследствие изменения входной емкости и сеточных токов приводит к возникновению дифференциальных искажений цветовой ТВ сигнала. Они проявляются в изменении амплитуды (дифференциальное усиление) и фазы (дифференциальная фаза) сигнала цветовой поднесущей при изменении уровня сигнала яркости от белого до черного (рис. 4.3.14). Искажения дифференциального усиления возникают также из-за общей нелинейности амплитудной характеристики тракта и частично корректируются одновременно с ее коррекцией. Полностью корректируют дифференциальные искажения путем воздействия только на сигнал цветовой поднесущей без изменения сигнала яркости. В простейшем корректоре дифференциальной фазы используют параллельно включенные резистор и варикап в эмиттерную цепь. Они образуют комплексную ОС. Поскольку емкость варикапа мала, ее действие

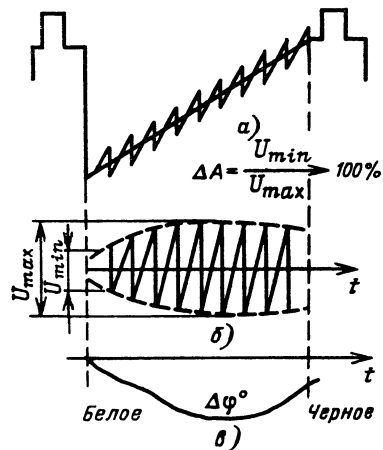


Рис. 4.3.14. Дифференциальные искажения сигнала цветовой поднесущей: а — исходный неискаженный сигнал цветовой ТВ; б — искажение амплитуды цветовой поднесущей; в — изменение фазы цветовой поднесущей

сказывается в основном на ВЧ составляющих спектра, к которым относится сигнал цветовой поднесущей. Емкость варикапа зависит от приложенного напряжения (изменения яркостной составляющей от белого до черного), чем обеспечивается зависимость изменения фазового сдвига поднесущей от сигнала яркости. Форма кривой изменения фазового сдвига (емкости варикапа) может изменяться регулировкой постоянного напряжения на варикапе, а изменение фазы — последовательно включенным с варикапом переменным резистором.

Более совершенные корректоры дифференциальной фазы построены по двухканальной схеме. Их работа основана на том, что если сложить два сигнала, имеющих постоянный фазовый сдвиг, то фаза результирующего сигнала будет определяться амплитудными соотношениями складываемых сигналов. В одном из вариантов такого корректора (рис. 4.3.15, а) в каждый из каналов включены нелинейные элементы, имеющие

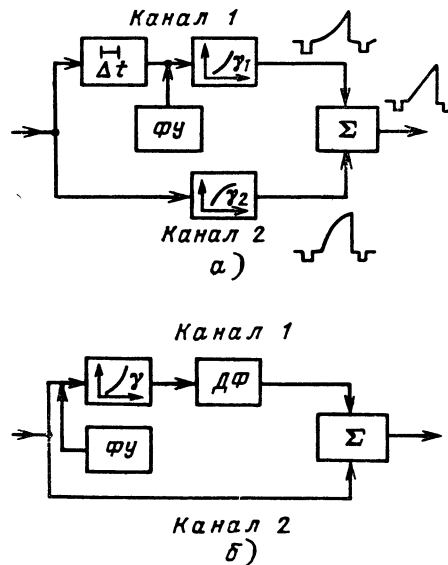


Рис. 4.3.15. Структурные схемы двухканальных корректоров дифференциально-фазовых искажений (ФУ — фиксатор уровня; ДФ — дифференцирующая цепь с включением нелинейного элемента:

а — в каждом канале, б — только в канале с ДФ

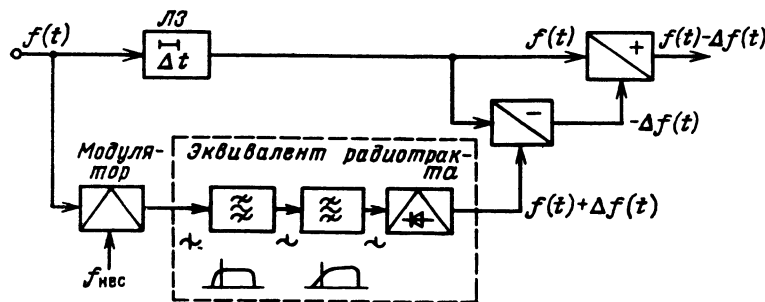


Рис. 4.3.16. Упрощенная структурная схема интегрального корректора

равные по значению, но разные по знаку коэффициенты нелинейности ( $\gamma_1 = 1/\gamma_2$ ). Это позволяет при сложении получить выходной сигнал без амплитудных искажений ( $\gamma_1\gamma_2 = 1$ ). Для получения фазового сдвига в один из каналов включают ЛЗ на  $\Delta t$ . Изменение фазы цветовой поднесущей в выходном сигнале будет определяться временем задержки одного из сигналов и разницей амплитуд сигналов цветовой поднесущей в одинаковые моменты, зависящей от нелинейности каналов.

В другом корректоре (рис. 4.3.15, б) нелинейный элемент расположен только в канале, в котором имеется дифференцирующая цепь ДФ, обеспечивающая выделение сигнала цветовой поднесущей и сдвиг ее по фазе примерно на  $90^\circ$ . Такой корректор, компенсируя фазовые искажения, вносит небольшие нелинейные искажения из-за прохождения части сигнала яркости через ДФ. Кроме последовательного включения в тракт корректоров для каждого вида искажений (*дифференциальный метод*) используют корректоры, общие для группы искажений (*интегральный метод*). Он основан на том, что искажения определяются формой АЧХ радиоканала (передатчик—приемник) и наличием детектора огибающей. Если прошедший такой тракт сигнал  $f(t) + \Delta f$  сравнить (вычесть) с исходным  $f(t)$ , то получим сигнал ошибки  $\Delta f(t)$ , соответствующий сумме искажений. Если добавить его к исходному сигналу, будут скомпенсированы (предкорректированы) возникающие в реальном тракте передатчик—приемник—детектор искажения. Для формирования сигнала ошибки используют эквивалент тракта, имеющего АЧХ реального тракта и содержащего детектор огибающей. Упрощенная структурная схема интегрального корректора изображена на рис. 4.3.16. Чтобы сигнал ошибки, поданный на вход передатчика, не искажался, обычно в тракт включают еще один предкорректор, для которого входным является сигнал ошибок с выхода первого корректора. При использовании интегрального корректора в тракте передачи оказываются включенными только пассивная ЛЗ и простой сумматор. Выход из строя корректора не приводит к прекращению работы передатчика, кроме этого обеспечивается слежение за изменением искажений, возникающих в процессе работы под воздействием дестабилизирующих факторов.

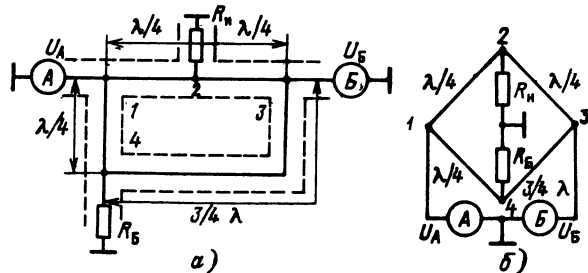


Рис. 4.3.17. Схемы моста сложения мощностей на коаксиальных линиях:  
а — принципиальная; б — эквивалентная

**4.3.5. Элементы тракта высокой частоты.** Особенности некоторых элементов ВЧ тракта ТВ передатчика обусловлены широкополосностью передаваемого сигнала, спецификой построения тракта и внесения малых искажений. В современных ТВ передатчиках широко используют устройства сложения мощностей генераторов, работающих на одинаковых частотах, и устройства деления (распределения) мощности, которые называют уравнивающими, или суммирующими. Они представляют собой мосты различной конструкции, выполненные из отрезков четвертьволновых и полуволновых короткозамкнутых и разомкнутых двухпроводных и коаксиальных линий. В варианте такого моста (рис. 4.3.17) генераторы А и Б в точках 1 и 3 должны создавать равные и синфазные напряжения. Тогда при указанных на рисунке длинах плеч моста в точке 2 — нагрузке сигналы обоих генераторов будут складываться, так как пройдут равные пути ( $\lambda/4$ ). На балластном сопротивлении 4 сигналы будут вычитаться, находясь в противофазе (разность хода равна  $\lambda/2$ ). Сигнал генератора А на выходе генератора Б (точка 3) будет отсутствовать. Он придет в 3 по путям 1—2—3 и 1—4—3 (разность которых  $\lambda/2$ ), что обеспечит их противофазность. Аналогичное положение для выхода генератора Б относительно генератора А. Этим обеспечивается взаимная развязка между обоими генераторами. Более простым по конструкции и более широкополосным является двухпроводной трехдецибелльный мост, широко применяющийся в различных цепях передатчиков. Он представляет собой двухпроводную симметричную линию длиной  $\lambda/4$  с сильной связью, заключенную в заземлен-

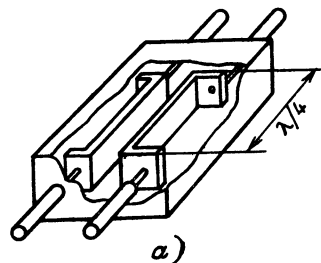


Рис. 4.3.18. Конструкции трехдецибелльных мостов:  
а — из двухпроводной экранированной линии; б — из отрезков коаксиальных кабелей



ный экран с коаксиальными выводами (рис. 4.3.18, а). Такой мост можно выполнить из отрезков коаксиальных кабелей с емкостной связью на концах [55]. При волновом сопротивлении 75 Ом и длина равна  $\lambda/8$  (рис. 4.3.18, б).

Условием работы моста в приведенном режиме (рис. 4.3.19) является согласование нагрузок (генерато-

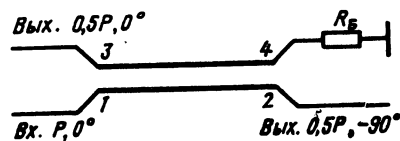


Рис. 4.3.19. Соотношение сигналов и их фаз в трехдецибелном мосте

ров и потребителей) на его концах — работа на согласованные нагрузки. В этом случае поданный на вход одной из диагоналей моста сигнал в точке 1 делится пополам между выходами второй диагонали 2 и 3, вследствие чего мост и называют *трехдецибелным*. При этом в точке 3 напряжение сигнала будет синфазным со входным, а в точке 2 отставать от входного на  $90^\circ$ , т. е. находиться в квадратуре, вследствие чего мост называют также *квадратурным*. В точке 4 сигналы будут в противофазе, взаимно компенсируясь. Небольшая часть энергии, выделяющаяся в точке 4 из-за неполного баланса моста, поглощается в балластном резисторе  $R_6$ . Поскольку в точке 4 мощность не выделяется, связь между концами диагонали 1—4 отсутствует и к ним можно подключить генераторы, которые не будут взаимно влиять, обеспечивая режим сложения мощностей. В этом случае сигналы от генераторов подаются в одну из диагоналей моста с фазовым сдвигом  $90^\circ$ . Плечо второй диагонали, в котором складываются мощности, определяется соотношением фаз входных напряжений.

Рассмотрим схему рис. 4.3.20. Мост  $M1$  делит вход-

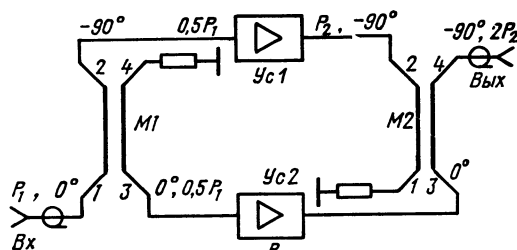


Рис. 4.3.20. Схема с трехдецибелными мостами в тракте усиления

ную мощность сигнала  $P_1$  для возбуждения двух усилителей  $Ус1$  и  $Ус2$ , а мост  $M2$  складывает усиленные сигналы. Для создания такого режима работы электрические длины линий, соединяющие мосты  $M1$  и  $M2$ , должны быть равны, а усилители  $Ус1$  и  $Ус2$  должны вносить в сигналы одинаковые фазовые сдвиги. Схема сложения мощностей с трехдецибелными мостами может обладать свойством поглощения отраженных сигналов, т. е. полного согласования с нагрузкой. Схема устройств с таким режимом работы, называемым *квадратурным* (рис. 4.3.21), отличается от схемы рис. 4.3.20 тем, что разность фаз между выходами сигналов усилителей  $Ус1$  и  $Ус2$  должна равняться  $90^\circ$ . Это достигается перемещением одного из усилителей относительно другого на расстояние  $\lambda/4$  без изменения расстояния между мостами  $M1$  и  $M2$ . В этом случае отразившийся от нагрузки сигнал возвращается к мосту  $M2$ , проходит через него, достигает выходов усилите-

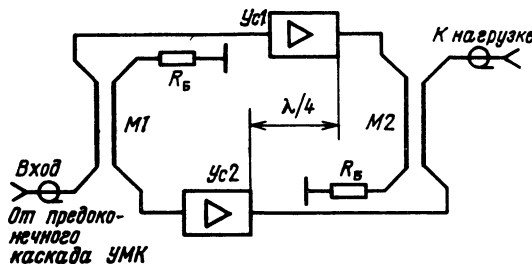


Рис. 4.3.21. Схема выходного каскада квадратурного построения

лей, а отразившись от выходов усилителей, сигналы возвращаются обратно к мосту сложения  $M2$ . Благодаря полуволновой разнице длин между выходами генераторов и входами моста  $M2$  за счет прямого и обратного четвертьволнового хода эти отраженные сигналы на подключенной к мосту  $M2$  нагрузке будут в противофазе, а на выходе балластной нагрузки в фазе и поглощаться ею. В качестве усилителей могут служить полуконтакты каналов изображения, а в качестве нагрузки АФУ. В последнем случае будет обеспечиваться эхопоглощение отраженных от антенн и неоднородностей фидера сигналов, что повышает КБВ фидера и исключает излучение сигналов повторных изображений.

В соответствии с действующими нормами спектры боковых полос радиосигнала изображения должны быть подавлены не менее чем на 20 дБ, начиная от частот  $-1,25$  и  $+6,375$  МГц относительно несущей. Это обеспечивается формой АЧХ радиотракта и дополнительными режекторными фильтрами. При модуляции на ПЧ АЧХ в основном формируется на малом уровне мощности, вследствие чего контурные системы имеют небольшие размеры, легко реализуемые при любой их сложности. При этом в последнее время начали использовать фильтры на ПАВ. Они обладают малыми искажениями ХГВЗ на краях полосы, что существенно упрощает корректоры и практически не требуют подстройки в процессе эксплуатации.

При модуляции на среднем и особенно на высоком уровнях мощности контурные системы формирования АЧХ становятся громоздкими, конструктивно сложными, многоконтурными. Их включают как в каскадную связь, так и на выходе оконечного каскада канала изображения (рис. 4.3.22). Мощность любого внеполосного колебания в антенном фидере согласно действующим нормам должна быть на 60 дБ ниже мощности на несущей в диапазоне до 235 МГц и не более 20 мВт в диапазоне 235...960 МГц. Это требование обеспечивается включением на выходе каналов изображения и звукового сопровождения специальных фильтров. Используют как избирательно поглощающие фильтры, настроенные на определенные частоты (режекторные), так и ослабляющие всю полосу выше граничной частоты (ФНЧ). Большей частью применяют последние, состоящие из нескольких П-образных звеньев. Фильтры включают как в общий тракт перед фидером, так и на выходе каждого канала.

При работе каналов изображения и звукового сопровождения на одну антенну предварительно складывают их сигналы. Для этого используют специальные устройства — разделительные антенные или ВЧ фильтры. Развязка между входами обоих сигналов не менее 25...30 дБ при КБВ  $>0,9$  и малой неравномерности АЧХ в полосе обоих радиосигналов. Разделительные фильтры строят на базе использования как резонансных, так и мостовых элементов.

Вариант разделительного фильтра с двойными квадратурными мостами и полной связью (рис. 4.3.23), использующийся в отечественных передатчиках «Якорь», «Ураган», «Игла», «Лен» и «Дон» (пп. 4.4.3, 4.4.4), со-



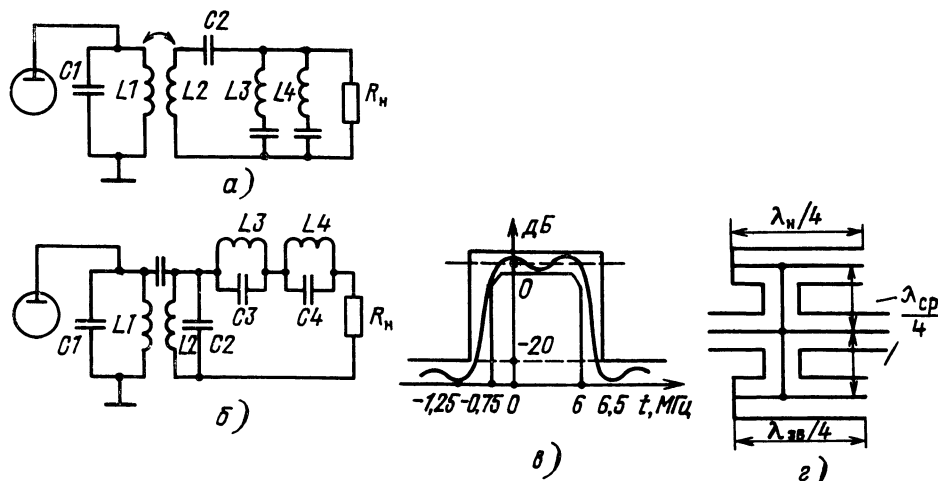


Рис. 4.3.22. Двухконтурная система оконечного каскада:  
а, б — варианты схемы; в — АЧХ; з — шлейф-резонатор;  $\lambda_n$  — длина волны частоты  $f_{из}$  — 1,25 МГц

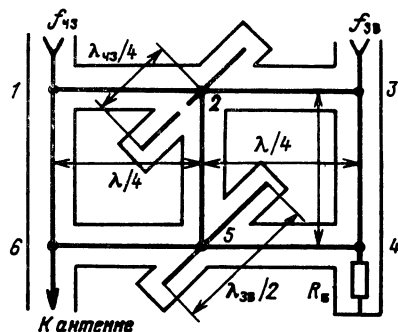


Рис. 4.3.23. Схема разделительного фильтра с двойными квадратными мостами и полной связью

стоит из двух квадратных мостов с одной общей стороной и двух режекторных фильтров, создающих в точках их включения короткое замыкание для радиочастот  $f_{из}$  и пропускающих радиочастоты  $f_{зв}$ . Для радиосигнала звукового сопровождения фильтр работает как мост, обеспечивающий передачу энергии по диагонали из точки 3 в 6 и не пропускающий ее в плечи другой диагонали (точки 1 и 4). Для радиосигнала изображения энергия поступает по линии 1—6. Просачивающаяся через режекторные фильтры энергия создает в точке 3 противофазные взаимно компенсирующие напряжения, а в точке 4 синфазные напряжения, поглощающиеся в балластной нагрузке. Такой разделительный фильтр обладает развязкой между входами более 40 дБ и КВВ  $\approx 0,9$  во всей полосе частот.

В качестве разделительных фильтров часто используют двухпроводные трехдецибелльные мосты (рис. 4.3.24). Режекторные фильтры  $\Phi$  настроены на частоты радиосигнала звукового сопровождения, представляя для них короткое замыкание. Мощность радиосигнала изображения делится в мосте М1 и суммируется в М2. Мощность радиосигнала звукового сопровождения вначале делится в мосте М2. Затем, отразившись от режекторных фильтров  $\Phi$ , возвращается обратно к мосту М2 и суммируется в нем. В некоторых случаях в соединяющие мосты линии включают режекторные фильтры для дополнительного подавления нижней боковой полосы частот или отдельных заданных частот (в иностранной литературе такие разделительные фильтры называют *фильтр-лексерами*).

В качестве разделительных фильтров используют

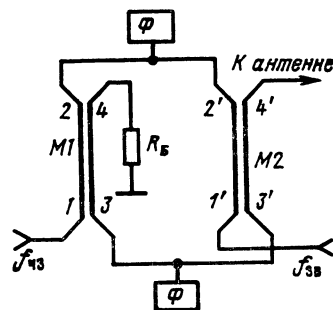


Рис. 4.3.24. Разделительный фильтр с использованием трехдецибелных мостов

также устройства с циркуляторами (рис. 4.3.25). Циркулятор состоит из ферритового материала, находящегося в сильном постоянном магнитном поле. Он пропускает энергию только между двумя смежными выводами в одном направлении, обозначаемом стрелкой, и не пропускает ее в другом. В схеме рис. 4.3.25 фильтр

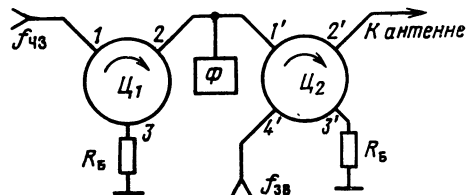


Рис. 4.3.25. Схема разделительного фильтра на циркуляторах

$\Phi$  настроен на радиочастоту звука и не пропускает ее к левому циркулятору. Циркуляторы широко применяют в междукаскадных связях мощных УМК, что устраняет взаимное влияние между ними. Ограничивающим фактором применения циркуляторов является только сложность их изготовления для больших мощностей.

**4.3.6. Структурная схема канала изображения.** Канал изображения ТВ передатчика состоит из узлов, которые содержатся в передатчиках любого назначения — возбуждателя, ВЧ тракта, модулирующего устройства, систем электропитания, управления, контроля и охлаждения. Специфическими узлами являются возбуждатель, ВЧ тракт и модулятор, которые рассмотрены в пп. 4.3.2—4.3.5.

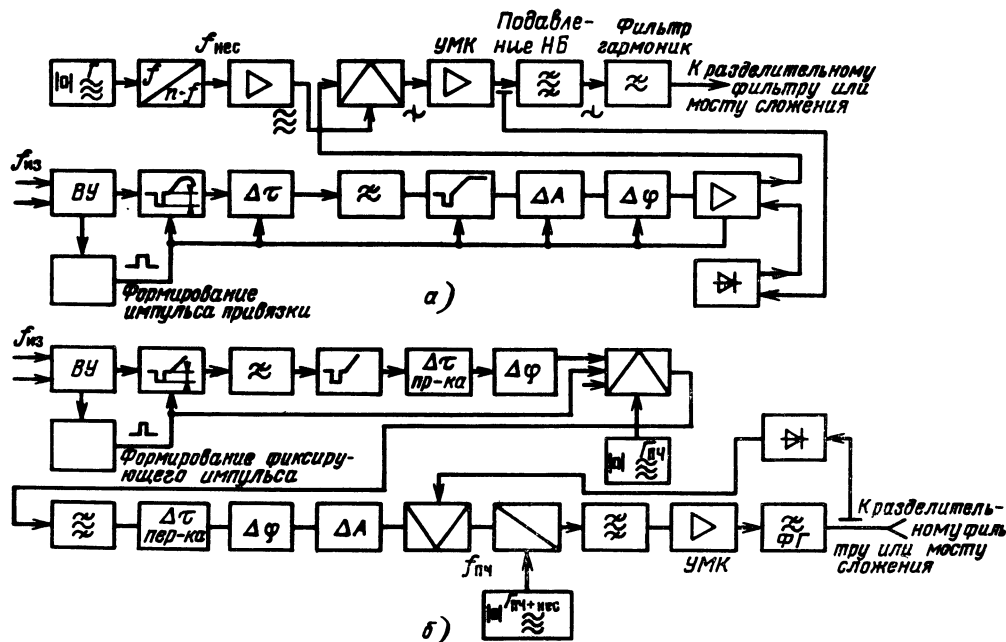


Рис. 4.3.26. Структурные схемы канала изображения с модуляцией на частотах: а — несущей; б — промежуточной (ВУ — входное устройство)

Построение канала изображения во многом определяется уровнями мощности и частоты, на которых происходит модуляция. Необходимость и место включения корректоров определяются конкретным построением канала изображения. Во входном устройстве обычно выбирают один из приходящих сигналов (программы, испытательный, контрольный) на передачу, регулировку его уровня и размножение. Здесь же обычно корректируется АЧХ соединительного кабеля, подавляются помехи от питающей сети, попавшие в кабель, включается фильтр ограничения полосы частот сигнала изображения и выполняется ряд других операций, не зависящих от построения радиотракта канала изображения.

## 4.4. Оборудование ТВ радиопередатчиков

**4.4.1. Классификация и параметры оборудования.** Передатчики классифицируют по выходной мощности и рабочему диапазону (полосе) частот. Мощность на выходе канала изображения определяется на уровне вершин синхронизирующих импульсов (пиковая), а звукового сопровождения — на несущей. Как правило, определенному типу оборудования присваивают условное наименование. Используют также следующую систему обозначений: ТВ — мощность канала изображения и звукового сопровождения в киловаттах — полоса рабочих частот (римская цифра). Например, ТВ-50/10-III означает, что это ТВ передатчик мощностью в канале изображения 50 кВт и канале звукового сопровождения 10 кВт, предназначен для работы в третьей полосе частот — диапазон 174...230 МГц, 6—12 каналы. Иногда радиопередатчики называют радиостанциями, хотя это не правильно, так как в состав станции входит и антенна (табл. 4.4.1).

Первый радиопередатчик Московского телецентра МТЦ 15/15 для стандарта 625 строк, а также малая ТВ радиостанция МТР 2/1 и типовые радиостанции ТТР 5/2,5 и 15/7,5 практически уже не используют в ТПС. По этим радиостанциям можно проследить эволюцию развития и совершенствования техники оборудования ТВ радиопередатчиков. Их можно условно разбить

на несколько поколений, каждое из которых объединяет однотипное построение и конструктивное решение, идентичность качественных показателей. Они разрабатывались в один период времени и отражают достигнутый уровень техники.

Создание ТВ передатчиков первого поколения относят к 1946—1951 гг. Они были установлены в Москве, Ленинграде и Киеве. Радиопередатчики МТР 2/1, ТТР 5/2,5 и ТТР 15/7,5 относятся к II поколению. Они построены по однолинейной схеме, практически без резервирования и корректоров. К III поколению следует отнести радиопередатчики «Якорь», «Ураган», «Игла», «Лен», «Дон» и «Ладога», построенные из двух полукомплектов, работающих со сложением мощностей. В этих передатчиках имеются корректоры и элементы автоматики, связанной с резервированием. К IV поколению относят передатчики АТРС и «Ильмень», состоящие из двух полукомплектов и отличающиеся модуляцией на ПЧ низком уровне мощности. Эти передатчики имеют высокие качественные показатели, полностью отвечающие действовавшему на период создания ГОСТу. Имеется достаточный комплект контрольно-измерительных приборов.

К V поколению относятся передатчики АТРС-50/5 и «Ильмень-2». Все они построены с модуляцией на ПЧ и с полной унификацией тракта ПЧ, имеют активное резервирование. К VI поколению следует отнести полностью транзисторизированные передатчики. Из них первыми являются передатчики мощностью 1 кВт для метрового диапазона. Приведенные данные передатчиков отражают их состояние на момент разработки. В последующей эксплуатации продолжается работа по транзисторизации, повышению качественных показателей и устойчивости оборудования [26, 34, 41, 55, 56].

**4.4.2. Первые ТВ радиопередатчики.** Первый отечественный ТВ передатчик для стандарта 625 строк начал работать в 1948 г. на Московском телецентре (рис. 4.4.1). Модуляция в канале изображения осуществлялась на высоком уровне мощности в оконечном каскаде. Из-за малого коэффициента усиления радиоламп требовался размах ТВ сигнала 700 В. Вследствие значительной входной емкости модулируемого каскада на выходе модулятора использовался катодный повторитель.

Таблица 4.4.1. Основные параметры отечественных ТВ передатчиков

Параметр	МТЦ	МТР-2/1, ТТР-5/2,5 ТТР-15/7,5	«Якорь»; «Ураган»; «Игла»; «Лен»; «Дон» <sup>1</sup>	АТРС-5 АТРС-50	«Ладога»	«Ильмень»; «Ильмень-2»	ГОСТ 20531-83
Номера ТВ каналов	1	1—5	1—5; 1—5; 6—12; 6—12;	1—5; 1—12	21—39	21—41, 21—60 20/4	—
Мощность канала изображения/звукового сопровождения, кВт	15/15	2/1; 5/2,5; 15/7,5	5/1,5; 50/15; 5/1,5; 50/15	5/1; 50/5	25/5	—	1,2; 4,5; 10; 20; 25; 40 ... 50 <sup>2</sup>
Спад АЧХ, дБ, на частотах:							
5 МГц	±2	—	2; 2; 1; 2,5	1,5	0,5	1; 1,5	1,5
6 МГц	—	—	6; 6; 6; 4	4; 4	4; 4	4; 4	4
Коэффициент нелинейных искажений сигнала яркости, %	15 <sup>3</sup>	15 <sup>3</sup>	15	15; 12	15	15	12 <sup>4</sup>
Дифференциальное усиление, %	—	—	7 <sup>5</sup>	10; 8	—	10	10
Дифференциальная фаза, град	—	—	—	6	—	±5	6
Сигнал яркости относительно сигнала цветности:							
различие усиления, ±дБ	—	—	—	1	—	1	1
расхождение во времени, ±нс	—	—	50 <sup>5</sup>	50	50	50	50
Уровень фона, дБ	—40	—	—40	—42; —46	—40	—46	—46
Суточная нестабильность несущей, ±Гц	500	500	200; 200; 500; 500	150 <sup>6</sup> ; 100	500	100 <sup>6</sup>	100 <sup>6</sup>
Неравномерность АЧХ звука в полосе 30 ... 15 000 Гц, дБ	1	2	1	1	1	1	1
Коэффициент гармоник, %	—	2,5	2,5	1 0,8	1,2	1	1
Уровень ЧМ шума, дБ	—54	—56	—60	—61	—56	—61	—60
Сопутствующая АМ, %	—	—	2	1	1	1	1
Потребляемая мощность, кВт	280	18; 85; 160	35; 195; 32; 180	20; 140	125	120; 110	—

<sup>1</sup> Выпускалась модификация 25/7,5 кВт.<sup>2</sup> Мощность канала изображения. Мощность канала звукового сопровождения равна 0,1 канала изображения.<sup>3</sup> Для статической модуляционной характеристики в пределах коэффициента модуляции 15 ... 75%.<sup>4</sup> Между уровнями модуляции 10 ... 70% при насадке с частотой 1,5 МГц, уровнем 10%. Параметры не нормированные, но измененные. <sup>5</sup>Месячная нестабильность.

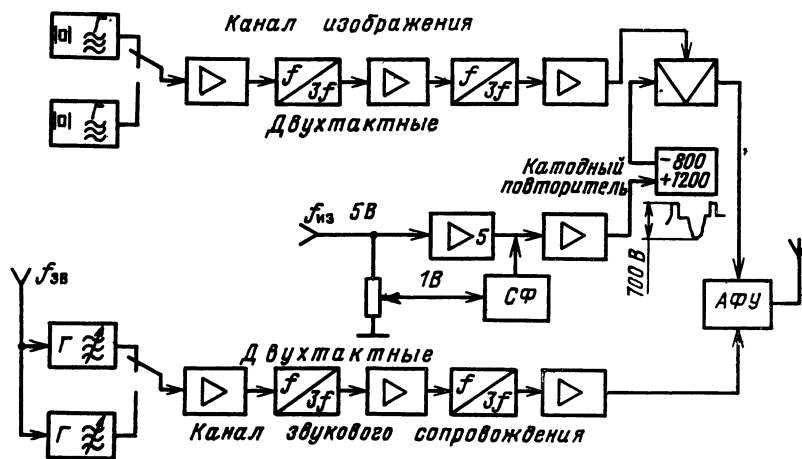


Рис. 4.4.1. Структурная схема первого отечественного ТВ передатчика для стандарта 625 строк мощностью 15/15 кВт (СФ — схема фиксации; АФУ — антенно-фидерное устройство)

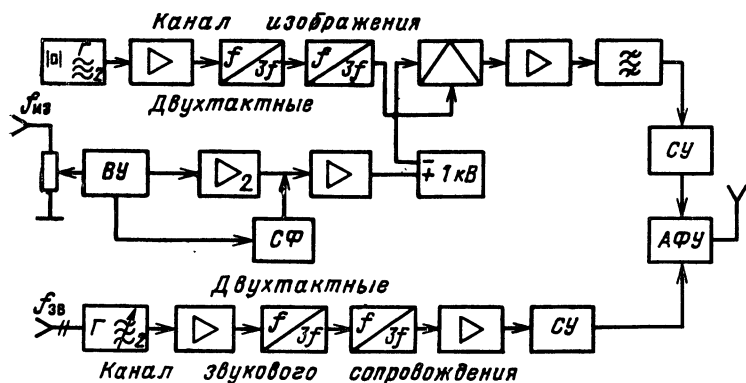


Рис. 4.4.2. Структурная схема типовой УКВ радиостанции ТТР 5/2,5 (ВУ — входное устройство, СУ — симметрирующее устройство, АФУ — антенно-фидерное устройство)

тель, нагрузкой которого являлась шестизвенная цепь постоянного сопротивления. Последним звеном этой цепи служил фильтр выпрямителя анодного питания ламп. По объему оборудования и потребляемой мощности модуляционное устройство было соизмеримо с оборудованием ВЧ тракта. Передатчик обеспечивал КПД равный 10%. В канале звукового сопровождения использовался возбудитель с частотной модуляцией и автоподстройкой средней частоты частотным детектором на нулевых бинах.

Требование быстрого развития ТВ вещания в стране привело к созданию первой серии типовых передатчиков мощностью 2, 5 и 15 кВт в канале изображения. Наиболее массовой была станция мощностью 5 кВт (рис. 4.4.2). Модуляция осуществлялась на среднем уровне мощности, что упростило модулятор конструктивно (три каскада) и снизило потребляемую им мощность до 7%. Оконечный каскад модулятора был собран с анодной нагрузкой в виде пятизвенной цепи постоянного сопротивления 240 Ом. Незаземленный выпрямитель, для исключения влияния его емкости относительно земли, включен между вторым и третьим звеньями нагрузки. В тракте модулятора имелся фазовый корректор. Тракт ВЧ состоял из трех каскадов с междукаскадной связью из двух индуктивно связанных контуров с полосой частот около 7 МГц. Окончательно формировалась АЧХ режекторными фильтрами (шлейф-резонаторами) на выходе канала изображения, создающие крутой срез характеристики с требуемым подавлением. Тракт ВЧ канала звукового сопровождения аналогичен тракту канала изображения, но содержит на один каскад меньше. Использовалась непосредственная частотная модуляция с автоподстройкой средней частоты на субгармониках и фазовым детектором. В последующем она была заменена на глубокую фазовую модуляцию, что исключило систему автоподстройки частоты.

Тракт ТВ передатчика ТТР 15/7,5 отличался от ТТР 5/2,5 наличием дополнительного двухтактного каскада УМК в канале изображения на четырех лампах (по две в плече) и однокаскадного усилителя на двух таких же лампах в канале звукового сопровождения. Оба типа ТВ передатчиков (как и первого московского) имели водяное охлаждение мощных ламп.

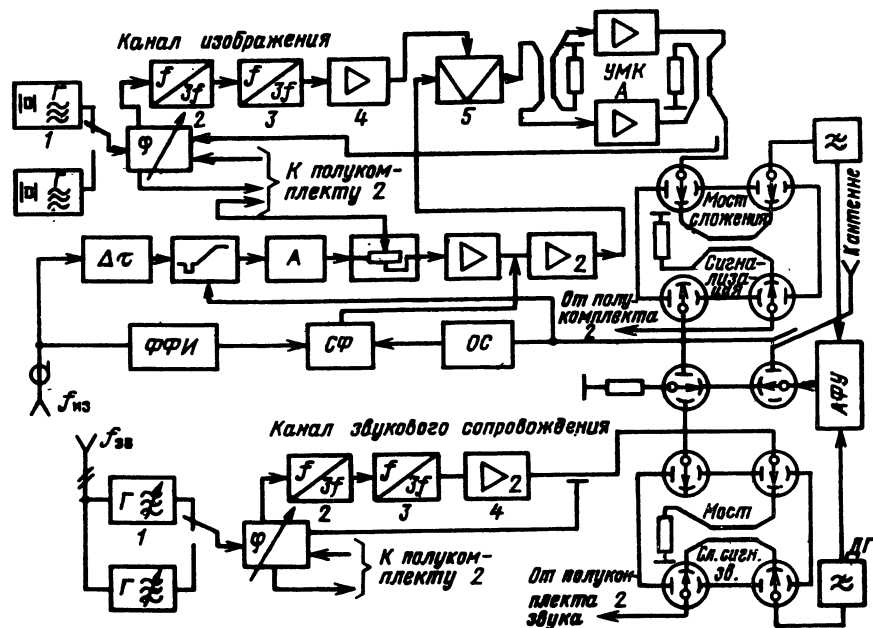
Малая типовая радиостанция МТР 2/1 была первой, полностью на воздушном охлаждении. В канале изображения применена модуляция на сравнительно малом уровне мощности с однокаскадным модуляционным устройством. Анодная цепь модулятора непосредственно связана с сеткой модулируемого каскада, а плюс выпрямителя питания анодов ламп модулятора заземлен. Падение напряжения на анодной нагрузке модулятора служит смещение ламп модулируемого каскада. Формирование АЧХ ВЧ тракта аналогично используемому в передатчиках ТТР 5/2,5. Цепи накала питались переменным током в отличие от предыдущих

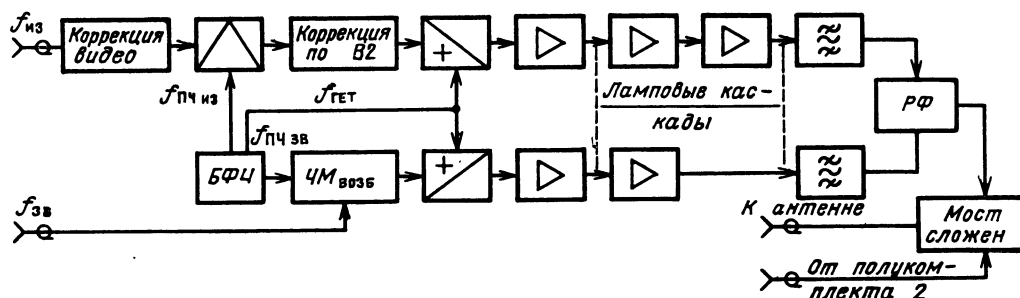
передатчиков, у которых использовались выпрямители. Все приведенные радиостанции комплектовались турникетными антеннами.

**4.4.3. Радиопередатчики «Якорь» и «Ураган».** Телевизионный радиопередатчик «Якорь» [10, 29, 30] мощностью 5/1,5 кВт являлся новым типом оборудования, принципиально отличавшимся от ранее выпускавшихся ТТР и МТР, построенных по схеме рис. 4.3.2, а. В нем использовались тетроды с большим коэффициентом усиления, ряд корректирующих и стабилизирующих устройств. Лампы выходного каскада полуконспекта канала изображения (рис. 4.4.3) включены по квадратурной схеме (см. рис. 4.3.21), что сохраняет в аварийном режиме экзопоглощение. Мощности полуконспектов передатчиков также складываются по квадратурной схеме. Разделительный фильтр выполнен в виде двойного квадратного моста с полной связью (см. рис. 4.3.23), а остальные мосты — *уравнительные* и *сложения* — из трехдцетильных элементов. Схема контурной системы анодной цепи каждой из ламп оконечного каскада канала изображения аналогична изображенной на рис. 4.3.22. Система коммутации позволяет работать в любом сочетании каналов изображения и звукового сопровождения. Для сохранения постоянства фазовых соотношений между сигналами на выходе полуконспектов каналов, что необходимо для сложения мощностей, используют фазировочное устройство (рис. 4.4.3), состоящее из фазового детектора, усилителя постоянного тока и мостового фазорегулятора. Во входном устройстве содержится фазовый корректор из девяти пассивных элементов  $\Delta t$ , ограничитель перемодуляции и предкорректор нелинейности А с отдельной регулировкой в области синхроимпульсов и уровня белого, а также линия  $\Delta t$  для выравнивания задержек ТВ сигнала при прохождении им трактов канала изображения. Для стабилизации уровня гашения и снижения НЧ помех, главным образом от сети переменного тока, в цепь восстановления постоянной составляющей подается напряжение обратной связи с детектора, включенного на выходе канала изображения. Имеется комплект контрольно-измерительного оборудования «Игла».

Телевизионный радиопередатчик «Ураган» [30] мощностью 50/15 кВт построен по той же структурной схеме, что и передатчик «Якорь». Для унификации использованы те же схемные решения и ряд конструктивно законченных единиц. Мощности каналов изображения и звукового сопровождения увеличены добавлением по одному каскаду в каждом из полуконспектов — в канале изображения седьмого с заменой шестого каскада на одноламповый, а в канале звукового сопровождения шестого. Предусмотрена возможность использовать полуконспекты в виде радиостанции мощностью 25/7,5 кВт, в связи с чем каждый из них имеет свой фильтр гармоник.

**4.4.4. Радиопередатчики «Игла», «Лен» и «Дон».** Телевизионный передатчик «Игла» [54] мощностью





«Игла» модуляция перенесена в шестой каскад, после чего остаются два каскада УМК. Выходной каскад на двух параллельных лампах.

После модернизации передатчик «Лен» стали называть «Дон». Основной единицей стал не полукомплект канала, а полукомплект передатчика. Изменены схемы построения систем питания, охлаждения, блокировки и сигнализации. При этом исключена возможность перекрестной работы различными полукомплектами каналов. С передатчиками «Игла» и «Якорь» начали использовать панельные антенны.

**4.4.5. Радиопередатчики АТРС.** В передатчике АТРС 5/1 используют модуляцию на ПЧ и низком уровне мощности. Он построен по принципу сложения мощностей полукомплектов (см. рис. 4.3.2, б) с использованием квадратурной схемы. В каждом из полукompлектов содержится по три каскада ламповых УМК (два в канале изображения и один — звука), остальные транзисторные (рис. 4.4.4). Задающий генератор вместе с корректорами, модулятором, преобразователем частоты и предварительным десятикаскадным транзисторным усилителем образуют предварительный тракт, названный возбудителем. В возбудителе используют три частоты: постоянные  $f_{ПЧ\text{ из}}$  и  $f_{ПЧ\text{ зв}}$  и переменная  $f_{\text{ген}}$ , определяемая выходной частотой передатчика. Все они стабилизируются от источника стандартной частоты 5 МГц. При этом генератор  $f_{\text{ген}}$  построен по синтезаторной схеме, что позволяет его унифицировать для всех радиоканалов. Частотно-модулированный радиосигнал по-

лучается непосредственной модуляцией сигнала  $f_{пч}^{\Phi}$  с системой ФАПЧ. Разделительный фильтр состоит из двух трехдецибелных мостов с режекторными фильтрами и соединяющих их линий. Передатчик АРС 50/5 [11] имеет много общих технических и принципиальных решений с передатчиком АРС 5. Конкретные схемные решения в ряде случаев изменены в соответствии с развитием техники (рис. 4.4.5).

**4.4.6. Радиопередатчики «Ладога» и «Ильмень».** Передатчик «Ладога» [12] мощностью 25/5 кВт — первый отечественный радиопередатчик дециметрового диапазона (21—41 каналы). Он построен по схеме рис. 4.3.2, б. Тракт ВЧ канала изображения состоит из возбuditеля и усилителя — умножителя на 6 (общих для обоих полуконфлюэтов) и индивидуальных четырехкаскадных тетродных усилителей мощности на рабочей частоте. Модуляция осуществляется на среднем уровне мощности в предоконечном каскаде. В оконечном каскаде использованы две лампы со сложением по квадратурной схеме. Для получения ЧМ сигнала звукового сопровождения используют непосредственную модуляцию с автоподстройкой средней частоты с помощью фазового детектора. Передатчик «Ильмень» [47] мощностью 20/4 кВт с модуляцией на ПЧ на низком уровне мощности имеет в оконечных каскадах обоих каналов четырехрезонаторные клистроны, а в предоконечных — лампы бегущей волны. Остальной тракт полностью на транзисторах. Схема резервирования изображена на рис. 4.3.3, а. В передатчике (рис. 4.4.6)

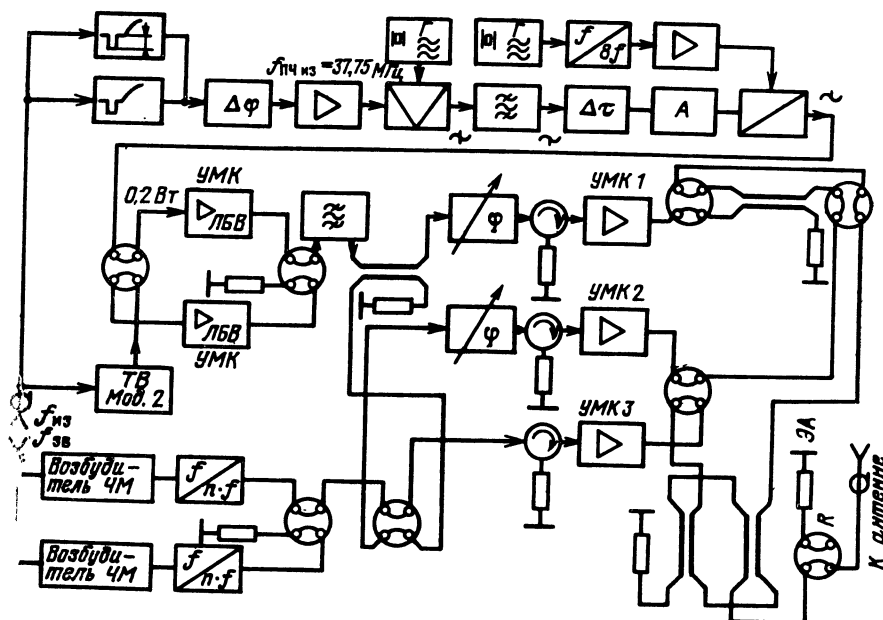


Рис. 4.4.6. Структурная схема передатчика «Ильмень»

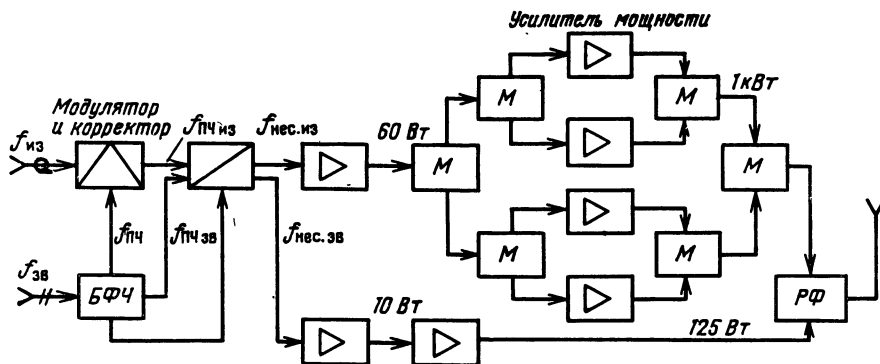


Рис. 4.4.7. Упрощенная структурная схема передатчика «Эльтон»

при нормальном режиме работы блоки УМК1 и УМК2 работают в канале изображения сложением мощности по квадратурной схеме, а блок УМК3 в канале звукового сопровождения. При выходе из строя УМК1 или УМК2 мощность в канале изображения снижается в 2 раза, а при выходе блока УМК3 его заменяют блоком УМК2. Формируется АЧХ на малом уровне мощности по ПЧ, а искажения частично корректируются на ПЧ, а частично по сигналу изображения. Схема возбуждителя, включая тракты коррекции, модулятора ПЧ и генератора ЧМ сигналов, максимально унифицирована со схемой тракта передатчика АТРС 5.

Передатчик «Ильмень-2» мощностью 20/4 кВт предназначен для работы в IV, V диапазонах и имеет две модификации: «Ильмень 2-1» на 21—41 каналы и «Ильмень 2-2» на 42—60 каналы. Радиопередатчик «Ильмень-2» отличается наличием единого блока формирования частот, перестраиваемого на любой радиоканал. В каждом канале содержится только по одному клистрону без ЛБВ, остальной тракт полностью транзисторизирован. Искажения корректируются как по сигналу изображения, так и по ПЧ.

Система коммутации обеспечивает работу двух клистронных усилителей в режиме сложения в канале изображения и одного в канале звукового сопровождения. В аварийном режиме при выходе одного из клистронов два других используют по одному в каналах изображения и звука в разных (трех) комбинациях.

**4.4.7. Транзисторные передатчики.** В современных ТВ передатчиках широко используют полупроводниковые приборы. Вакуумные приборы — тетроды в передатчиках метрового диапазона, тетроды и клистроны в передатчиках дециметрового диапазона применяют лишь в оконечных, реже в предоконечных каскадах. С развитием техники стало возможным оконечные мощные каскады также выполнять на транзисторах. По структурной схеме передатчик на транзисторах не отличается от передатчика с вакуумными приборами в оконечной ступени. Построение же оконечной, мощной, ступени принципиально другое. Кроме этого в транзисторных передатчиках используют только модуляцию на ПЧ. Современные транзисторы пока изготавливают на мощность до 100...200 Вт. Для получения больших мощностей, нужно параллельно включить большое число транзисторов, объединенных по входу и выходу мостовыми схемами. Причем соединяют их по несколько штук в модули, которые объединяют в группы из нескольких модулей и т. д.

Известен передатчик мощностью 30 кВт, в котором в выходной ступени параллельно соединено 576 транзисторов, объединенных по 12 шт. в 48 модулей.

Одна такая группа транзисторов с большой выходной мощностью эквивалентна мощной радиолампе. Поэтому в структурной схеме транзисторного радиопередатчика под оконечной ступенью подразумевается сборка из многих транзисторов (рис. 4.4.7). Мощный

(1 кВт) ТВ радиопередатчик «Эльтон» предназначен для работы на 1—5 каналах. Предварительный тракт — модулятор построен с модуляцией на ПЧ. Блок формирования частот БФЧ объединен с модулятором сигнала звукового сопровождения, а модулятор сигналов изображения с корректором. Усилительный модуль УМ содержит два транзистора КТ 971А, соединенных параллельно с помощью трех децибелных мостов. Всего в выходной ступени канала изображения через мосты М параллельно соединены четыре модуля (восемь транзисторов), а в канале звука один модуль. Бесперебойность обеспечивается использованием двух передатчиков, один из которых работает, а второй в резерве.

## 4.5. Ретрансляторы малой мощности

**4.5.1. Параметры и построение.** К ТВ ретрансляторам (ретрансляторы малой мощности) относятся передающие ТВ станции с мощностью по каналу изображения менее 1 кВт [35]. Входными сигналами ретранслятора могут быть радиосигналы вещательного ТВ (ВТВ) ПТВС и сигнал звукового сопровождения. В эфирных ретрансляторах спектр принятого радиосигнала ВТВ переносится из одного радиоканала в другой по ВЧ. Такие ретрансляторы называют *ретрансляторами без демодуляции, с переносом спектра или преобразователями*. Если принятый радиосигнал демодулируется и им модулируется сигнал ТВ передатчика, входящего в состав ретранслятора, то последний называют *ретранслятором с демодуляцией*. Передающая часть такого ретранслятора представляет собой ТВ радиостанцию.

Резервируется оборудование ретранслятора обычно удвоением комплекта, что объясняется относительно низкой его стоимостью. Поэтому мощности в ВЧ тракте складываются, когда с одного каскада невозможно получить ее требуемое значение, что имеет место только при использовании транзисторов.

Ретрансляторы, построенные на транзисторах, весьма устойчивы, что позволяет отказаться от резервирования. Используют ретрансляторы в режиме дистанционного управления без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Ретранслятор можно включать по телефонному каналу (физической паре или уплотненному), при появлении на его входе радиосигнала ретранслируемой станции (в эфирном варианте), при появлении — ПТВС (вариант с демодуляцией), а также с помощью передаваемых в звуковом радиоканале управляющих импульсов и т. п.

Ретрансляторы имеют те же параметры, что и мощные передатчики, а работающие от радиосигнала имеют ряд дополнительных параметров, обусловленных наличием в его тракте приемного устройства. К ним относятся чувствительность при заданном ОСШ, коэффициент шума приемного устройства, его избирательность по соседнему и зеркальному каналам. Отдельные па-

Таблица 4.5.1. Основные параметры ТВ ретрансляторов

Параметр	ТРСА-12/12	РЦТА	ТРСН	РПТН	РУТАН-1	РУТАН-10	РПТДА	РТДА	ФТР-1	ФТР-10	ПУР
Номера каналов: передачи	1—12	1—12	1—12	1—12	1—12	1—12	21—41	21—41	1—12	1—12	—
приема	1—12	—	1—12	1—12	1—12	1—12	1—41	—	—	—	1—12
Мощность $P_{из}/P_{эв}$ , Вт	100/20	100/20	2/0,4	1/0,2	1/0,2	10/1	100/20	100/20	1/0,1	10/1	—
Построение тракта	С демодуляцией			С переносом спектра			С модуляцией		С переносом спектра		
Шум-фактор приемника, $kT^0$	—	—	—	5	5	5	6/10*	—	—	—	5
Собственная нестабильность несущей, Гц	±500	±500	±500	±500	±350	±350	±700	±350	±350	±350	—
Нелинейность АЧХ, дБ	±2	+0,5; -1,5	±2	±1	±1	±1	±1	+0,5; -1,5	+0,7; -1,3	+0,7; -1,3	±1,5
Нелинейные искажения, %	—	—	5	10	10	10	10	10	10	10	1
ХГВЗ, ±нс	...	100	100	...	25	50	50	...	50	50	50
Уровень фона, дБ	40	40	40	40	42	42	40	42	42	42	40
Наличие радиоламп	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Наличие резерва	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да

\* 6 на 1—12, 10 на 21—41 каналах.

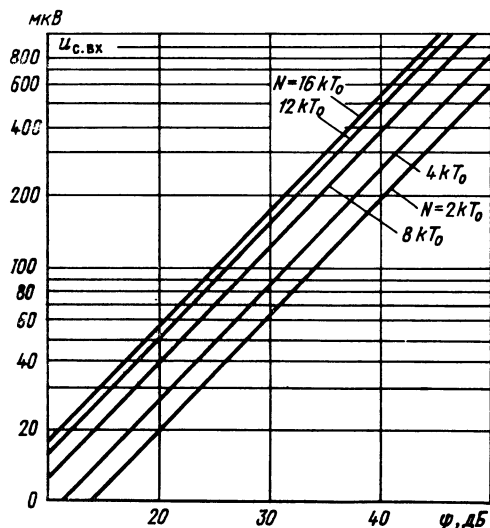


Рис. 4.5.1. Зависимости уровня входного сигнала приемника от ОСШ на выходе при различных значениях коэффициента шума приемника

параметры определяются не только оборудованием ретранслятора, но и параметрами принимаемого радиосигнала. Так, в ретрансляторе с преобразованием спектра стабильность несущей на выходе определяется суммой нестабильностей несущей принятого радиосигнала и частоты гетеродина приемного устройства. Основные данные ретрансляторов приведены в табл. 4.5.1, из которых ТРСА 12/12 находятся в стадии завершения замены новыми, РЦТА подвергаются на местах существенной модернизации [43]. Основные параметры приемного устройства — чувствительность, ограниченная собственными шумами, коэффициент шума, шум-фактор  $N$  (рис. 4.5.1). С помощью кривых рис. 4.2.18 можно найти соответствующие сигналу значения напряженности поля для разных диапазонов частот.

#### 4.5.2. Телевизионные ретрансляторы с демодуляцией.

Ретранслятор с демодуляцией состоит из каналов изо-

бражения и звукового сопровождения, соединенных с приемным устройством. На выходе амплитудного детектора Дет. 1—первого из наиболее часто используемых вариантов, отличающихся построением канала звукового сопровождения (рис. 4.5.2, а) имеются сигналы — ПТВС и разностной частоты несущих изображения и звукового сопровождения:  $f_{нес.зв} - f_{нес.из} = 6,5$  МГц. При этом сохраняется модуляция по частоте сигналом звукового сопровождения. Во втором варианте ретранслятора (рис. 4.5.2) эта поднесущая (ПЧ), равная 6,5 МГц, смешивается с несущей изображения выходного сигнала. В результате формируется несущая звукового сопровождения с частотой  $f_{нес.зв} = f_{нес.из} + 6,5$  МГц, модулированная по частоте. В этом случае стабильность разностной частоты на выходе ретранслятора будет определяться стабильностью несущих принимаемого радиосигнала ВТВ и не зависеть от стабильности частоты гетеродина ретранслятора. Благодаря отсутствию процесса демодуляции — модуляция звукового сигнала тракт практически не вносит дополнительных искажений в ретранслируемый сигнал звукового сопровождения.

Во втором варианте ретранслятора (рис. 4.5.2, а, в) ЧМ поднесущая 6,5 МГц демодулируется и НЧ звуковой сигнал поступает на вход частотно-модулированного возбудителя. Достоинством такого ретранслятора является возможность использования его передающей части в качестве ТВ передатчика, работающего от НЧ сигналов изображения и звукового сопровождения, получаемых, например, по радиорелейной линии или другому каналу.

В ретрансляторах с демодуляцией возникают такие же искажения, как и в передатчике большой мощности, что заставляет применять корректоры. Кроме этого при работе с приемным устройством имеются ограничения в сочетаниях приемных и передающих радиоканалов, что связано с близким размещением соответствующих антенн и невозможностью их взаимной изоляции по ВЧ. Практически несовместимыми бывают смежные, а также другие, для которых частоты гетеродина и его гармоники соответствуют частотам в полосе принимаемого (ретранслируемого) радиосигнала. Передатчик ретранслятора малой мощности может строиться с модуляцией составляющих как несущей, так и на ГЧ, с отдельным или совместным усилением радиосигналов изображения



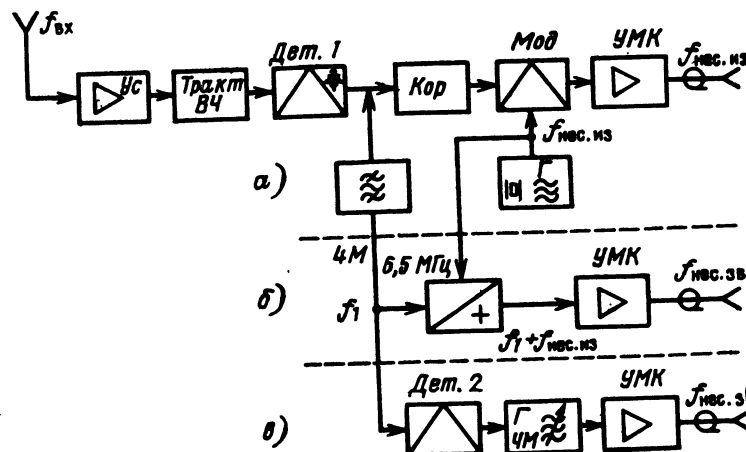


Рис. 4.5.2. Упрощенная структурная схема ретранслятора с демодуляцией:  
 а — ВЧ тракт и канал изображения; б — вариант канала звукового сопровождения с поднесущей 6,5 МГц; в — вариант канала звукового сопровождения с демодуляцией до НЧ сигнала

и звукового сопровождения. Современные ретрансляторы, как правило, строят полностью на транзисторах или с одной выходной лампой в канале изображения (или канале совместного усиления).

**4.5.3. Телевизионные ретрансляторы с переносом спектра.** В ретрансляторах с переносом спектра (ретрансляторах-преобразователях) отсутствует процесс демодуляции — модуляция обоих сигналов. Все преобразования осуществляются только с радиосигналами.

В варианте ретранслятора-преобразователя (рис. 4.5.3, а), используемом для работы в I—III диапазонах,

В варианте ретранслятора (рис. 4.5.3, б) используется двойное преобразование спектра. Вначале спектр принятого радиосигнала ВТВ переносится на ПЧ, на которой производится основное усиление радиосигнала и его коррекция. Затем сигнал ПЧ преобразуется в выходной радиосигнал, который поступает на усилитель мощности. Частоту гетеродина первого преобразователя выбирают выше частоты входного сигнала ( $f_{пч} = f_{гет1} - f_{вх}$ ), что создает инверсированный спектр по ПЧ. В этом случае частоту гетеродина второго преобразователя выбирают также выше частоты выходного

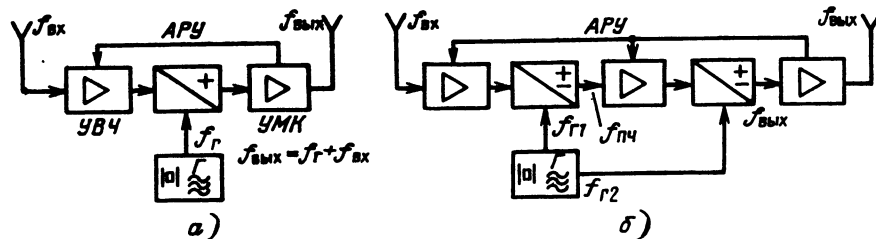


Рис. 4.5.3. Упрощенные структурные схемы ретранслятора с переносом спектра

радиосигнал ВТВ после усиления поступает на смеситель, в котором преобразуется в радиосигнал ВТВ другого канала. Если частота выходного радиосигнала выше принимаемого, то частота гетеродина может быть выше или ниже частоты принимаемого радиосигнала и должна использоваться только суммарная частота гетеродина и принимаемого сигнала  $f_{вых} = f_{вх} + f_{гет}$ . При разностной частоте  $f_{гет} - f_{вх}$  преобразованный радиосигнал ВТВ будет иметь инверсированный спектр — частота несущей изображения выше частоты несущей звукового сопровождения, что не соответствует ГОСТу. Если частота выходного радиосигнала ниже принимаемого, то частота гетеродина должна быть только ниже частоты принимаемого радиосигнала и должна использоваться разностная частота  $f_{вых} = f_{вх} - f_{гет}$ . При других соотношениях частот преобразованный сигнал будет иметь инверсированный спектр.

радиосигнала ( $f_{вых} = f_{гет2} - f_{пч}$ ), в результате чего происходит вторая инверсия спектра и сохраняется в выходном радиосигнале превышение несущей частоты звукового сопровождения над несущей частоты изображения.

Стабильность разностной частоты между несущими изображения и звука на выходе ретранслятора определяется только стабильностями частот принимаемого радиосигнала ВТВ и не зависит от стабильности частот гетеродинов ретранслятора. Ретрансляторы с преобразованием спектра имеют ограничения в сочетании приемного и передающего радиоканалов, которыми являются смещенные и смежные радиоканалы, а также некоторые радиоканалы, в полосу частот которых попадают гармоники частот гетеродинов. Конструкция модулятора и УПЧ ретранслятора на базе использования унифицированных блоков с модуляцией на ПЧ (рис. 4.5.4) не

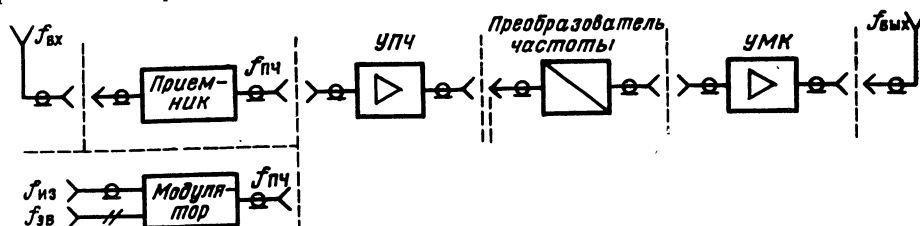


Рис. 4.5.4. Структурная схема унифицированных ретрансляторов

зависит от частоты канала. В ряде конструкций УМК пропускает сигналы нескольких каналов, что сокращает число типов усилителей. Частоты канала и АЧХ полностью определяются параметрами блока преобразователя частоты, а выходная мощность — типом соответствующего УМК.

## 4.6. Антенно-фидерные устройства

**4.6.1. Требования к передающим антеннам.** Передающие ТВ антенны должны обеспечивать безыскаженное и с малыми потерями излучение радиосигналов ВТВ и создание максимально одинаковой напряженности поля в зоне обслуживания. Основные ее параметры — частотная зависимость входного сопротивления, форма диаграммы направленности (ДН), коэффициент усиления или направленного действия, поляризация излучаемых радиоволн и КПД фидера.

Коэффициент усиления (КУ) антенны по мощности  $G$  — отношение мощностей, которые необходимо подвести к антенне и к изотропному (ненаправленному) излучателю для получения одинаковых напряженностей полей на равных расстояниях в направлении максимального излучения. Его можно определять и как отношение квадратов напряженностей полей. Коэффициент усиления антенны относительно полуволнового вибратора в 1,64 раза (на 2 дБ) меньше, чем относительно изотропного излучателя. Поэтому необходимо оговаривать, относительно какого излучателя определен коэффициент усиления антенны. Коэффициент направленного действия (КНД)  $D$  характеризует способность антенны концентрировать излучаемую энергию и не зависит от КПД антенны.

Графическое изображение характеристики направленного действия антенны ДН имеет пространственное трехмерное изображение. На практике пользуются двумя ДН, представляющими собой сечение пространственной ДН перпендикулярными (горизонтальной и вертикальной) плоскостями, проходящими через ось направления максимального излучения.

Круговая ненаправленная форма ДН характеризуется неравномерностью излучения  $\Delta$  в разных направлениях

$$\Delta = E_{\min}/E_{\max}; \quad \Delta = \sqrt{P_{\min}/P_{\max}};$$

$$\Delta = 20 \lg \left( \frac{1 - E_{\min}/E_{\max}}{E_{\max}} \right) = 20 \lg \left( \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max}^2} \right) =$$

$$= 10 \lg \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max}^2},$$

что должно оговариваться. Для перевода размерностей можно воспользоваться табл. 4.2.1. В горизонтальной плоскости ДН выбирают исходя из конфигурации территории в пределах прямой видимости, для обслуживания которой предназначена данная станция. Для равнинной или слабопересеченной местности необходима круговая, ненаправленная форма ДН, в гористой местности или при установке станции на побережье большого водоема направленная ДН обычно имеет форму восьмерки или кардиоиды с разными углами раскрытия, которые легко создаются, что обеспечивает лучшее использование излучаемой мощности и устраняет отражение от препятствий сигналов, которые вызывают искажение изображения.

Форму ДН в вертикальной плоскости выбирают исходя из предотвращения излучения энергии в свободное пространство и создания равномерного поля в пределах зоны обслуживания (прямой видимости). Для этого КУ антенны в заданном направлении должен изменяться пропорционально квадрату расстояния (поле имеет обратноквадратичную зависимость от рас-

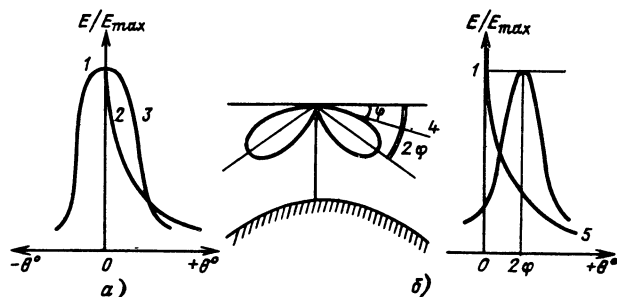


Рис. 4.6.1. Диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости:

а — косеканная 2 и реальной формы 3; б — наклонная к горизонту на угол  $2\varphi$ , 4 — линия касания горизонта (зоны прямой видимости);  $\varphi$  — угол прямой видимости

стояния. Этому соответствует косеканная форма ДН в вертикальной плоскости (рис. 4.6.1).

Реальная форма ДН существенно отличается от косеканной. Некоторое приближение формы ДН к требуемой по результату действия обеспечивается наклоном ее к горизонту. По условиям создания максимальной напряженности поля на границе прямой видимости угол наклона ДН должен быть равен углу видимости горизонта  $\varphi$ . Но при этом половина энергии будет излучаться в свободное пространство за линию горизонта. Поэтому угол наклона ДН берется  $\leq 2\varphi$ . Для высот подъема антенны на 200, 350 и 500 м угол  $\varphi = 0,44, 0,58$  и  $0,7^\circ$  соответственно. Наклон ДН осуществляется электрическим путем.

Увеличение КУ антенны сопровождается появлением в вертикальной плоскости значительного числа боковых лепестков (рис. 4.6.2), что в свою очередь вызывает появление мертвых зон на близких расстояниях от передающей станции. Устраняют их изменением ДН («замазыванием» нулей) в вертикальной плоскости как с помощью расположения элементов антенны, так и электрическим путем. Сужать ДН в вертикальной

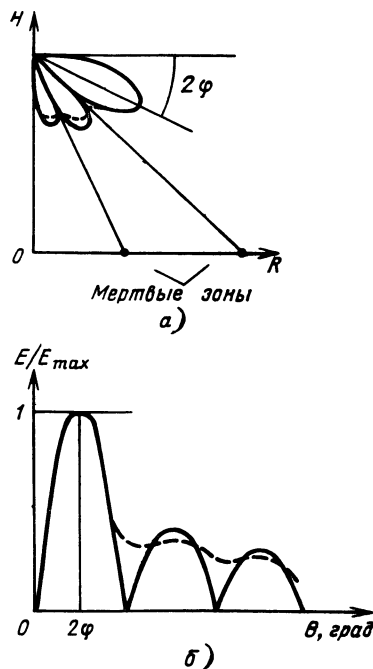


Рис. 4.6.2. Искажение ДН антенны боковыми лепестками (— реальная диаграмма, --- искажение для устранения «мертвых зон»)

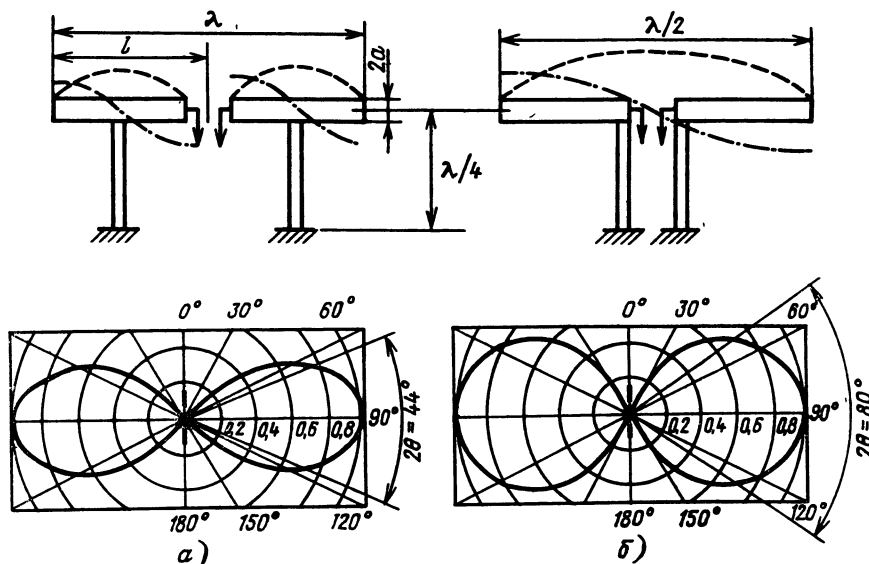


Рис. 4.6.3. Параметры вибраторов ( $2\theta^\circ$  угол на уровне половинной мощности, уровень поля  $0,7E_{\max}$ ):  
а — волнового, б — полуволнового (распределения напряжения — — —, тока — — —)

плоскости необходимо также из биологических условий. При малых высотах подъема антенны и широкой ДН в ближней зоне напряженность поля (поток мощности) может превысить допустимую санитарными правилами норму [8].

Современные антенны имеют достаточно постоянное входное сопротивление по полосе, обеспечивая в фидере  $K_{\text{ВВ}} \geq 0,9$ . Полоса пропускания достигает 30% средней частоты, что позволяет применять антенну одного геометрического размера для нескольких радиоканалов, в том числе для одновременного излучения сигналов нескольких программ.

**4.6.2. Элементы антенн.** Для передающих ТВ антенн используют преимущественно симметричные вибраторы длиной от волны до полуволны (рис. 4.6.3). Наличие нулевого потенциала в середине волнового вибратора позволяет крепить его в этих точках без изоляторов, что конструктивно удобно для антенн первых каналов мет-

рового диапазона, где длина одного излучателя достигает трех метров. Полуволновые вибраторы крепят, как правило, за внутренние концы с помощью металлического изолятора, представляющего собой четвертьволновую короткозамкнутую линию. В плоскости продольного сечения вибратора ДН представляет собой восьмерку, а в плоскости, перпендикулярной вибратору, — окружность. Для полуволнового вибратора относительно изотропного излучателя  $K_{\text{НД}} = 1,64$ , а волнового 2,5. Полуволновый вибратор эквивалентен последовательному, а волновой — параллельному колебательному контурам. Чем ниже волновое сопротивление вибратора  $\rho$ , тем меньше изменяется его входное сопротивление в полосе частот, т. е. делает антенну широкополосной. В связи с этим в ТВ антеннах используют вибраторы большого диаметра, имеющие малое волновое сопротивление. Обычно отношение длины вибратора к диаметру около десяти. При этом активная состав-

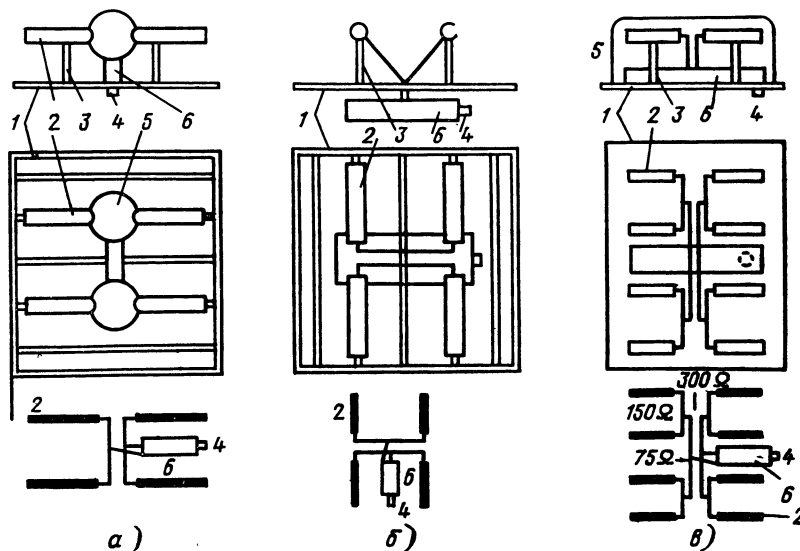


Рис. 4.6.4. Антенные панели:  
а, б — с волновыми вибраторами метрового; в — дециметрового диапазонов (1 — экран; 2 — вибратор; 3 — металлический стержень крепления вибраторов; 4 — коаксиальный вход вибраторов крепления панели; 5 — защитный пластмассовый чехол; 6 — симметрирующее устройство)

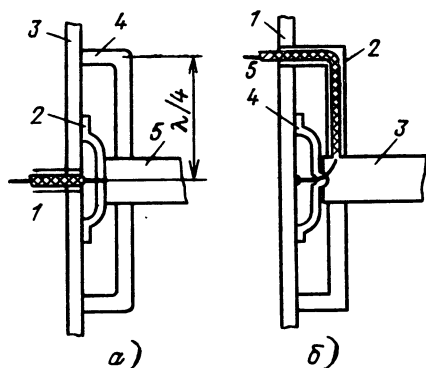


Рис. 4.6.5. Варианты радиальных вибраторов: а — обычный; б — с противофазным питанием (1 — цилиндрическая опора; 2 — изолирующий стакан; 3 — вибратор; 4 — четвертьволновый изолятор; 5 — кабель питания)

ляющая волнового сопротивления для полуволнового вибратора 73 Ом, а для волнового около 300 Ом.

Элемент антенны можно собрать из нескольких (до восьми) вибраторов, закрепленных на расстоянии  $\lambda/4$  от металлического экрана, образуя панель (рис. 4.6.4). В метровом диапазоне на одной панели крепят два или четыре вибратора (для первого радиоканала один), а в дециметровом четыре—восемь. Расстояние между полуволновыми вибраторами составляет  $0,5\lambda$ , а волновыми  $0,5 \dots 0,7\lambda$ . Для исключения влияния атмосферных осадков на параметры пространство между внутренними концами плеч вибратора, а также открытый симметричный фидер обычно закрывают пластмассовым чехлом. В антеннах дециметрового диапазона чехлом защищают всю панель.

Излучение панели направлено в сторону от экрана, что увеличивает КНД вибратора, ДН в горизонтальной плоскости расширяется примерно до  $110^\circ$  для полуволнового и до  $80^\circ$  для волнового вибраторов. Вибраторы одной панели настраивают в лабораторных условиях, что не требует дополнительной подстройки после монтажа на опоре, т. е. панель представляет собой электрически законченное излучающее устройство. Поворотом панели или вибраторов на панели на  $90^\circ$  можно создать горизонтально или вертикально поляризованные волны. Кроме прямых используют также согнутые в середине под углом вибраторы, позволяющие несколько изменить форму ДН. В направлении угла

больше  $180^\circ$  ДН расширяется по сравнению с прямыми вибраторами.

Для создания антенн на цилиндрических опорах без плоских экранов используют радиальные вибраторы, имеющие малое ветровое сопротивление и простую конструкцию (рис. 4.6.5). Такой вибратор имеет входное сопротивление около 75 Ом (при четвертьволновом укороченном излучателе) и несимметричный вход. Крепят их с помощью двух четвертьволновых короткозамкнутых изоляторов, защищенных изолированным колпаком.

Для соединения симметричных вибраторов с несимметричным коаксиальным кабелем и вибраторов в антенну применяют различные симметрирующие устройства, а также трансформаторы сопротивлений и распределители мощности из четвертьволновых и полуволновых короткозамкнутых и разомкнутых коаксиальных отрезков.

**4.6.3. Конструкции антенн.** Первой удачной конструкцией широкополосной передающей антенны метрового диапазона была турникетная антенна. Она построена на основе полуволновых горизонтальных вибраторов, имеющих ДН в горизонтальной плоскости в виде восьмерки (рис. 4.6.6, а). Для получения ненаправленного излучения используют два взаимно перпендикулярных диполя, питаемых со сдвигом фазы на  $90^\circ$  (рис. 4.6.6, б). Сжатие ДН по вертикали получают использованием нескольких вибраторов, расположенных один над другим на расстоянии около  $\lambda/2$  (рис. 4.6.6, в). Для расширения полосы пропускания используют широкие (плоскостные) вибраторы высотой около  $\lambda/4$ , имеющие полосу до  $15 \dots 20\%$  средней частоты. Одну из крайних точек такого вибратора можно заземлить (образуется четвертьволновый металлический изолятор), что упрощает конструкцию антенны. Поскольку токи по вибратору протекают в горизонтальном направлении, его изготавливают из горизонтальных прутьев, что снижает ветровую нагрузку (рис. 4.6.6, г).

Для синфазности концы плоскостного вибратора (точки 1', 2', 3'... n') должны быть разной длины. При этом огибающие концов имеют прямую линию, образуя косой срез (рис. 4.6.6, г). В современных турникетных антеннах используют Ж-образные сдвоенные плоскостные вибраторы, имеющие меньшие размеры относительно двух одинарных с промежутком между ними. Входное сопротивление их около 75 Ом, а усиление в вертикальной плоскости в  $1,7 \dots 1,8$  раза больше по сравнению с одинарным. Расстояние между сдвоенными вибраторами составляет около  $0,3 \dots 0,5\lambda$ . В турникет-

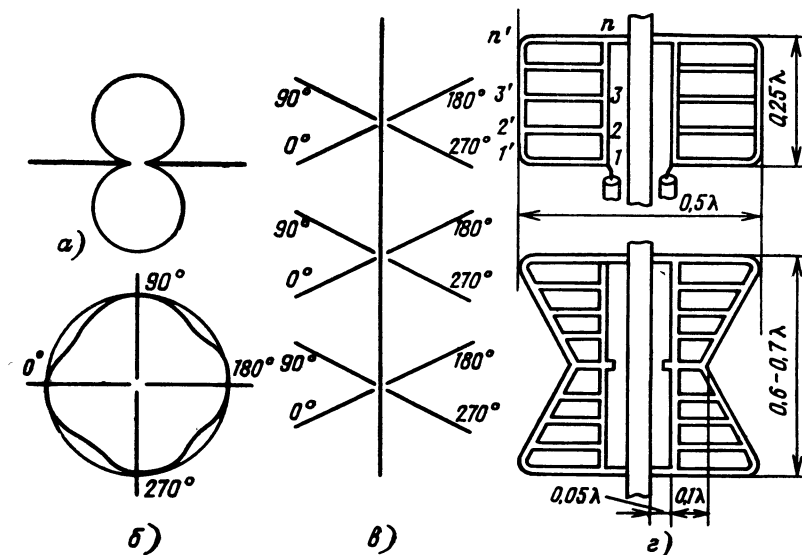


Рис. 4.6.6. К работе турникетной антенны: а, б — ДН горизонтального диполя и фазы питания двух скрещенных горизонтальных вибраторов; в, г — конструкция трехэтажной турникетной антенны и одинарного плоскостного вибратора (вверху), сдвоенного плоскостного вибратора (внизу).

ной антенне должно соблюдаться условие противофазного питания плечей одного вибратора и со сдвигом  $90^\circ$  плечей перпендикулярных вибраторов, а вертикально расположенных вибраторов синфазно (рис. 4.6.6, в). Фазы сдвигают изменением длин питающих фидеров. Питание со сдвигом  $90^\circ$  одновременно компенсирует отраженные от вибраторов сигналы, так как отраженный сигнал с учетом двойного прохождения расстояния  $\lambda/4$  возвращается в точку разветвления фидеров в противофазе относительно сигнала, отраженного от другого вибратора, питаемого без сдвига фазы (рис. 4.6.7, а). Это улучшает согласование вибратора с фидером.

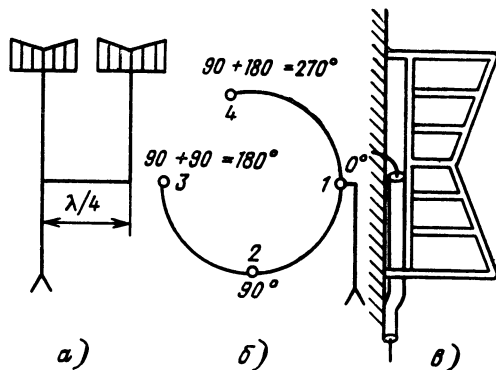


Рис. 4.6.7. Компенсация искажений: а — питание двух вибраторов; б — схема питания с многократной компенсацией отражений в пределах одного этажа; в — схема противофазного питания

Существуют схемы питания с многократной компенсацией отраженных сигналов. Такая схема изображена на рис. 4.6.7, б применительно к питанию одного этажа турникетной антенны. Длина каждого отрезка кабеля равна  $\lambda/4$ , а вибратор 4 получает дополнительный сдвиг фазы  $180^\circ$  без изменения длины фидера. Последнее обеспечивает конструкция, изображенная на рис. 4.6.7, в. Изменение фазы питания не сказывается на фазе отраженного сигнала, зависящей только от длины кабеля и характера сопротивления нагрузки.

Многократная компенсация применима к любой конструкции антенны при условии питания ее элементов сигналом со сдвигом фазы  $90^\circ$ . Для получения в турникетной антенне (табл. 4.6.1) круговой ДН с малой неравномерностью диаметр несущей конструкции (обычно трубы) должен быть не более  $0,1 \dots 0,15\lambda$ , что создает конструктивные трудности для многоэтажной антенны. Длина несущей трубы турникетной антенны обычно не превышает  $12 \dots 15$  м при диаметре до 350 мм, поэтому их применяют только в метровом диапазоне волн. С турникетными антеннами невозможно создать многопрограммную систему с несколькими антеннами, расположенными одна над другой. Невозможно создать ДН излучения в горизонтальной плоскости, кроме круга и восьмерки, а также вертикально поляризованные волны.

Наиболее распространены панельные антенны с волновыми или полуволновыми вибраторами. Круговую (ненаправленную) ДН в горизонтальной плоскости получают при равномерном размещении панелей по периметру сечения опоры. Питание панелей бывает как синфазное, так и переменноразовое (турникетное) со сдвигом  $90^\circ$ . При этом фаза может изменяться постепенно:  $0, 90, 180, 270^\circ$  или переменноразово —  $0, 90, 0, 90^\circ$ . Из ДН в горизонтальной плоскости панельной антенны при синфазном питании всех четырех диполов (рис. 4.6.8, а, б) видно, что напряженность поля в направлении  $\beta$  и ДН зависит от соотношения амплитуд и фаз излучений двух смежных панелей. Первое связано с формой ДН отдельной панели, а второе — с размером

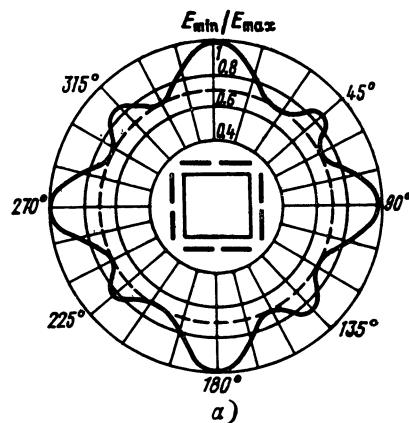


Рис. 4.6.8. Синфазное питание волновых вибраторов панельной антенны: а — ДН; б — фазовые соотношения; в — зависимость неравномерности ДН от сечения призмы

сечения призмы относительно длины волны. Фазы радиосигналов, излучаемых вибраторами (рис. 4.6.8, б), отсчитывая от центра призмы в перпендикулярном к вибраторам направлении ( $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ), равны  $D \cdot 2\pi/\lambda$ . Разность хода лучей от двух смежных диполов в направлении  $\beta$  определяется отрезком  $a = D \sqrt{2} \sin(45^\circ - \beta)$ , а угловая разность фаз  $\varphi_1 - \varphi_2 = a \cdot 2\pi/\lambda = a \cdot 360/\lambda$ .

В направлении, перпендикулярном вибратору, поле определяется излучением только данного вибратора (от смежного вибратора излучения в этом направлении практически отсутствует), что обуславливает наличие первых максимумов на ДН против вибраторов. В направлении  $\beta = 45^\circ$  оба сигнала синфазны ( $a = 0$  и  $\varphi = 0$ ), и при сложении они образуют второй максимум. В других направлениях поля интерферируют, что приводит к ослаблению результирующего поля и образованию минимумов. Диаграмма направленности симметрична относительно осей, перпендикулярных к центрам вибраторов и проходящих под углом  $45^\circ$  к ним. Неравномерность ДН определяется отношением  $2D/\lambda$  (рис. 4.6.8, в) для волновых вибраторов. Для полуволновых она несколько больше.

При синфазном питании не компенсируются отражения, а при переменноразовом увеличивается расфазировка между сигналами двух смежных вибраторов. В результате радиосигналы в секторах  $0 \dots 45^\circ$  и  $45 \dots 90^\circ$  складываются с разными фазовыми сдвигами, что нарушает симметричность ДН относительно осей,

Таблица 4.6.1. Параметры выпускавшихся турникетных антенн

Турникет	Радиоканал	$P$ , кВт	КУ относительно изотропного излучателя, дБ	Число этажей	Неравномерность ДН в горизонтальной плоскости, дБ	Ширина ДН в вертикальной плоскости, $2\theta$	Высота, м	Диаметр несущей трубы, мм
Одиночный	1	15	3,2	3	3	...	16	360
Сдвоенный	1,2	15	3,6	2	3	70	12	325
Ж-образный	1,2	5	5	2	3	70	14,4	325
»	3	5	5,6	3	3	50	12	270
»	4,5	5	7,2	4	3	40	12	240
»	3—5	15	5,6	3	3	50	12	240
»	3—5	5	7,2	4	3	40	17,1	270
»	6—12	5	11,2	6	3	20	13,3	240

перпендикулярных и находящихся под углом  $45^\circ$  к центрам диполей, и увеличивает ее неравномерность (рис. 4.6.9). Расфазировку радиосигналов соседних вибраторов при переменном фазовом питании можно скомпенсировать сдвигом положения панелей на гранях

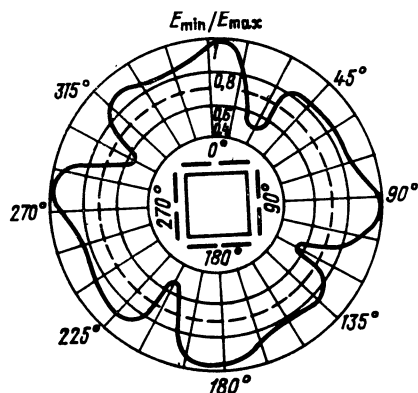


Рис. 4.6.9. Диаграмма направленности с переменнo-фазным питанием волновых вибраторов панельной антенны

призмы (рис. 4.6.10, а). Угол сдвига  $\gamma$ , называемый *тангенциальным*, приводит к тому, что в направлении биссектрисы угла АОВ складываемые сигналы становятся равнофазными. При перемещении вибраторов по призме относительно ее центра на расстоянии  $\Delta = 0,176\lambda$  обеспечивается компенсация и допустимая неравномерность 3 дБ на призме шириной до  $2\lambda$ . Панели относительно призмы размещают и перпендикулярно (рис. 4.6.10, б). Лучшую ДН можно получить при синфазном сложении радиосигналов в направлении  $\beta = 45^\circ$ , что достигается при значении разности хода лучей, кратном целому числу волн ( $D\sqrt{2} = n\lambda$ ). Увеличение числа панелей на грани призмы не приводит к снижению неравномерности из-за дополнительных фазовых сдвигов в складываемых сигналах, хотя при размерах призмы, превышающих длину волны, это применяют.

Поскольку панели представляют собой самостоятельную электрическую единицу, изменяя их число в этаже, тангенциальный сдвиг, направление максимального излучения путем наклона панели, а также выбирая их фазы питания в этаже, можно получить разнообразные характеристики направленности в горизонтальной плоскости (рис. 4.6.11). При вертикальном расположении вибраторов обеспечивается излучение вертикально поляризованных радиоволн. В вертикальной плоскости ДН определяют числом диполей в вертикальном ряду. Наклон главного лепестка ДН к земле

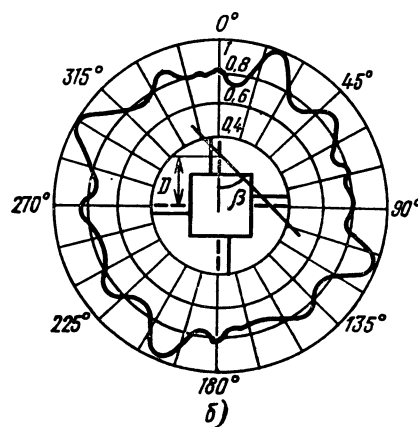
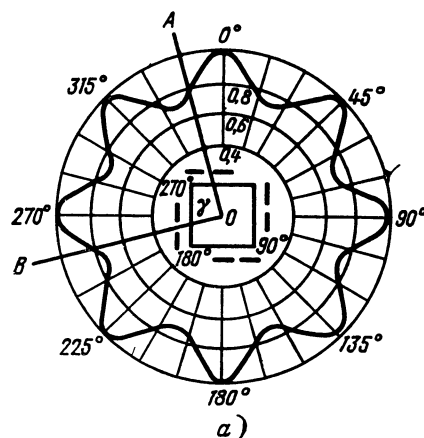


Рис. 4.6.10. Диаграммы направленности волновых вибраторов с тангенциальным сдвигом диполей: а — при переменнo-фазовом питании; б — с перпендикулярным расположением диполей

(п. 4.6.1) изменяют фазой питания диполей по вертикали (рис. 4.6.12). По мере увеличения высоты расположения панелей питающий ток должен опережать по фазе (отставание приведет к отклонению излучения вверх). Для устранения минимумов (замазывания нулей) и приближения формы ДН в вертикальной плоскости к косекансной (см. рис. 4.6.1) применяют дополнительную дефазировку нескольких этажей антенны, а также неравномерно распределяют мощность меж-

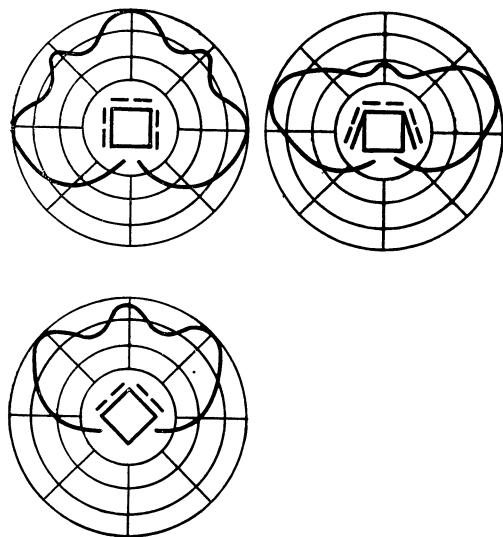


Рис. 4.6.11. Диаграммы излучения направленных панельных антенн

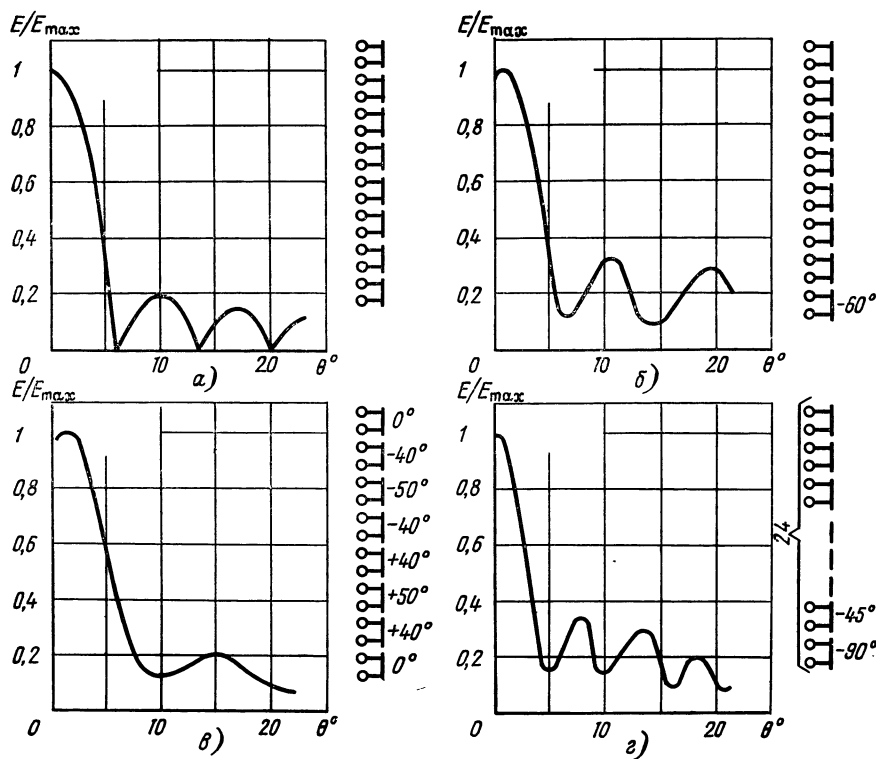


Рис. 4.6.12. Диаграммы направленности в вертикальной плоскости:  
а — питание вибраторов без сдвига фазы; б—г — питание вибраторов со сдвигом фаз

ду этажами вибраторов (рис. 4.6.12). В панельных антеннах широко используют схемы с многократной компенсацией отражений — внутриэтажная, между соседними этажами, парами соседних этажей и т. п. (табл. 4.6.2, 4.6.3). Очень удобна при трубчатом основании большого диаметра антенна с радиальными вибраторами. Расстояние между этажами  $0,5 \dots 0,6\lambda$ . Для наклона главного лепестка ДН вниз и для заполнения нулей применяют расфазировку вибраторов по вертикали. На рис. 4.6.13 приведены ДН в горизонтальной плоскости некоторых антенн с радиальными вибраторами, а в табл. 4.6.3 — их основные параметры.

**4.6.4. Антенны для многопрограммного вещания.** При многопрограммном вещании антенны размещают одна над другой по мере увеличения частоты радиоканала, что удобно как из конструктивных, так и из электрических соображений. Это позволяет делать призму переменного сечения уменьшающейся по высоте с ростом частоты и размещать более тяжелые и громоздкие антенны ниже. При использовании в качестве опоры мачты с оттяжками, закрепленными по длине призмы, сечение призмы обычно одинаковое, что должно учитываться при конструировании антенн. С увеличением частоты повышается напряженность поля, необходимая для уверенного приема (п. 4.2.2), а с увеличением высоты подъема передающей антенны растет напряженность поля в точке приема. Поэтому при размещении антенн по высоте по мере увеличения частоты облегчается решение проблемы соизмеримости радиусов действия многопрограммной ПТС на разных каналах. В то же время целесообразно увеличивать высоту подъема передающей антенны для расширения радиуса действия станции. Однако высота антенной системы для трехпрограммного ТВ и УКВ радиовещания около 100...150 м, что составляет 30...50% общей высоты опоры и затрудняет оптимальный подъем каждой из антенн.

Многokратное использование одной антенны для одновременной работы нескольких передатчиков уменьшает общую высоту системы при том же КУ на каждом канале. Недостатком многократного использования антенны является понижение устойчивости работы станции, так как выход из строя АФУ приводит к прекращению вещания сразу по нескольким программам. Для устранения этого в некоторых конструкциях антенну разбивают на две части, питают их по собственным фидерам. В этом случае выход одной половины приводит не к перерывам в вещании, а только к снижению радиуса действия станции. С учетом широ-

Таблица 4.6.2. Основные параметры панельных антенн

Радио-канал	$P_{\text{изл}}$ , кВт	Тип вибратора	КУ относи-тельно изотроп-ного излу-чателя, дБ	Число этажей	Диаграмма направленности			Высота, м	Сечение приз-мы, м
					неравно-мерность по гори-зонтالي, дБ	ширина по верти-кали 20°	угол наклона, град		
1,2	5	Полуволновый	10	10	3	14	1	26	2,5×2,5
1,2	50	»	12	16	3	10	1	42	2,5×2,5
3—5	5	»	8	6	3	15	1	12	1,75×1,75
3—5	5	Волновой	12	18	3	8	1	30	2,5×2,5
3—5	50	Полуволновый	14	24	3	6	1	40	2,5×2,5
6—12	5	Волновой	10	16	1,5	10	1	12	1,75×1,75
6—12	5	»	14	24	3	6	1	18	2,5×2,5
6—12	50	»	14	24	3	6	1	18	2,5×2,5
ЧМ	8	Полуволновый	10	8	2...3	10	1	25	2,5×2,5
21—41	25	Волновой	17	50	3	1,6	1	15	∅ 0,7

Таблица 4.6.3. Основные параметры антенн с радиальными вибраторами

Радио-канал	КУ, дБ	Число этажей	Число вибраторов в этаже	Диаметр, м	Высота, м	Неравно-мерность по гори-зонтالي дБ
1,2	10	13	8	4	30	2
3...5	10	13	8	2,6	20	2
6...12	12	17	8	1,72	12	2
ЧМ	10	12	8	3	26	2

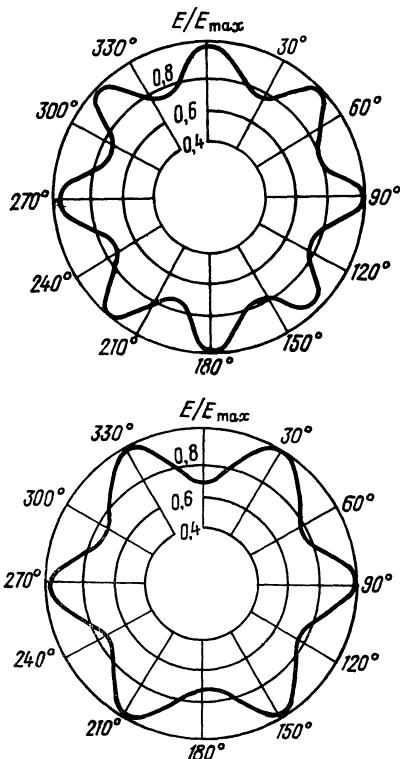


Рис. 4.6.13. Диаграммы направленности антенн с радиальными вибраторами

кополосности передающих ТВ антенн возможна работа на антенну одного размера двух передатчиков. Например, передатчика канала 3 или 5 с передатчиком ОВЧ ЧМ или передатчиков каналов 6—12 (любое сочетание) и для значительного числа каналов дециметрового диапазона волн. Для совместной работы двух передатчиков на одну антенну можно использовать обычные разделительные фильтры, применяющиеся для сложения радиосигналов изображения и звукового сопровождения (п. 4.3.5). Наиболее совершенными из них являются устройства, состоящие из трехдецибельных мостов, работающих в режиме деления и сложения мощностей [27]. В устройстве (рис. 4.6.14) трехде-

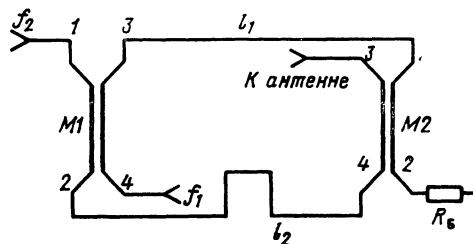


Рис. 4.6.14. Двухмостовая схема сложения радиосигналов двух передатчиков

цибельный мост M1 работает в режиме деления двух радиосигналов  $f_1$  и  $f_2$ , а мост M2 в режиме их суммирования. Если  $l_1 = l_2$ , то фазовые соотношения деленных сигналов  $f_1$  и  $f_2$  на выходе моста M1 и входе M2 будут равны. Суммарный сигнал  $f_1$  будет образован в плече 3 моста M2, а сигнал  $f_2$  в плече 2. Чтобы сумма обоих деленных радиосигналов выделялась в одном плече моста M2 (плече 3), необходимо изменить фазовые соотношения в деленных сигналах частоты  $f_2$  и сохранить в деленных сигналах частоты  $f_1$ . В табл. 4.6.4 приведены амплитудные и фазовые значения сигналов в плечах (рис. 4.6.14) в указанном режиме сложения. Такой режим работы достигается изменением длин  $l_1$  и  $l_2$ , так ( $l_2 > l_1$ ), чтобы для сигнала  $f_1$  их разность была кратна длине его волны, что не изменит их фазы ( $l_2 - l_1 = \lambda_1 n$ , где  $n = 1, 2, 3 \dots$ ). Для сигнала частоты  $f_2$  эта разность длин должна обеспечить получение одним деленным сигналом (в плече 2 моста M2) дополнительного фазового сдвига  $-180^\circ$  относительно другого деленного сигнала. Общий фазовый сдвиг будет  $-90 + (-180) = -270^\circ$ , а в плече 3 приобретает еще сдвиг на  $-90^\circ$ , он будет в фазе с деленным сигналом, поступившим в плечо 1. Для получения фазового сдвига на  $180^\circ$  длины соединительных линий должны отли-



Таблица 4.6.4. Амплитудно-фазовые отношения сигналов в двухмостовой схеме сложения

Сигнал		Плечи моста M1				Плечи моста M2			
		1	2	3	4	1	2	3	4
$f_1$	$P_1$	0	$0,5P_1$	$0,5P_1$	$P_1$	$0,5P_1$	0	$0,5P_1+0,5P_1=P_1$	$0,5P_1$
	$\varphi_1$	—	$\varphi_1$	$\varphi_1 - 90^\circ$	$\varphi_1$	$\varphi_1 - 90^\circ$	—	$\varphi_1 - 90^\circ$	$\varphi_1$
$f_2$	$P_2$	$P_2$	$0,5P_2$	$0,5P_2$	0	$0,5P_2$	0	$0,5P_2+0,5P_2=P_2$	$0,5P_2$
	$\varphi_2$	$\varphi_2$	$\varphi_2 - 90^\circ$	$\varphi_2$	—	$\varphi_2$	—	$\varphi_2$	$\varphi_2 - 270^\circ$

чаться на нечетное число полуволн сигнала, т. е.  $l_2 - l_1 = \lambda_1 n = \frac{\lambda_2}{2} (2n+1)$ , где  $n=1, 2, 3 \dots$ . Отсюда  $\lambda_1/\lambda_2 = \frac{2n+1}{2n} = \frac{3}{2}, \frac{5}{4}, \frac{7}{6} \dots$  при  $n=1, 2, 3 \dots$ . Зная средние частоты (длины волн) смешиваемых сигналов, находим по их отношению соответствующий ему коэффициент  $n$  и разность длин соединительных линий  $l_2 - l_1$ . Максимально возможное значение  $\lambda_1/\lambda_2 = 1,5$  показывает, что указанное устройство позволяет работать в диапазоне частот до 50% средней частоты высшего канала.

Используются также устройства с тремя мостами (рис. 4.6.15). В нем мосты M1 и M3 с коэффициентом

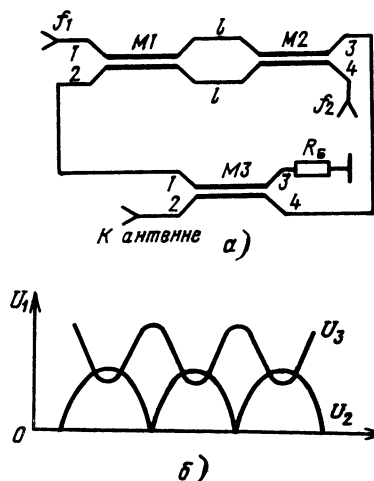


Рис. 4.6.15. Трехмостовая схема сложения радиосигналов двух радиопередатчиков

связи по 6 дБ соединены линиями равной определенной длины. Мост M2 трехдецибелный, соединенный линиями равной и произвольной длины. У шести децибелных мостов взаиморазвязанные по диагонали плечи (1—4 и 2—3). Поданное в одно из плеч напряжение делится между плечами другой диагонали с постоянным фазовым сдвигом  $\pm 90^\circ$ , не зависящим от частоты. Отношение же напряжений изменяется с частотой по синусоидальному закону (зависит от длины соединительных линий).

Если соотношение длин волн входных радиосигналов  $\lambda_1/\lambda_2 = (2n \pm 1)/2n$ , где  $n=1, 2, 3 \dots$ , то напряжения в плечах диагонали примерно равны. Поданные на трехдецибелный мост эти напряжения будут суммироваться в выходном плече моста M3. По отношению  $\lambda_1/\lambda_2$

можно найти соответствующее значение коэффициента и затем длину соединительных линий  $l = n\lambda_{ср}/2$ , где  $\lambda_{ср} = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$ .

Приведенные безрезонаторные схемы обеспечивают взаимную развязку между сигналами до 35 дБ. Трехмостовая схема имеет меньшие потери и меньшую неравномерность в рабочей полосе, но более сложна относительно двухмостовой.

**4.6.5. Фидер.** Для соединения выхода ТВ передатчика с антенной используют только коаксиальный кабель — фидер. Основные параметры фидера: затухание или коэффициент полезного действия (КПД), электрическая прочность и степень согласования с нагрузкой (антенной). Затухание определяется потерями в металле (обычно меди), в диэлектрике изоляторов и контактных соединениях. Обычно в справочниках приводят удельное затухание, обозначаемое буквой  $\beta$ , в децибелах на единицу длины на определенной частоте, которая оговаривается. С ростом частоты затухание в кабеле растет примерно в  $\sqrt{f_2/f_1}$  раз, где  $f_1$  и  $f_2$  — частоты, на которых затухание задано и его нужно определить. Тогда  $\beta_{f_2} = \beta_{f_1} \sqrt{f_2/f_1}$ . Коэффициент полезного действия  $\eta = \exp(-0,23\beta l)$  и считается допустимым 0,7 (70%).

Применяющиеся фидеры имеют при длине 100 м на частоте 100 МГц, затухание, дБ:

70/20*	110/32*	160/45*	200/55*	HF75-78**	HF75-120**
0,55	0,4	0,28	0,2	0,34	0,22

\* Жесткий из труб. Внутренний диаметр наружной трубы /наружный диаметр трубы, мм.

\*\* Волновое сопротивление — внутренний диаметр наружной трубы.

Электрическая прочность фидера определяется допустимым напряжением, которое он выдерживает, а также тепловой прочностью изоляторов. При одновременной передаче радиосигналов изображения и звукового сопровождения максимальная амплитуда напряжения в фидере

$$U_{\max} = \sqrt{2P_{\text{экр}} \rho / k} = 17 \sqrt{P_{\text{экр}}}$$

где  $P_{\text{экр}} = (\sqrt{P_{\text{из}}} + \sqrt{P_{\text{зв}}})^2 \rho$ , Вт;  $\rho$  — волновое сопротивление кабеля (ГОСТ 20532—83),  $k=0,5$  — коэффициент стоячей волны, соответствует аварийному случаю.

Мощность, расходуемая на нагрев (греющая мощность),  $P_{\text{гр}} = 0,5P_{\text{из}} + P_{\text{зв}}$ . С ростом потерь в фидере при увеличении частоты радиосигнала уменьшается максимально допустимая подводимая мощность. Приводимая мощность  $P_{\text{доп}}$  всегда относится к определенной частоте

те  $P_{\text{доп } f_2} = P_{\text{доп } f_1} \sqrt{f_1/f_2}$ . Степень согласования фидера с антенной определяется коэффициентом стоячей или бегущей волны. Даже при чисто активном характере нагрузки получить в фидере КСВ равный 1 практически невозможно из-за неоднородностей по его длине, которые вызываются наличием изоляторов, крепящих внутреннюю жилу, фланцевых соединений, вмятин наружной трубы, неточности изготовления труб и их взаимного расположения, вследствие чего приходится в канале изображения применять выходные устройства, собранные по экзопоглощающей схеме (п. 4.3.5).

## 4.7. Использование искусственных спутников Земли для ТВ вещания

4.7.1. Место спутниковых систем передачи в сети ТВ вещания. Спутниковые системы передачи (ССС) для ТВ вещания можно рассматривать как симплексную РЛЛ с одним промежуточным пунктом. В ее состав входят ПТС, называемая *земной* (в отличие от «наземной» в обычной линии связи), приемопередатчик на ИСЗ, называемый *ретранслятор* или *транспондер*, и приемная земная станция. Но в отличие от обычной РЛЛ антенна передатчика ретранслятора имеет широкую ДН и прием может осуществляться сразу на большой территории при любом числе пунктов. Необходимо только обеспечить радиовидимость ИСЗ одновременно передающей и приемными земными станциями. Технические средства земной ПТС и ретранслятор на ИСЗ можно рассматривать не как часть РЛЛ, а как ПТС, работающую на большое число приемных или приемно-передающих станций. Конкретная область использования ИСЗ в сети ТВ вещания определяется решаемыми задачами, диапазоном частот на участке Космос—Земля, параметрами излучаемых сигналов с ИСЗ, сложностью приемной земной станции и др. При этом разные области использования ИСЗ имеют и различную правовую основу.

В соответствии с Регламентом радиосвязи [45] для ТВ вещания предусмотрены два вида спутниковой связи — фиксированная (ФСС) и радиовещательная (РВС). Согласно принятой международной терминологии для служб ТВ и звукового вещания используют единый термин «Радиовещание». С развитием техники методы использования этих служб становятся все более разнообразными, а технические решения унифицируются. Но сохраняется различная правовая защита отдельных служб и разные полосы частот.

*Фиксированная спутниковая служба* — служба радиосвязи между земными станциями, расположенными в определенных фиксированных пунктах. Примером такой службы является сеть станций «Орбита», представляющая собой первую СССР, которую начали использовать для передачи радиосигналов ВТВ. Принятые приемной земной станцией сигналы поступают на местную ТПС и в сеть наземных РРЛ для распределения сигналов между станциями данного района. При таком использовании мощность ретранслятора на ИСЗ может быть минимальной, а приемная станция довольно сложной. Это оправдано, учитывая ограниченное число приемных станций, усложнение которых компенсируется упрощением передатчика ретранслятора на ИСЗ. Такие системы применяют как для передачи национальных программ ТВ в странах с большими территориями, так и для международного обмена программами.

При использовании ФСС только для циркулярной передачи ТВ сигналов и большом числе приемных станций экономически оправдано усложнить ретранслятор ИСЗ путем повышения его мощности и ограничения зоны обслуживания использованием направленных антенн для упрощения и удешевления приемных земных станций. Такие системы стали называть ТВПТ—ТВ прием только (TVRO—TV resiver only). Первая успешно

действующая подобная система ФСС была создана в СССР на базе использования ретранслятора ИСЗ «Горизонт» и называется «Москва» (п. 4.7.4).

Приемные устройства таких ФСС экономически выгодно использовать с ретрансляторами малой мощности, домовыми кабельными распределительными сетями и даже отдельными телевизорами коллективного просмотра. В связи с таким направлением использования ФСС детализировано их определение (МККР, Рек. 566).

*Косвенное распределение* — использование ФСС для ретрансляции вещательных программ из одного или более пунктов разными земными станциями для дальнейшего распределения среди наземных радиовещательных станций.

*Непосредственное распределение* — использование ФСС для ретрансляции вещательных программ из одного или более пунктов непосредственно наземным радиовещательным станциям без промежуточных этапов распределения.

*Радиовещательная спутниковая служба* — радиосвязь, в которой сигналы, передаваемые или ретранслируемые космическими станциями, предназначены для непосредственного приема населением. Термин «непосредственный» понимается не в смысле непосредственного приема на обычные телевизоры, а как прием на упрощенные устройства, с выхода которых радиосигнал ВТВ различными способами поступает на телевизоры. Невозможность прямого приема объясняется тем, что при передаче сигналов со спутников применяются частотная модуляция, малый уровень сигнала и диапазоны частот, отличающиеся от используемых наземной ТПС. Использовать для непосредственного ТВ вещания (НТВ) сигналы частот, выделенные для наземной сети вещания, практически невозможно, ибо будут создаваться помехи на больших расстояниях от зоны обслуживания, что парализует работу действующей земной сети на больших территориях. Для обеспечения НТВ в метровом и дециметровом диапазонах необходимы такие мощности и размеры антенн ИСЗ, которые пока невозможно реализовать.

*Индивидуальный прием* (в РВС) — прием излучения космической станции РСС с помощью простых бытовых установок, в частности установок с небольшими антеннами.

*Коллективный прием* (в РВС) — прием излучений космической станции РВС с помощью приемных установок, которые могут быть сложными и могут иметь антенны больших размеров, чем используемые для индивидуального приема и предназначенные для использования группой населения в одном месте, или с помощью РТС, обслуживающей ограниченную зону.

Разграничение способов использования НТВ на коллективный и индивидуальный прием по признаку качественных показателей не вполне правомерно, так как каждое из этих технических решений можно применять для любого вида РВС. Поэтому правильнее квалифицировать приемные устройства в зависимости от обеспечения ими качественных показателей, не оговаривая область применения. Поскольку ФСС предназначена для передачи информации между определенными пунктами, к ней относятся правовые положения Регламента радиосвязи. Этими положениями запрещается перехват без разрешения радиосообщений, не предназначенных для общего пользования населением, и разглашение, публикация или какое-либо использование без разрешения любых сведений, полученных посредством перехвата.

В отношении приема сигналов РВС прямых ограничений нет. Однако принятые на территории другого государства, эти сигналы без разрешения организации, которая их формирует, естественно, не могут распространяться по сети. Это диктуется также и авторскими правами на содержание программ в случае приема и распространения их на территории других государств.

4.7.2. Баллистические параметры средств спутниковой связи. В сети ТВ вещания используют только ста-

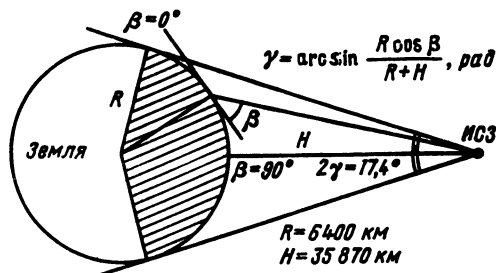


Рис. 4.7.1. Максимальная зона обслуживания стационарным спутником

ционарные ИСЗ на круговой экваториальной орбите. С такой орбиты Земля видна под телесным углом около  $18^\circ$ . Раскрыв ДН передающей антенны на спутнике выше этого значения не расширяет область обзора Земли и лишь вызывает излучение энергии в свободное пространство (рис. 4.7.1). В крайних точках на границе зоны спутник виден с Земли под углом  $\beta=0^\circ$ . Эта зона ограничена по широте  $81^\circ$  с. ш. и ю. ш., а по долготе на  $\pm 81^\circ$  от точки стояния спутника и представляет собой круг диаметром около 20 тыс. км с центром на экваторе. Используется меньшая зона, так как для работы приемной антенны минимальный угол возвышения должен быть равен нескольким градусам. На рис. 4.7.2 изображена одна из таких зон видимости ИСЗ на Земле в прямоугольной системе координат. При других долготах нахождения спутника зона видимости будет перемещаться на запад или восток с сохранением изображенной на рисунке конфигурации. Уменьшается зона обслуживания соответствующим выбором ДН передающей антенны на ИСЗ. Так, для обслуживания одной вещательной зоны на территории

СССР (см. рис. 4.1.3), имеющей размер около  $2000 \times 3000$  км, передающая антенна на ИСЗ должна иметь углы раскрытия около  $3 \times 5^\circ$ . Направление антенны земной станции на ИСЗ (возвышение  $E$  относительно магнитной оси и азимут  $A$  в направлении север-восток) находят по положению ИСЗ на орбите (долготе  $S$ ) и координатам земной станции (долготе  $L$  и широте  $B$ ). Восточная долгота берется с отрицательным знаком.

$$E = \arctg[(\text{coh } h - 0,15) / \sin h], \quad (4.7.1)$$

где  $h = \arccos[\cos(S-L) \cos B]$ ,

$$A = 180 + \arctg \frac{\tg(S-L)}{\sin B}. \quad (4.7.2)$$

Для быстрого определения углов направления антенны на ИСЗ обычно на карту, в зоне действия ИСЗ, наносят сетку долгот и азимутов. Эта сетка наносится вычислением по точкам (4.7.1) и (4.7.2). Источником электропитания оборудования на ИСЗ служат солнечные батареи в буферном режиме с аккумуляторами. Поэтому ИСЗ на орбите желательно располагать так, чтобы обеспечивалась наибольшая длительность нахождения его в зоне Солнца во время сеанса ТВ вещания. С учетом того, что вещание обычно оканчивается в полночь, для выполнения указанного условия ИСЗ сдвигают на запад на  $10 \dots 20^\circ$  относительно центра зоны обслуживания ТВ вещанием.

На стационарный ИСЗ действуют дестабилизирующие факторы, вызывающие изменение его положения на орбите, растущее со временем. Наиболее сильно влияют экваториальное сжатие Земли и гравитационные силы Луны и Солнца. Под экваториальным сжатием подразумевают не только геометрическое неравенство экваториальных радиусов, составляющее несколько десятков метров, но и неравномерность распределения массы Земли, что вызывает изменение положения спутника как по высоте, так и по долготе вдоль экватора (гармонические колебания) в виде эллипса в экваториальной плоскости.

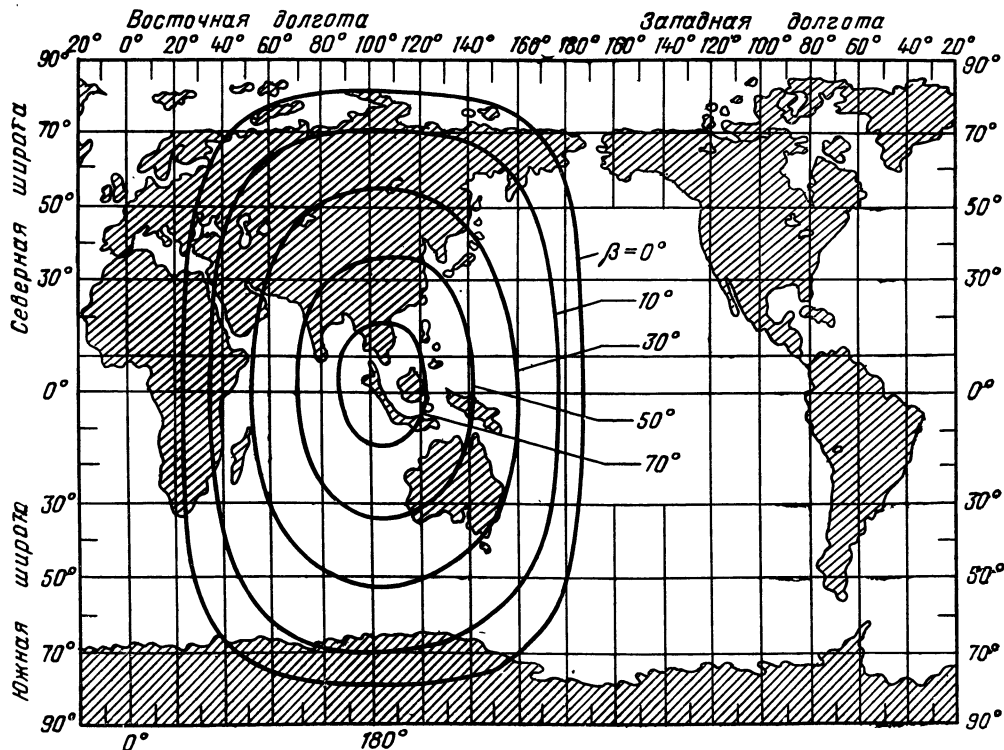


Рис. 4.7.2. Зависимости зон видимости стационарного спутника, находящегося в точке  $108^\circ$  восточной долготы, от угла возвышения  $\beta$  в точке приема

Действие гравитационных сил Луны и Солнца вызывает изменение наклона орбиты спутника со скоростью около  $\Delta i = 0,9^\circ$  в год. С учетом того, что положение (наклон) оси Земли в пространстве остается постоянным, наклон орбиты спутника ежесуточно изменяется на  $\pm \Delta i^\circ$  по широте (вдоль меридиана). Под воздействием обоих дестабилизирующих факторов спутник совершает сложные движения в пространстве в виде восьмерки, наблюдаемые с Земли. Положение спутника стабилизируют соответствующими корректирующими двигателями. В настоящее время рекомендуется поддерживать стабильность положения спутника на геостационарной орбите с точностью  $\pm 0,1^\circ$ , что соответствует в пространстве около  $\pm 75$  км. Нестабильность положения спутника на орбите и ширина ДН приемной антенны земной станции определяют необходимость непрерывной автоматической или периодической ориентации антенны на спутник.

**4.7.3. Радиотехнические параметры средств спутниковой связи.** Затухание радиоволн в свободном пространстве определяется только расстоянием между точками передачи и приема  $d$ . Напряженность поля убывает пропорционально расстоянию. Потери, определяемые отношением излучаемой мощности к принимаемой изотропным излучателем, дБ:

$$L_0 = 10 \lg \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 22 + 20 \lg \frac{d}{\lambda} = 31,5 + 20 \lg f d. \quad (4.7.3)$$

Условия распространения радиоволн в атмосфере, характер распределения естественных (внешних) шумов и существующее распределение между наземными службами частот ограничивают использование их для спутниковой связи [20, 21]. Нижняя граница полосы обусловлена тем, что радиоволны до определенных критических значений частот либо полностью отражаются от ионосферы, либо поглощаются в ней. Граница лежит в диапазоне 2...100 МГц и зависит от географической широты трассы, солнечной активности и времени года. На частотах выше 10 ГГц начинает сказываться поглощение радиоволн из-за атмосферных осадков (наибольшее от дождя и тумана, значительно меньше от града и снега). Взвешенные же частицы (аэрозоли) практически не влияют на поглощение радиоволн. Имеется ярко выраженный максимум затухания на частотах около 22 ГГц, обусловленный резонансным поглощением мо-

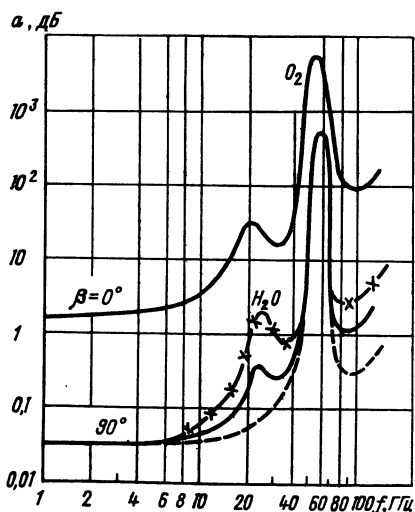


Рис. 4.7.3. Изменение затухания на трассе ИСЗ — Земля разных частот при различных условиях распространения (— умеренная влажность атмосферы, июль,  $45^\circ$  с. ш.; — — — влажность 0%; —х— влажность 100%; β — угол возвышения приемной антенны)

лекулами водяного пара, и на частотах 60 ГГц — молекулами кислорода (рис. 4.7.3). Степень затухания в атмосфере зависит также от угла возвышения, что объясняется изменением толщины слоя атмосферы, который проходят радиоволны. При переходе угла местности β от  $90^\circ$  к  $0^\circ$  толщина слоя атмосферы увеличивается примерно в 80 раз.

Внешние шумы складываются из космических, атмосферных, излучений Земли и промышленных излучений. Последние в диапазоне частот выше 1 ГГц (не считая помех от других радиосредств) ничтожны и не учитываются. Внешние шумы, попадая в антенну, обычно относят к ней, поэтому их называют эквивалентными шумами (температурой) антенны. Космические шумы обусловлены в основном излучением небесных тел и имеют частотно-зависимый характер, их мощность уменьшается с ростом частоты. Космический шум состоит из распределенного фоновых шума и шума, вызванного отдельными источниками. Интенсивность распределения шума максимальна в плоскости галактического экватора и плавно уменьшается по направлению к его полюсам. Частотная зависимость эквивалентной температуры распределения космических шумов называется также кажущейся температурой шумов неба (рис. 4.7.4). Шумы

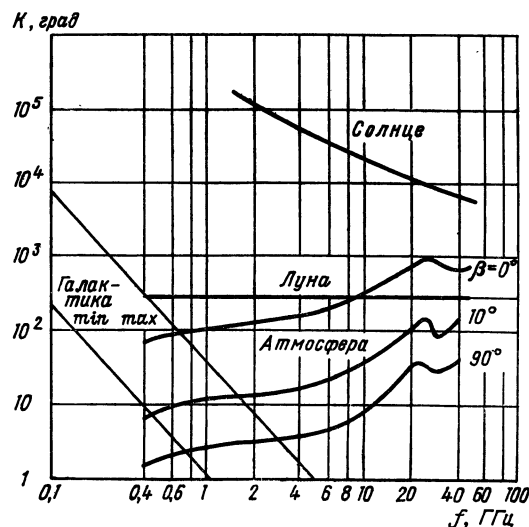


Рис. 4.7.4. Эквивалентная шумовая температура неба

отдельных источников влияют, если на них направлен главный лепесток ДН антенны. Так как Солнце и Луна видны с Земли под углом  $32'$ , вероятность случайного точного направления приемных антенн на такие источники шума мала. В то же время, создавая стабильный уровень шумов, их можно использовать для проверки исправности приемного тракта земной станции по уровню возрастания шумов на выходе приемника при направлении антенны на этот источник.

Атмосферные шумы обусловлены излучением кислорода и водяных паров. Их уровень зависит не только от частоты, но и от угла места антенны, что объясняется изменением толщины атмосферного слоя, находящегося в направлении максимума ДН антенны. Шумы антенны обусловлены также радиоизлучением земной поверхности, эквивалентная шумовая температура которой принята равной 290 К. Эти шумы антенны обусловлены наличием боковых лепестков в ДН, через которые принимаются излучения Земли, поскольку основной лепесток ДН направлен от нее. Поэтому составляющая температуры шумов антенны, обусловленная излучением Земли, зависит только от параметров антенны и характеризует ее качество. В предельном случае,

если бы антенна не имела боковых лепестков, ее шумовая температура равнялась бы нулю.

Уровень излучаемой мощности ИСЗ принято выражать произведением подводимой к антенне мощности на КУ антенны относительно изотропного излучателя. Это произведение называют *эквивалентная изотропно-излучаемая мощность ЭИИМ* и выражают в децибелаватт (дБ·Вт).

В технике космической связи для оценки качества приемника (антенны с приемником) в части уровня шумов принято использовать отношение КУ антенны к полной температуре шума, отнесенной к точке установки антенны. Это отношение называют *коэффициент качества приемного устройства G/T* и выражают в децибелах на градус Кельвина. С учетом всех факторов отношение мощностей сигнала и шума на выходе приемника, дБ,  $(P_c/P_{ш})_{вх} = P_{\Sigma} + (G/T) - \lg 10 k \Delta f_{п} - L_{об}$ , где  $P_{\Sigma} = P_{пер} \cdot G_{пер}$  — эквивалентная изотропно излучаемая мощность передатчика на ИСЗ, дБ·Вт;  $k$  — постоянная Больцмана;  $\Delta f_{п} = 1,1 (2\Delta f_{м} + 2F_{в})$  — эквивалентная ширина полосы частот приемника;  $2\Delta f_{м}$  — размах полосы частот радиосигнала;  $F_{в}$  — высшая модулирующая частота;  $L_{об}$  — общее затухание сигнала на трассе ИСЗ — Земля (см. рис. 4.7.3). Тогда отношение размаха сигнала к действующему взвешенному напряжению шума на выходе приемника, дБ,  $U_c/U_{ш} = (P_c/P_{ш})_{вх} + B_{чм} + 17,8$  дБ, где  $B_{чм}$  — выигрыш, получаемый за счет частотной модуляции; 17,8 дБ — коэффициент взвешивания при треугольной форме распределения шумов. Уровень полезного сигнала в точке приема в ССС принято выражать не напряженностью электромагнитного поля, как это делается в земных системах, а потоком мощности. Его выражают в децибелах относительно потока 1 Вт через 1 м<sup>2</sup> и записывают: дБ·Вт/м<sup>2</sup>.

Создаваемая передатчиком стационарного ИСЗ плотность потока мощности у поверхности Земли, дБ·Вт/м<sup>2</sup>,

$$\rho = -11 + \lg P_{пер} G_{пер} - 22 - 20 \lg (d/\lambda) - L_d = 10 \lg P_{пер} G_{пер} (\lambda/d)^2 - 33 - L_d.$$

С учетом того, что  $\rho$ , Вт/м<sup>2</sup> =  $E^2$ , В/м/  $R_{изл}$ , где  $R_{изл} = 120$  — сопротивление излучения свободного пространства, получим

$$\rho_{дБ \cdot Вт/м^2} = E_{дБ \cdot мкВ/м} - 145,8 \text{ (рис. 4.7.5).}$$

При определении взаимных помех между ССС и наземными РРЛ системами, с учетом большей широкополосности спутникового сигнала важна не только полная мощность мешающего сигнала ССС, но и максимальная спектральная плотность мощности. Это учитывается введением понятия плотности мощности в любой полосе шириной 4 кГц и записывается: дБ·Вт/м<sup>2</sup>·4 кГц. Мешаю-

щий же сигнал РРЛ может оказаться полностью в полосе приемника ССС, вследствие чего имеет значение полная мощность мешающего сигнала. В ССС во избежание взаимных помех и помех с наземными устройствами уровень сигнала (поток мощности у поверхности Земли) нормируют в зависимости от углов возвышения в точках приема. Этим косвенно определяется зона действия (границы) системы.

При передаче ТВ сигналов методом ЧМ имеются явно выраженные постоянные максимумы спектральной плотности мощности. Они обусловлены наличием в ТВ сигнале длительное время неизменяющихся уровней, а соответственно и частотных отклонений в спектре ЧМ сигнала. Это уровни синхронизирующих и гасящих импульсов, а также сигнал изображения, соответствующий длительно сохраняющимся частям изображения постоянной яркости. Для ослабления таких спектральных составляющих применяют искусственное равномерное рассеяние (распределение) энергии несущей по спектру, называемое *дисперсией сигнала* [40]. Это достигается введением в ПТВС дополнительного (дисперсионного) сигнала специальной формы. Уровни сигналов, которые ранее сохранялись постоянными длительное время, будут изменяться в соответствии с формой и частотой дисперсионного сигнала. Таким образом, постоянные спектральные составляющие ЧМ сигнала преобразуются в широкополосный сигнал без явно выраженных максимумов. Соответственно необходимо уменьшить девиацию несущей ТВ сигналом на значение, создаваемое сигналом дисперсии. Сигналы дисперсии в приемнике компенсируются введением в принятый радиосигнал противофазных специально сформированных импульсов, аналогичных сигналу дисперсии. Частичную компенсацию можно осуществить с помощью фиксирующих устройств.

Лучшие результаты достигаются при треугольной (симметричной пилообразной) форме дисперсионных сигналов с частотой полей. Относительное снижение спектральной ППМ в полосе 4 кГц при девиации дисперсии 100 кГц составляет 15 дБ, при девиации 500 кГц — 21 дБ и при девиации 1 МГц — 24 дБ.

Полосы частот для ССС и для наземных систем радиосвязи, оговоренные Регламентом Радиосвязи [45], даны в табл. 4.7.1. Каждому диапазону частот для космической связи определены полосы частот для подачи сигнала с Земли на ИСЗ. Поэтому диапазон частот (или конкретные частоты) в ССС записывают дробью, где в числителе частота сигнала, излучаемого с ИСЗ, а в знаменателе — земной станцией на ИСЗ. Значения частот приведены в гигагерцах, например, 0,7/6, 4/6, 12/18. Конкретные значения частот и позиции ИСЗ на орбите для фиксированных служб регулируют соглашениями между Администрациями путем координации, результаты которых регистрируются и публикуются МКРЧ (Международный комитет распределения частот). Для вещательных служб это *международные планы распределения частот*: так, для диапазона 12/18 имеется согласованный план, по которому для каждого государства определены конкретные частоты (каналы) и позиции ИСЗ на орбите. План составлен из условия одновременной передачи до пяти программ в пределах национальных территорий государств. Международное вещание в этом плане не предусмотрено. Для бывшего СССР планом была предусмотрена возможность использования 70 частотных каналов (с учетом территориального разноса между каналами с одинаковыми частотами) и пять позиций для ИСЗ на орбите. В плане приняты защитные отношения в совмещенных каналах 31 дБ, а в смежных 15 дБ.

4.7.4. Спутниковая система связи для ТВ вещания. Для ТВ вещания РФ широко используют полосы частот 0,7/6 и 4/6 и начинает осваиваться диапазон 12/18 (табл. 4.7.2, 4.7.3). Приемное устройство спутниковой системы состоит из тех же элементов, что и любое другое: антенна, фидер, УВЧ, смеситель, гетеродин, УПЧ,

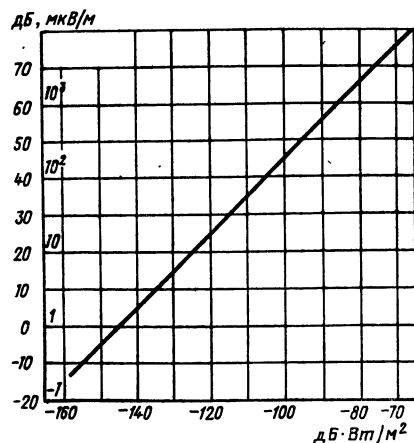


Рис. 4.7.5. Зависимость напряженности поля от потока мощности

Таблица 4.7.1. Условия использования полос частот, выделенных<sup>1</sup> для РВСС в СССР, для стран района I

Полоса частот, ГГц	Назначение	Разрешенная плотность потока мощности у поверхности Земли, дБ·Вт/м <sup>2</sup> для углов прихода $\beta$	Примечание
0,62...0,79	РВСС	$-129; \beta \leq 20^\circ;$ $-129 + 0,4(\beta - 20^\circ);$ $20^\circ \leq \beta \leq 60^\circ;$ $-113; 60^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$	Передача только с ЧМ. Не допускается превышать на территории других стран без их согласия
2,5...2,69	ФСС	$-152; \beta \leq 5^\circ; -152 + 3(\frac{\beta - 5}{4}); 5^\circ \leq \beta \leq 25^\circ; -137; 25^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$	В любой полосе 4 кГц. Только для национальных или региональных систем
3,4...4,2 4,5...4,8	ФСС	$-152; \beta = 5^\circ; -152 + 3(\frac{\beta - 5}{4}); 5^\circ \leq \beta \leq 25^\circ; -137; 25^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$	В любой полосе 4 кГц
11,7...12,5	РВСС	-103	Должна использоваться дисперсия энергии, снижающая ППМ в полосе 4 кГц на 22 дБ
10,7...11,7 12,5...12,75	ФСС	$-148; \beta = 5^\circ;$ $-148 + 0,5(\beta - 5^\circ);$ $5^\circ \leq \beta \leq 25^\circ;$ $-138; 25^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$	В любой полосе 4 кГц

<sup>1</sup> Выделены также для ФСС полосы 7,25...7,75; 8,025...8,175; 17,7...21,2; 37,5...40,5; 81...84; 102...106; 149...164; 231...241 и для РВСС 40,5...42,5; 84...86, которые используются недостаточно, или ведутся разработки и изучение.

Таблица 4.7.2. Основные параметры СССР ТВ сигналов

Параметр	«Орбита»	«Москва»	«Экран»
Тип ИСЗ	Горизонт	Горизонт	Экран-М
Частотный диапазон, ГГц	4/6	4/6	0,7/6
Мощность передатчика ИСЗ, Вт	15	40	200
Коэффициент усиления передающей антенны, дБ	19; 25	30	33,5
Уровень сигнала у поверхности Земли, дБВт/м <sup>2</sup>	-136	-120	-116,5
Ширина радиоканала, МГц	37	40	24
Максимальная девиация несущей частоты, $\pm$ МГц	15	17	12
Наличие сигнала дисперсии	Нет	Есть	Есть
Приемная антенна земной станции: тип	Парабола	Парабола,	Волновой
	12 см	2,5 м	канал
коэффициент усиления, дБ	52	37,5	23 и 30
Эквивалентная шумовая температура приемника, К	70...80	200	500...800
Частоты сигналов: звукового сопровождения, $f_{\text{нес}}$ , МГц, $\pm \Delta f$ , кГц	7 $\pm$ 150	7 $\pm$ 150	6,5 $\pm$ 50]

Окончание табл. 4.7.2

Параметр	«Орбита»	«Москва»	«Экран»
радиовещания, $f_{\text{нес}}$ , МГц, $\pm \Delta f$ кГц	7,5 $\pm$ 150	7,5 $\pm$ 150	7 $\pm$ 150
дополнительной информации, $f_{\text{нес}}$ , МГц, $\pm \Delta f$ кГц	8,2 $\pm$ 250	8,2 $\pm$ 150	—

Таблица 4.7.3. Основные данные приемных станций систем «Москва» и «Экран»

Тип станции	Выходной ТВ сигнал			Наличие сигнала РВ	Наличие резервирования
	Мощность, Вт	Характер сигнала	Число каналов	+ да	- нет
«Москва»	—	Видео	—	+	—
«Москва Б-1»	1	Радио	1—12	+	—
«Москва Б-10»	10	То же	—	+	—
«Москва БП»	—	Радио <sup>1</sup>	1—12	+	—
«Москва МС»	—	Видео	—	+	—
«Экран КР-1»	1	Радио	1—12	—	—
«Экран КР-10»	10	То же	—	—	—
«Экран КР»	—	Радио <sup>1</sup>	1—12	+	—
«Экран КРП»	—	Видео	—	+	+
«Экран М-1»	1	Радио	1—12	+	—
«Экран М-10»	10	То же	1—12	+	—
«Экран МК»	—	Радио <sup>1</sup>	1—12	—	—

<sup>1</sup> Для кабельной сети.

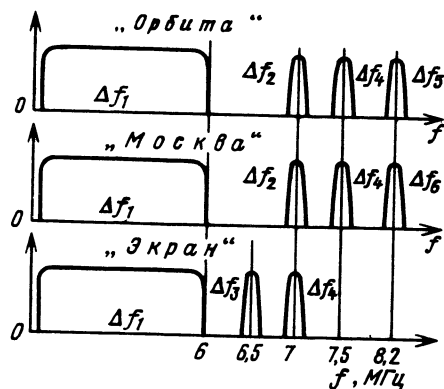


Рис. 4.7.6. Спектры комбинированных модулирующих сигналов в разных спутниковых системах связи для телевидения ( $\Delta f_1 = 6$  МГц — видеосигнал;  $\Delta f_2 = \pm 150$  кГц;  $\Delta f_3 = \pm 50$  кГц — звуковое сопровождение;  $\Delta f_4 = 150$  кГц — радиовещание;  $\Delta f_5 = \pm 0,25$  МГц — изображение газетных полос)

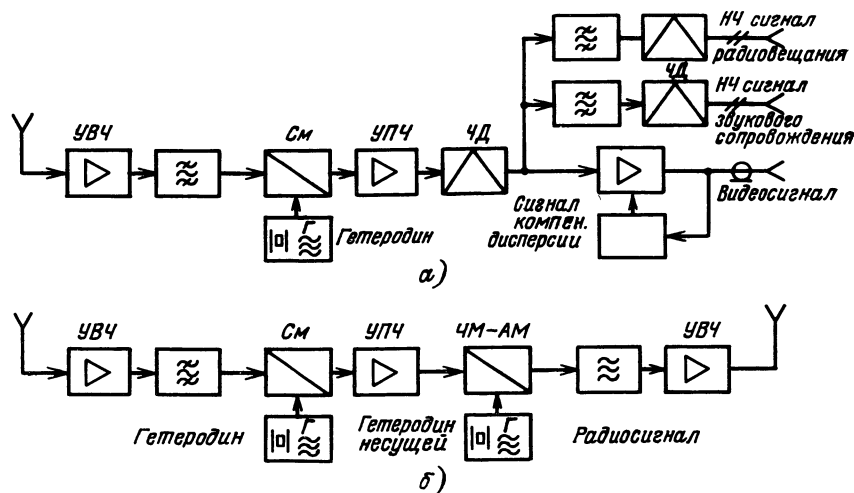


Рис. 4.7.7. Упрощенные структурные схемы приемных устройств массовых распределительных ТВ систем:  
а — приемное устройство систем «Москва» и «Экран»; б — приемно-передающее устройство системы «Экран»

детектор, УНЧ. Особенность построения элементов приемника определяется диапазоном частот, уровнем входного сигнала и методом передачи (модуляции). Так как уровень принимаемого сигнала низок, в состав приемника входит малошумящий усилитель (МШУ) входного сигнала. Усилители обычно располагают непосредственно у антенны для снижения потерь в фидере. Один децибел потерь в фидере эквивалентен приросту шумовой температуры на 73 К. В ряде конструкций с МШУ непосредственно к антенне выносятся и преобразователь частоты с гетеродином, а на приемное устройство подаются радиосигнал ПЧ. Сигналы звукового сопровождения, радиовещания и другой дополнительной информации передают на соответствующих поднесущих (рис. 4.7.6). Выбор поднесущей частоты 6,5 МГц с девиацией  $\pm 50$  кГц в системе «Экран», соответствующей разнесу несущих изображения и звукового сопровождения передатчиков в наземной передающей сети, упрощает построение ТВ ретранслятора. В этом случае исключается процесс формирования ЧМ сигнала звукового сопровождения. Два варианта построения приемно-передающего устройства массовой распределительной ТВ спутниковой системы связи (рис. 4.7.7) мало отличаются от эфирных ТВ ретрансляторов малой мощности с демодуляцией (п. 4.5.2). Конструкция же их разная. В спутниковых системах одновременно с передачей ТВ сигналов обычно передаются дополнительные сигналы циркулярной информации, что повышает эффективность системы (табл. 4.7.2).

## Список литературы

1. Айзенберг Г. З. Антенны ультравысоких частот.— М.: Связьиздат, 1967.
2. Айзенберг Г. З. Антенны УКВ. Т. 1, 2.— М.: Связь, 1977.
3. Анфилов Е. А., Кузнецов В. Д. Реконструкция антенных систем РПС при увеличении числа ТВ программ // Электросвязь.— 1975.— № 9.— С. 68—74.
4. Артамонов А. А., Иванов В. Г., Порываев И. Н. Частотообразующая аппаратура современных ТВ радиостанций // Электросвязь.— 1986.— № 10.— С. 12—17.
5. Бабук Г. В. О чувствительности телевизионного приемника // Электросвязь.— 1977.— № 1.— С. 53—61.
6. Варбанский А. М. Передающие телевизионные станции.— М.: Связь, 1980.
7. Воробьев И. И., Макариков В. Ф. Автоматический телевизионный ретранслятор-преобразователь дециметрового диапазона РПТДА.— Электросвязь.— 1975.— № 1.— С. 63—68.
8. Временные санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиотехническими объектами.— М.: Минздрав СССР, 1984.
9. Глазман Э. С., Воробьев А. А. Модуляционные искажения в телевизионных передатчиках // Электросвязь.— 1973.— № 4.— С. 33—42.
10. Глазман Э. С., Дорфман Л. Г., Золотов Б. И. Телевизионные радиостанции для диапазона 48,5... 100 МГц с передатчиками мощностью 5/1,5 и 2,5/0,75 кВт // Современное радиопередающее оборудование для радио и телевизионного вещания на УКВ.— М.: Связьиздат, 1963.— С. 74—120.
11. Автоматизированная телевизионная радиостанция диапазона ОВЧ с передатчиками 50/5 / Э. С. Глазман, А. А. Попов, Л. И. Чистяков, В. Г. Шапиро // Электросвязь.— 1987.— № 2.— С. 2—9.
12. Телевизионные передатчики IV—V диапазонов мощностью 20/4 кВт / С. А. Гончаров, Б. Н. Житомирский, М. М. Панченко, А. Л. Файнштейн // Электросвязь.— 1975.— № 9.— С. 48—53.
13. ГОСТ 7845—79. Система вещательного телевидения. Основные параметры. Методы измерений.
14. ГОСТ 18471—83. Тракты передачи изображения вещательного телевидения. Звенья тракта. Измерительные сигналы.
15. ГОСТ 20532—83. Радиопередатчики телевизионные I—V диапазонов. Основные параметры, технические требования и методы измерений.

16. ГОСТ 24330—80. Приемники телевизионные цветного изображения. Основные параметры.
17. Грудинская Е. П. Распространение радиоволн.— М.: Высшая школа, 1975.
18. Документы IV Пленарной Ассамблеи МККР, Т. V, IX, XII.
19. Золотов Б. И., Шурский В. И. Устройства видео-частотной коррекции и обратной связи в радиопередатчиках изображения и методы их настройки // Оборудование радиопередающих телевизионных и УКВ ЧМ вещательных станций.— М.: Связь, 1974.— С. 104—118.
20. Калинин А. И. Влияние дождя на ослабление радиоволн на трассах Земля—ИСЗ // Электросвязь.— 1976.— № 5.— С. 3—7.
21. Калинин А. И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний.— М.: Связь, 1979.
22. Козловский М. М., Шурский В. И. Коррекция фазовых искажений ТВ передатчика на радиочастоте // Электросвязь.— 1975.— № 11.— С. 18—27.
23. Кольцов А. А., Локшин А. М. Модернизация телевизионных передающих станций ТВ-5/0,5 кВт III диапазона // Электросвязь.— 1984.— № 7.
24. Кудрявцев В. С., Фридман Э. М. Как повысить эксплуатационную надежность телевизионной радиостанции «Лен» // Вестник связи.— 1978.— № 10.— С. 32—34.
25. Кузнецов В. Д. Частотное уплотнение антенно-фидерных трактов без применения резонаторов // Электросвязь.— 1970.— № 7.— С. 48—52.
26. Лебедев-Карманов А. И., Глазман Э. С., Козловский М. М. Телевизионные передатчики с модуляцией на промежуточной частоте // Электросвязь.— 1975.— № 2.— С. 1—7.
27. Лебедев-Карманов А. И. Новые отечественные радиопередающие устройства для телевизионного и звукового вещания на ультракоротких волнах // Современное радиопередающее оборудование для радио- и телевизионного вещания на УКВ.— М.: Связьиздат, 1963.— С. 4—27.
28. Лебедев-Карманов А. И. Новые элементы в технике отечественных тетродных телевизионных передатчиков // Оборудование радиопередающих телевизионных и УКВ ЧМ вещательных станций.— М.: Связь, 1974.— С. 4—11.
29. Лебедев-Карманов А. И., Калинин Л. Б., Козловский М. М. Состояние и основные направления развития техники ТВ передатчиков // Электросвязь.— 1986.— № 10.— С. 9—11.
30. Лебедев-Карманов А. И., Глазман Э. С. Телевизионная радиостанция с передатчиками мощностью 50/15 кВт для диапазона 48,5... 100 МГц // Современное радиопередающее оборудование для радио- и телевизионного вещания на УКВ.— М.: Связьиздат, 1963.— С. 159—171.
31. Лебедев-Карманов А. И., Степанов Н. Ф., Файнштейн А. Л. Новые мощные передатчики III диапазона Общесоюзной радиотелевизионной передающей станции // Телевизионная техника.— М.: Связь, 1971.— С. 266—302.
32. Локшин А. М. Некоторые вопросы улучшения качественных показателей действующих передающих станций ТВ 5 кВт I—III диапазонов // Электросвязь.— 1981.— № 5.— С. 10—14.
33. Локшин А. М. Пути совершенствования ТВ передающей сети // Электросвязь.— 1988.— № 7.— С. 14—17.
34. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания / М. Г. Локшин, А. А. Шур, А. В. Кокорев, Р. А. Краснощеков.— М.: Радио и связь, 1988.
35. Макаричков В. Ф., Резник Л. М. Телевизионные ретрансляторы малой мощности // Вестник связи.— 1973.— № 8.— С. 21—24.
36. Основные принципы системы «Экран» / В. П. Мишин, А. Д. Фортуненко, С. В. Бородин и др. // Электросвязь.— 1977.— № 5.— С. 5—19.
37. Методы планирования передающих сетей ТВ в IV и V диапазонах // Рекомендация № 19, ОИРТ.
38. Методика планирования сетей вспомогательных ТВ станций малой мощности в I—III диапазонах // Рекомендация № 65, ОИРТ.
39. Методика планирования вспомогательных ТВ станций в дециметровом диапазоне волн // Рекомендация № 88, ОИРТ.
40. Мустафиди К. П., Финогенов Г. М. Рассеяние энергии несущей при передаче телевидения // Электросвязь.— 1976.— № 1.— С. 11—16.
41. Орлов А. Ю., Раманаускас А. К. Модернизация ТВ радиостанции «Ураган» // Электросвязь.— 1986.— № 10.— С. 26—27.
42. Палий Г. Н., Артемьева Е. В. Синхронизация высокочастотных мер времени и частоты.— М.: Изд-во стандартов, 1976.
43. Панаев В. В. Комплекс работ по переводу парка ретрансляторов РЦТА в необслуживаемый режим // Электросвязь.— 1986.— № 10.— С. 43—45.
44. Проектирование радиопередающих устройств / Под ред. Шахгильдяна.— М.: Связь, 1984.
45. Регламент радиосвязи.— М.: Радио и связь, т. 1. 1985, т. 2, 1986.
46. Резник Л. М. Ретранслятор РПТН-70-12/12 // Электросвязь.— 1973.— № 5.
47. Розенталь С. Л., Файнштейн А. Л., Шишкин А. А. Радиопередающее оборудование телевизионной станции ТВ-50/15—III // Оборудование радиопередающих телевизионных станций и УКВ ЧМ вещательных станций.— М.: Связь, 1974.— С. 12—28.
48. Санкин Н. М., Трунов В. И. Принципы технического планирования передающих сетей телевизионного и УКВ ЧМ вещания.— М.: Связьиздат, 1960.
49. Степанов Н. В., Панченко М. М., Шурский В. И. Передающее оборудование телевизионной станции ТВ-50/15—III // Оборудование радиопередающих телевизионных станций и УКВ ЧМ вещательных станций.— М.: Связь, 1974.— С. 12—28.
50. Таравков А. Н. Возбудитель ВТВ-75 (со смещением) для точного СНЧ телевизионных передатчиков метрового диапазона // Электросвязь.— 1981.— № 2.— С. 10—14.
51. Троицкий В. Н. Распространение ультракоротких волн в горах.— М.: Связь, 1968.
52. Трусканов Д. М., Брауде Б. В. Передающие телевизионные антенны // Телевизионная техника.— М.: Связь, 1971.— С. 303—326.
53. Методы настройки передатчиков современных телевизионных станций / А. Л. Файнштейн, И. И. Голомбек, Л. В. Погребной, В. Г. Шапиро // Оборудование радиопередающих телевизионных и УКВ ЧМ вещательных станций.— М.: Связь, 1974.— С. 85—103.
54. Файнштейн А. Л., Степанов Н. В., Глушкин Б. Е. Телевизионная радиостанция для диапазона 174—230 МГц с передатчиками мощностью 5/1,5 кВт // Современное радиопередающее оборудование для радио- и телевизионного вещания на УКВ.— М.: Связьиздат.— 1963.— С. 121—158.
55. Фридман Э. М., Зимин Е. М., Орлов В. В. Некоторые проблемы модернизации телевизионных передатчиков // Электросвязь.— 1981.— № 2.— С. 15—19.
56. Фридман Э. М., Шелепень И. В. Итоги комплексной модернизации ТВ радиостанции «Якорь» // Электросвязь.— 1986.— № 10.— С. 21—25.
57. Черенкова Е. Л., Чернышев О. В. Распространение радиоволн.— М.: Радио и связь, 1984.
58. Шлюгер И. С. Построение телевизионных сетей на равнинной и горной местности // Электросвязь.— 1972.— № 7.— С. 1—20.



## ЧАСТЬ 5.

# СИСТЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПРИЕМА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

### 5.1. Структура систем

Создание в начале 50-х годов систем коллективного телевизионного приема (СКТП) в значительной степени повлияло на структуру приемной ТВ сети. Поскольку каждая из подобных систем позволяла подключать к одной антенне несколько десятков телевизоров, было принято решение, предусматривающее установку одной С на подъезд здания. По сравнению с индивидуальными приемными антеннами СКТП имеют неоспоримые преимущества, что послужило основанием для их широкого использования в городских условиях. Простейшая СКТП (рис. 5.1.1) состоит из антенных устройств

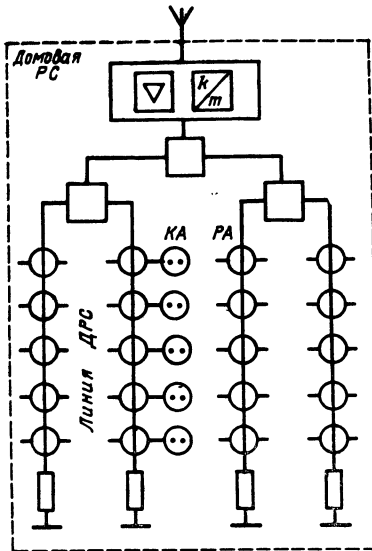


Рис. 5.1.1. Структурная схема простейшей СКТП (РА, КА — разветвитель и коробка абонентские)

и домовой распределительной сети (РС). Сигналы принимаются в любом из каналов I—V ТВ диапазонов, а также в диапазоне ЧМ вещания и распределяются в стандартных каналах диапазона 48,5...230 МГц. Сигналы метрового диапазона распределяются непосредственно на принимаемых частотах, а дециметрового — на входе домовой РС и переносятся по частоте в свободные в данной местности каналы I—III ТВ диапазонов. Оконечные абонентские устройства подключены к линиям домовой РС с помощью направленных ответвителей (НО), разделяющих мощности сигналов в необходимых соотношениях при высокой степени защиты абонентских отводов от отраженных волн. Эффективны СКТП в районах качественного приема, но практически неприемлемы в зонах либо затенения, где напряженность поля оказывается недопустимо низкой, либо с высокой интенсивностью запаздывающих сигналов, обусловленных отражениями электромагнитных

(ЭМ) волн в тракте распространения. При современной застройке городов зданиями, резко отличающимися по высоте, такие зоны охватывают кварталы протяженностью от нескольких сотен метров до километра и более.

Наиболее эффективным способом телефикации районов со сложными условиями приема является создание крупных систем коллективного телевизионного приема (КСКТП) и систем кабельного телевидения (СКТ), каждая из которых рассчитана на подключение к одной высокоэффективной антенной установке, расположенной в точке с благоприятными условиями приема, нескольких тысяч абонентских устройств. Распределительные сети таких систем выполняют по древовидной схеме с частотным разделением каналов (рис. 5.1.2). Достоинства подобного решения — возможность использовать без существенных переделок имеющиеся домовые РС с подключенными к ним стандартными телевизорами. Как видно из схем, КСКТП или СКТ содержат антенные устройства и РС, которые включают в себя оборудование головной станции и линейного тракта. Более разветвленную РС, построенную по трехступенчатой схеме [1], имеет СКТ. Кроме того, наряду с распределением программ эфирного вещания СКТ используют для подачи дополнительных программ, поступающих на РС по радиорелейным, кабельным и спутниковым линиям связи. При создании крупных СКТП и СКТ существенно возрастают требования к экранировке элементов системы и абонентских телевизоров, так как из-за большой разности хода полезных и наведенных сигналов заметность последних на изображении возрастает. Поскольку телевизоры не отвечают необходимым требованиям по экранировке, на головных станциях КСКТП и СКТ предусматривается возможность переноса частот принимаемых сигналов метрового диапазона в свободные в данной местности полосы частот каналов, используемых для распределения сигналов. Необходимость преобразования частот дециметрового диапазона диктуется также экономическими соображениями, так как реализация сети в том диапазоне сопряжена с существенным увеличением ее стоимости.

При создании КСКТП и СКТ надо, чтобы значения параметров усилительных устройств были на уровнях, необходимых для построения многоканального линейного тракта требуемых протяженности и емкости. Сделать это можно с помощью широкополосных усилителей, обладающих высокой линейностью передаточной характеристики, низким коэффициентом шума, высокой равномерностью АЧХ. Причем, если усилители предназначены для использования в трактах большой протяженности, должны быть приняты меры по автоматической стабилизации уровней сигнала. Для уменьшения влияния искажений, возникающих в РС из-за отражений от неоднородностей, требуется высокое согласование элементов тракта и коаксиального кабеля (он должен обладать высокой однородностью) и в НО обеспечивается защита отводов от отраженных волн. Из-за наличия большого числа элементов в КСКТП и СКТ приходится принимать меры по обеспечению высокой надежности их

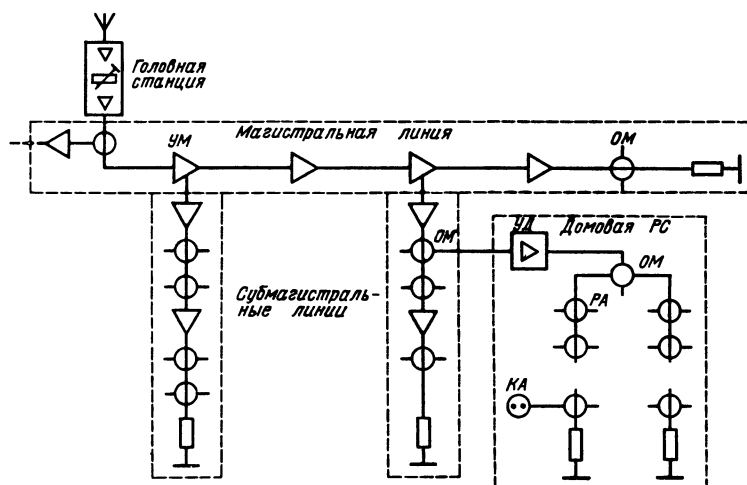


Рис. 5.1.2. Структурная схема КСКТП (УМ, ОМ — усилитель и ответитель магистральные (УД — усилитель домовый; РА и КА — разветвитель и коробка абонентские)

работы. Потенциальная пропускная способность РС систем соответствует полосе 20 ТВ каналов и около 70 каналов ЧМ вещания, однако реализовать ее трудно из-за недостаточной избирательности по соседнему каналу используемых телевизоров и наличия на их входах напряжений гетеродинов селекторов с достаточно высоким уровнем. Необходимость преобразовывать частоты принимаемых сигналов из-за недостаточной экранировки входных цепей телевизоров также снижает пропускную способность РС. С учетом всех указанных факторов существующие системы обеспечивают возможность распределения 5—6 ТВ программ.

## 5.2. Искажения сигналов в приемных распределительных системах

**5.2.1. Параметры систем.** Для эффективной работы приемной РС любой сложности необходимо обеспечить высококачественные сигналы на выходах приемных антенн при соответствии значений параметров трактов заданным. Поскольку искажения сигналов в тракте от передающей антенны до приемной весьма сложны, прием ТВ сигналов обеспечивают с требуемым качеством только при проведении изыскательских работ по определению точек приема. В связи с тем, что объективные методы измерения параметров тракта распространения в настоящее время отсутствуют, точки приема выбирают по результатам субъективных оценок качества изображения принимаемых сигналов. Приемлемым считается качество не ниже 4 баллов по пятибалльной шкале [1]. Оценить параметры РС можно как путем объективных измерений, так и по субъективным оценкам качества изображения на выходах абонентских отводов. Параметры соответствуют заданным требованиям, если качество изображения в РС снижается относительно качества изображения принимаемого сигнала не более 1 балла [1]. Более достоверную информацию об искажениях сигналов в РС дают измерения значений параметров, которые должны соответствовать нормам.

### Параметры ТВ сигнала в РС (ГОСТ 11216—83)

Уровень радиосигнала изображения на выходе абонентской розетки, дБмкВ <sup>1</sup> . . . . .	57...84
Разность уровней радиосигналов изображения каналов, дБ, не более, по частотным диапазонам:	
одного . . . . .	8
разных . . . . .	12
соседних (в пределах одного диапазона) . . . . .	3
Уровень радиосигналов ЧМ вещания, дБмкВ <sup>2</sup> :	

монофонического . . . . .	40...80
стереофонического . . . . .	50...80
Неравномерность АЧХ в полосах частот, дБ, не более:	
между несущими изображения и звукового сопровождения ТВ канала . . . . .	3
ЧМ вещания . . . . .	10
Разность ГВЗ на боковой частоте радиосигнала изображения, соответствующей цветовой поднесущей, и на частоте несущей изображения, мкс . . . . .	±100
К-фактор, %, не более . . . . .	7
Дифференциальное усиление, %, не более . . . . .	10
Дифференциальная фаза, град, не более . . . . .	12
ОСШ, дБ, не менее в каналах:	
ТВ . . . . .	43
монофонического ЧМ вещания . . . . .	41
стереофонического ЧМ вещания . . . . .	51
Отношение сигнала к фоновой помехе, дБ, не менее . . . . .	46
Отношение сигнала к помехе комбинационной частоты <sup>3</sup> , дБ, не менее 1, для порядков	
третьего IMA <sub>П(В)</sub> . . . . .	54
третьего IMA <sub>П(К)</sub> . . . . .	60
второго IMA <sub>П(В)</sub> . . . . .	55
Вносимая нестабильность частоты, кГц, не более:	
при преобразовании частоты принимаемого радиосигнала вещательного ТВ <sup>2</sup> . . . . .	±75
при преобразовании частот принимаемых радиосигналов вещательного ТВ и распределения их в соседних ТВ каналах . . . . .	±20
при преобразовании частоты принимаемого радиосигнала ЧМ вещания . . . . .	±5
Развязка между выходами одной или двух любых абонентских розеток, дБ, не менее:	
между любыми выходами . . . . .	22
между выходами для подключения ТВ и радиоприемников на частотах гетеродина ЧМ приемника . . . . .	46

<sup>1</sup> Допускаются другие значения уровней, определяемые условиями работы сети, ее протяженностью, числом последовательно включенных усилителей и сочетанием каналов, выбранных для распределения радиосигналов; значения уровней радиосигналов конкретной сети указываются в технической документации на систему.

<sup>2</sup> В СКП с одноступенчатой РС допускается увеличение нестабильности частоты до ±250кГц.

<sup>3</sup> Обозначения, принятые в ГОСТ 11216—83.

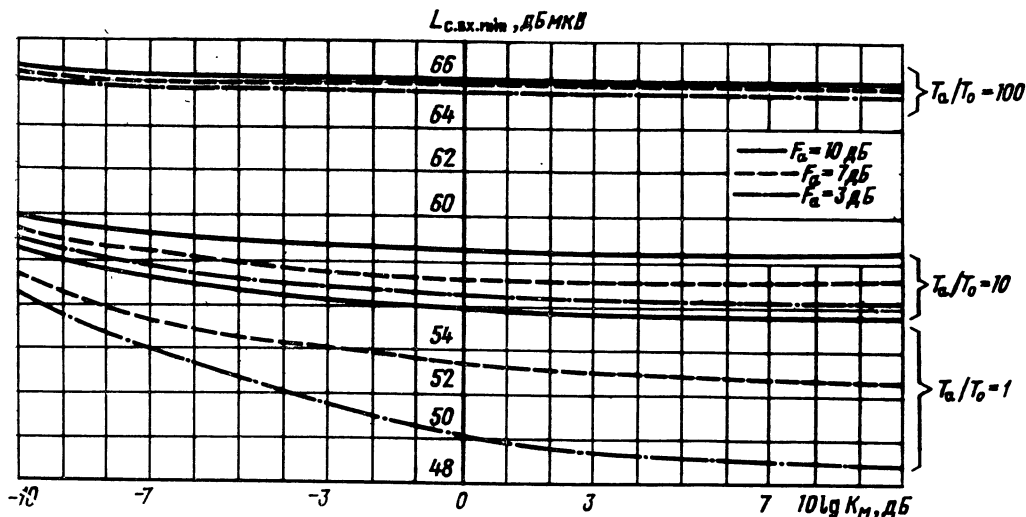


Рис. 5.2.1. Зависимости минимальных уровней ТВ сигнала на входе усилителей от  $K_m$

Для уточнения требований к элементам РС, при которых обеспечиваются регламентируемые значения параметров, исследования проводят на стадии разработки систем, так как проведение таких испытаний весьма трудоемкий процесс.

**5.2.2. Диаграмма уровней сигналов.** Диаграмму уровней сигналов определяют из условия выполнения заданных значений ОСШ и нелинейных помех на всех абонентских выходах. В простейшей системе с одной ступенью усиления *результатирующая мощность шумов* на выходе абонентского отвода

$$P_{ш\Sigma} = P_{шT}[(T_a\eta_0/T_0 + \text{III}_y - \eta_0)K_m + 1], \quad (5.2.1)$$

где  $P_{шT} = kT_0\Delta f$  — мощность теплового шума, выделяющаяся на входном сопротивлении усилителя (конвертора);  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт·С/град — постоянная Больцмана;  $T_0 = 300$  К — температура окружающей среды;  $\Delta f$  — шумовая полоса ТВ канала (для принятой системы ТВ вещания  $\Delta f = 5,75$  МГц [1]);  $\eta_0$  — КПД тракта, соединяющего антенну со входом усилителя (конвертора);  $T_a$  — шумовая температура приемной антенны;  $\text{III}_y$  — коэффициент шума усилителя (конвертора);  $K_m$  — коэффициент передачи по мощности от входа усилителя (конвертора) до выхода абонентского отвода.

При требуемом значении ОСШ на выходе абонентского отвода  $R = 43$  дБ *минимальный уровень ТВ сигнала* на входе усилителя (конвертора), дБмкВ,

$$L_{c. \text{ вх. min}} = L_t + 101 \lg[(T_a\eta_0/T + \text{III}_y - \eta_0)K_m + 1] + R - 10 \lg K_m, \quad (5.2.2)$$

где  $L_t = 10 \lg(kT_0\Delta f/P_0)$  — относительный уровень теплового шума в ТВ канале (для принятых условий  $L_t = 2,5$  дБмкВ);  $P_0 = 10^{-12}/75$  — опорная мощность, Вт, выделяющаяся на нагрузке 75 Ом при действующем напряжении 1 мкВ. Как видно из рис. 5.2.1, требуемый уровень сигнала определяется значением шумовой температуры антенны, которая зависит от многих факторов.

Максимальный уровень сигнала на выходе абонентского отвода определяется допустимым уровнем на входе телевизора, подключаемого к отводу, и регламентируется вышеприведенными требованиями. При этом должны выполняться нормы по отношению сигнала к нелинейным помехам, возникающим в усилителе (конвертере) СКПТ, что реализуется при использовании его в режиме, при котором рабочий выходной уровень не превышает максимально допустимого. Нормируют указанный параметр экспериментально с помощью испытательных сигналов трех генераторов. В канальных усилителях (конвертерах) частоты испытательных сигналов

выбирают в соответствии со значениями частот изображения, звукового сопровождения и цветовой поднесущей канала приема и с уровнями, указанными на рис. 5.2.2. Допустимый выходной уровень определяют

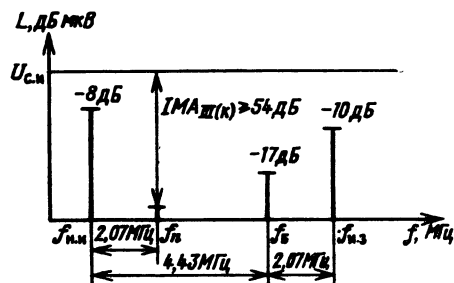


Рис. 5.2.2. К выбору частот и уровней испытательных сигналов для проверки канальных усилителей (конвертеров)

напряжением, при котором отношение сигнала, имитирующего несущую изображения, к помехе комбинационной частоты третьего порядка составляет 46 дБ. При этом максимальный выходной уровень (МВУ) несущей изображения реального ТВ сигнала на 8 дБ выше найденного уровня, и реализуемое значение отношения несущей изображения к помехе третьего порядка  $IMA_{ш(к)} = 54$  дБ. В широкополосных усилителях (усиливают сигналы нескольких ТВ каналов) МВУ определяют в режиме, соответствующем усилению сигналов двух ТВ каналов. При этом один из сигналов должен имитировать немодулированную несущую изображения первого ТВ канала, а два других, образующих биения с частотой 2 МГц, несущую изображения второго ТВ канала со 100%-ной модуляцией (рис. 5.2.3). Уровень не-

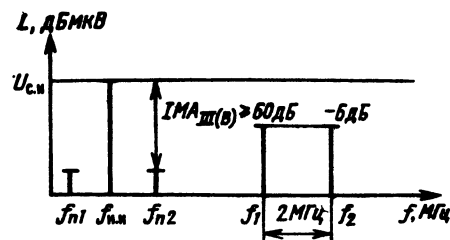


Рис. 5.2.3. К выбору частот и уровней испытательных сигналов для проверки широкополосных усилителей

модулированной несущей изображения, при котором отношение сигнала к комбинационной помехе третьего порядка  $1MA_{III(K)} \approx 60$  дБ, соответствует МВУ широкополосного усилителя в режиме усиления равных по уровню сигналов двух ТВ каналов.

При одновременном усилении большего числа ТВ сигналов МВУ в каждом канале определяют расчетным путем. При равных выходных напряжениях  $N$  ТВ каналов в режиме синхронной передачи синхросигналов различных каналов МВУ в каждом канале, дБмкВ,

$$L'_{a N/1} = 20 \lg (U_{a N/1} / U_0) = L_{a2/1} - 10 \lg (N-1), \quad (5.2.3)$$

где  $L_{a2/1} = 20 \lg (U_{a2/1} / U_0)$  — МВУ одиночного усилителя в режиме усиления сигналов двух ТВ каналов;  $U_{a2/1}$ ;  $U_{a N/1}$  — максимальные выходные действующие напряжения несущих изображения каждого из двух и  $N$  усиленных ТВ сигналов, мкВ, на нагрузке 75 Ом;  $U_0$  — опорное напряжение 1 мкВ, измеренное на нагрузке 75 Ом.

В условиях многопрограммного ТВ вещания чаще встречается режим асинхронной передачи синхросигналов. С учетом такой передачи МВУ, дБмкВ,

$$L'_{a N/1} = L_{a2/1} - 7,5 \lg (N-1). \quad (5.2.4)$$

Требуемое на практике значение МВУ, дБмкВ, определяют с учетом затухания от выхода усилителя до выхода абонентского отвода  $L_{a N/1} \geq L_{отв} + \alpha_d$ , где  $L_{отв}$  — уровень сигнала на выходе абонентского отвода, дБмкВ;  $\alpha_d$  — затухание линии ДРС, дБ. Максимальное значение коэффициента усиления (КУ) усилителя, дБ,  $G_a = L_{a N/1} - L_{с. вх. min}$ . В реальных условиях усилители с таким значением КУ требуются в ограниченном числе случаев. Обычно КУ усилителей для СКТП выбирают равным примерно половине максимального значения с регулировкой в пределах 10...15 дБ.

В системах с каскадным включением активных устройств рабочие уровни сигналов выбирают исходя из результирующих параметров линии, содержащей  $n$  усилительных участков (рис. 5.2.4), в которой входное

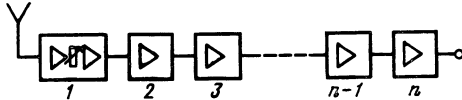


Рис. 5.2.4. Структурная схема линии, содержащей  $n$  усилительных участков

устройство представляет собой оборудование головной станции (СГ) с канальными усилителями или конверторами, а все последующие активные устройства выполнены в виде широкополосных усилителей, рассчитанных на усиление всех распределяемых по сети сигналов. В рассматриваемом случае рабочие уровни оборудования СГ регламентированы соответствующими ТУ на данные устройства, а уровни усилителей линейного тракта выбирают из условия обеспечения заданных значений ОСШ и нелинейных помех на выходе. При идентичности параметров усилителей и равенстве уровней на выходах  $(n-1)$  широкополосных усилителей, включенных в цепочку, в ТВ канале каждого из них значение МВУ, дБмкВ (рис. 5.2.5),

$$\begin{aligned} L'_{a N/n} &= 20 \lg (U'_{a N/n} / U_0) = \\ &= L_{a2/1} - 10 \lg (N-1) - 10 \lg (n-1), \end{aligned} \quad (5.2.5)$$

где  $U'_{a N/n}$  — максимальное напряжение несущей изображения в каждом ТВ канале на выходе каждого из усилителей, включенных в цепочку, мкВ;  $N$  — число распределяемых ТВ сигналов.

С учетом разброса и изменения уровней сигналов

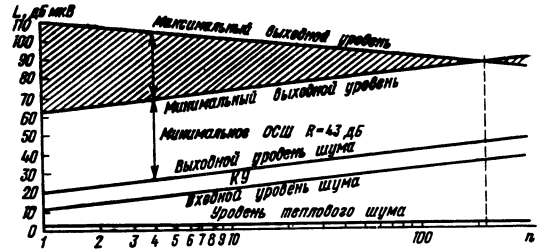


Рис. 5.2.5. Зависимости максимальных и минимальных выходных уровней усилителей и результирующей мощности шумов в линии, содержащей  $n$  усилительных участков, от числа участков при идентичных параметрах усилителей и численном равенстве КУ затуханию в отрезках кабелей

в процессе эксплуатации на выходе каждого из усилителей МВУ ТВ сигнала в канале, дБмкВ,

$$L_{a N/n} = L'_{a N/n} - 10 \lg \sigma_{л.ср}^2, \quad (5.2.6)$$

$$\text{где } \sigma_{л.ср}^2 = \left( \sum_{l=1}^n \sigma_{ylcp}^2 \right) / n; \quad \sigma_{ylcp}^2 = \left( \sum_{k=2}^N \sigma_{kl}^2 \right) / (N-1);$$

$$\sigma_{kl} = U_{с.к l} / U_{с.о N/n}; \quad U_{с.о N/n} = \sqrt{2} U'_{a N/n} / K_{yl};$$

$U_{с.к l}$  — возможная в реальных условиях амплитуда напряжения несущей изображения  $k$ -го ТВ канала на входе  $l$ -го усилителя,  $K_{yl}$  — коэффициент усиления  $l$ -го усилителя.

Иногда необходимо использовать домовые усилители с повышенными выходными уровнями. При этом у предшествующих магистральных усилителей линейного тракта МВУ, дБмкВ,

$$\begin{aligned} L_{a M N/n} &= L_{a2/1} - 10 \lg (N-1) - 10 \lg (n-2+p^2) - \\ &- 10 \lg \sigma_{л.ср}^2, \end{aligned} \quad (5.2.7)$$

где  $p = U_{a.д} / U_{a.м}$ ;  $U_{a.д} / U_{a.м}$  — максимальные выходные напряжения в ТВ канале соответственно домового и магистральных усилителей в используемом режиме.

При использовании в системе магистральных и домовых усилителей, характеризующихся разными допустимыми значениями максимальных выходных уровней, у магистральных усилителей, включенных в цепочку, МВУ, дБмкВ,

$$\begin{aligned} L_{a.м N/n} &= L_{a.м 2/1} - 10 \lg (N-1) - \\ &- 10 \lg (n-2+p^2 q^2) - 10 \lg \sigma_{л.ср}^2, \end{aligned} \quad (5.2.8)$$

где  $q = U_{a.м 2/1} / U_{a.д 2/1} \cdot U_{a.м 2/1}$ ;  $U_{a.д 2/1}$  — допустимые значения максимальных выходных напряжений магистрального и домового усилителей в режиме усиления сигналов двух ТВ каналов. В последних двух случаях МВУ домового усилителя, дБмкВ,

$$L_{a.д N/n} = L_{a.м N/n} + 20 \lg p.$$

Мощность шумов на выходе цепочки (см. рис. 5.2.4)

$$\begin{aligned} P_{ш \Sigma} &= [\dots ((P_{ш.н} + (Ш_{y1} - 1) P_{ш.т}) K_{M1} + \\ &+ P_{ш.ф1} + (Ш_{y2} - 1) P_{ш.т}) K_{M2} + P_{ш.ф2} + \dots \\ &\dots + (Ш_{yn} - 1) P_{ш.т}] K_{Mn} + P_{ш.ф n}, \end{aligned} \quad (5.2.9)$$

где  $P_{ш.н}$  — мощность шумов источника, выделяющаяся на входе усилителя (конвертора) СГ;  $P_{ш.ф} = k T_0 (1 - \eta_f) \Delta f$  — мощность тепловых шумов кабеля, соединяющего два соседних усилителя;  $\eta_f$  — КПД кабеля, соединяющего два соседних усилителя;  $Ш_{y1}, Ш_{y2} \dots Ш_{yn}$  — коэффициенты шума усилителей, включенных в цепочку;  $K_{M1}, K_{M2} \dots K_{Mn}$  — коэффициенты передачи по мощности усилительных участков от входа предыдущего усилителя до входа последующего.

Мощность шумов источника, выделяющаяся на входном сопротивлении усилителя (конвертора) СГ, при отсутствии антенного усилителя

$$P'_{ш.и} = kT_a' \Delta f, \quad (5.2.10)$$

где  $T_a' = T_a \eta_0 + T_0(1 - \eta_0)$  — шумовая температура эквивалентного двухполюсника, включенного на входе усилителя (конвертора) СГ;  $T_a$  — шумовая температура приемной антенны;  $\eta_0$  — КПД кабеля, соединяющего антенну со входом усилителя (конвертора) СГ (при наличии аттенюатора КПД определяется с учетом потерь в нем).

При установлении антенного усилителя непосредственно у антенны мощность шума

$$P''_{ш.и} = [kT_a \Delta f + (Ш_{y_0} - 1) P_{ш.т}] K_{м0} + (1 - \eta_0) P_{ш.т} = P_{ш.т} \left[ \left( \frac{T_a}{T_0} + Ш_{y_0} - 1 \right) K_{м0} + 1 - \eta_0 \right], \quad (5.2.11)$$

где  $Ш_{y_0}$  — коэффициент шума антенного усилителя;  $K_{м0}$  — коэффициент передачи по мощности от входа антенного усилителя до входа усилителя (конвертора) СГ (при наличии аттенюатора определяется с учетом потерь в нем). Значение шумовой температуры антенны можно оценить по графикам, приведенным на рис. 5.2.2. Если коэффициенты усиления усилителей численно равны затуханию в соответствующих отрезках кабелей ( $K_{м1} = K_{м2} = \dots = K_{мn} = 1$ ), а мощность шумов источника определяется только тепловым шумом  $P_{ш.т}$ , результирующая мощность шумов, Вт, на выходе цепочки  $P_{ш.з} \approx P_{ш.т} Ш_{y_n}$  или, дБмкВ

$$10 \lg (P_{ш.з} / P_0) = L_t + F_a + 10 \lg n. \quad (5.2.12)$$

Минимальный уровень сигнала на выходе цепочки (выходе наиболее удаленного абонентского отвода), при котором обеспечивается заданное значение ОСШ,

$$L_{отв. \min} = 10 \lg (P_{ш.з} / P_0) + R. \quad (5.2.13)$$

**5.2.3. Запаздывающие сигналы.** Из-за большого числа неоднородностей в линии комплексно оценить влияние запаздывающих сигналов сложно. В простейшем случае наличия двух неоднородностей, разделенных отрезком кабеля, допустимый уровень запаздывающего сигнала определяют с помощью графика рис. 5.2.6 [3].

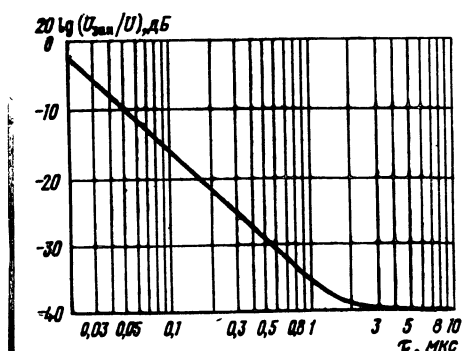


Рис. 5.2.6. Зависимость допустимого уровня запаздывающего сигнала от времени задержки

Из графиков рис. 5.2.7 следует, что наиболее жесткие требования по согласованию предъявляются при задержке запаздывающего сигнала 1...2 мкс, что соответствует длине кабеля  $l = 100 \dots 200$  м. В частности, при использовании кабеля РК-75-17-12 и его аналогов допустимое значение затухания несогласованности от каждой из неоднородностей равно 15 дБ на частотах первого ТВ канала и 12 дБ на частотах 12-го. Это со-

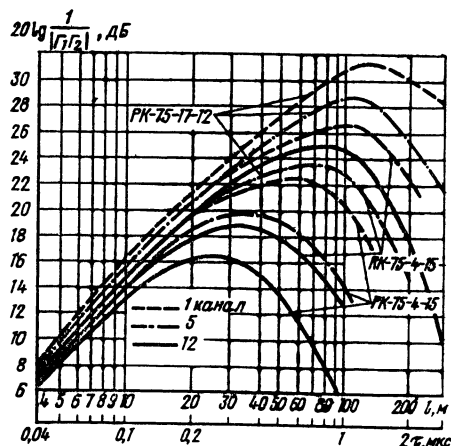


Рис. 5.2.7. Зависимости результирующего затухания несогласованности двух неоднородностей тракта, разделенных отрезком кабеля, от длины  $l$  этого отрезка

ответствует КСВ на концах кабеля около 1,4 в первом и 1,7 во втором случае. При наличии большего числа неоднородностей требования по согласованию ужесточаются. При определении допустимых значений затуханий несогласованности элементов системы с коаксиальным кабелем принимают во внимание следующие факторы.

Приведенный на рис. 5.2. график регламентирует допустимое относительное значение запаздывающего сигнала, при котором последний не заметен на изображении. По обобщенным результатам исследований [4] увеличение уровня запаздывающего сигнала примерно на 10 дБ по сравнению с данными графика рис. 5.2. приводит к незначительному ухудшению качества изображения (примерно на 0,5 балла при пятибалльной оценке). При наличии большого числа неоднородностей в тракте запаздывающие сигналы, как правило, складываются со случайными фазами, а это снижает мешающий эффект по сравнению со случаем их синфазного сложения. С учетом этого приемлемые значения затуханий несогласованности элементов системы с коаксиальным кабелем оказываются на 2...4 дБ выше значений, допустимых при включении двух неоднородностей (рис. 5.2.7). В РС запаздывающие сигналы возникают

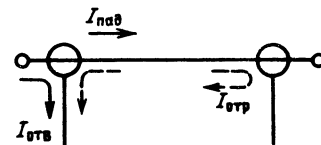


Рис. 5.2.8. К объяснению возникновения запаздывающих сигналов в кабелях при однократном отражении

из-за неоднородностей самого кабеля. Образующиеся при этом попутные потоки характеризуются наличием большого числа составляющих сигнала с весьма малыми амплитудами. В линиях большой протяженности эти составляющие могут ухудшить параметры распределяемых сигналов. Для исключения их влияния в СКТ необходимо использовать коаксиальные кабели с высокой однородностью волнового сопротивления. Возможным вариантом возникновения попутных потоков в РС является проникновение однократно отраженного сигнала в отвод через НО (рис. 5.2.9). Для устранения их влияния при делении мощности используют НО, обладающие разными значениями переходных ослаблений в отводах для падающей и отраженной волн. Такое свойство НО характеризуется коэффициентом направленно-

сти  $K_n$ , определяемых разностью в децибелах переходных ослаблений для отраженной и падающей волн. Приемлемыми являются значения  $K_n$ , численно равные допустимому значению затухания несогласованности элементов системы с кабелем ( $K_n = 12 \dots 18$  дБ).

### 5.3. Антенны

**5.3.1. Требования к приемным антеннам.** Интенсивность запаздывающих сигналов в точке приема обусловлена отражениями ЭМ в тракте распространения. Запаздывание определяется разностью хода прямого и отраженного лучей. Постоянному значению времени запаздывания соответствует положение отражающих объектов на поверхности эллипсоида вращения, фокусы которого совпадают с точками  $O_1$  и  $O_2$  приема и передачи. Параметры эллипса (рис. 5.3.1), получающегося

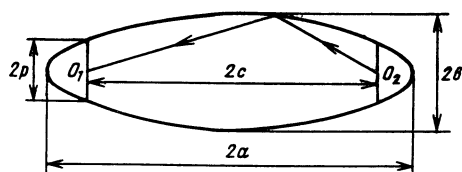


Рис. 5.3.1. К определению времени запаздывания сигналов в тракте распределения ЭВМ

при сечении эллипсоида вращения плоскостью, проходящей через точки  $O_1$  и  $O_2$ , связаны с разностью хода лучей  $\Delta l = 2a - 2c = 2a[1 - \sqrt{1 - p/a}]$ , где  $p = b^2/a$  — фокальный параметр эллипса. При интересных для практики значениях  $\Delta l \ll 2c$  участок эллипса около точки приема, наиболее опасный в отношении отражений, близок к параболе. Участок эллипса, близкий к передающей точке, менее опасен с точки зрения отражений, так как передающая антенна высоко поднята и обычно имеет сравнительно узкий главный лепесток в вертикальной плоскости, вследствие чего близлежащие здания освещены относительно слабо. Если источником отражения служит плоская поверхность, касательная к поверхности параболоида (рис. 5.3.2), то напряжен-

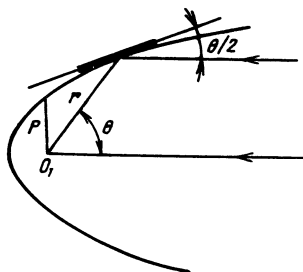


Рис. 5.3.2. К определению напряженности поля отраженного сигнала в точке приема

ность поля сигнала в точке приема, отраженного этой поверхностью,  $E_{отр} = ED2SA \sin^2(\theta/2)/p\lambda$  [5], где  $E$  — напряженность поля прямого сигнала на отражающей поверхности;  $S$  — площадь отражающей поверхности;  $p$  — параметр параболоида;  $\theta$  — угол, под которым находится отражающая поверхность относительно направления прихода прямого сигнала;  $D$  — ослабление отраженного сигнала при распространении в реальных условиях по сравнению со свободным пространством;  $A$  — коэффициент отражения электромагнитного поля от отражающей поверхности.

Коэффициент  $A$  зависит от длины волны  $\lambda$ , угла  $\theta$ , формы и материала отражающей поверхности. Для

современных зданий с плоскими стенами из бетона с высокой плотностью арматуры коэффициент  $A \approx 0,5$  для углов падения  $\theta/2 \approx 90^\circ$ . Коэффициент  $D \approx 1$ , когда на трассе отраженного сигнала нет существенного затенения первой зоны Френеля. Для заданного отношения  $U_{зап}/U$  (см. рис. 5.2.6, а) на входе допустимое значение отражающей поверхности

$$SABCD/\lambda = U_{зап}p/U2\sin^2(\theta/2), \quad (5.3.1)$$

где  $B$  — защитное действие антенны по напряжению в направлении прихода отраженного сигнала;  $C$  — отношение напряженностей поля радиопередающей станции на отражающей поверхности и в точке приема. При расстояниях между точкой приема и отражающей поверхностью, много меньших расстояния до передающей антенны,  $C \approx 1$ . Из кривых рис. 5.3.3, получаемых на

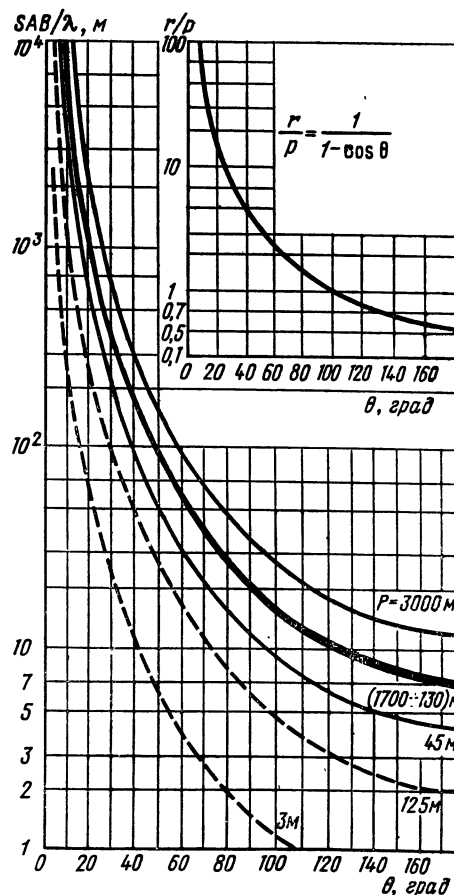


Рис. 5.3.3. Зависимости допустимых размеров отражающей поверхности от угла приема  $\theta$  ( $r$  — расстояние между точками отражения и приема)

основании (5.3.1), следует, что наибольшую опасность представляют отражающие поверхности, расположенные в заднем полупространстве приемной антенны ( $\theta > 90^\circ$ ). В этой области допустимые значения  $SABCD/\lambda$  снижается примерно до 7 м при  $\theta \approx 180^\circ$  и  $p = 130 \dots 1700$  м. Это означает, что в случае применения ненаправленной антенны ( $B = 1$ ) и при  $C = 1$ ,  $D = 1$  на расстояниях  $r = 65 \dots 850$  м за антенной не должно быть отражающих поверхностей с  $A = 0,5$  и площадью, большей 84 м<sup>2</sup>, при приеме на частоте  $f = 50$  МГц, 21 м<sup>2</sup> — при  $f = 200$  МГц и 7 м<sup>2</sup> при  $f = 600$  МГц.

Допустимый уровень боковых и задних лепестков приемной антенны, дБ,

$$\xi \leq L_{\text{доп}} - L_{\text{отр}}, \quad (5.3.2)$$

где  $L_{\text{доп}} = 20 \lg(U_{\text{зап}}/U)$  — допустимый относительный уровень запаздывающих сигналов, определяемый по графику рис. 5.2.6;  $L_{\text{отр}}$  — относительный уровень отраженного сигнала в месте расположения антенны.

Для случаев, представляющих практический интерес ( $L_{\text{доп}} = -40$  дБ) и при относительном уровне отраженных сигналов, не превышающем  $-(10 \dots 14)$  дБ, уровень боковых и задних лепестков антенн согласно (5.3.2) не должен превышать  $-(26 \dots 30)$  дБ. Создать антенну в метровом и дециметровом диапазонах с указанными значениями уровней боковых и задних лепестков достаточно трудно. Поэтому в простейших СКТП используют антенны с уровнем боковых и задних лепестков  $-(10 \dots 15)$  дБ. Для антенн крупных СКТП и СКТ данный параметр нормируется в пределах  $-(20 \dots 25)$  дБ. Если по условиям приема с помощью таких антенн не удастся получить сигнал требуемого качества, то необходимо изыскать другие места установки антенн, а при необходимости использовать более сложные антенные устройства, реализуемые на базе имеющихся антенн.

Требования к значениям КУ антенн определяют из условия обеспечения необходимых уровней сигналов на входе распределительной сети в зоне уверенного приема. Согласно [6] для приемных ТВ антенн регламентируются значения коэффициентов усиления (табл. 5.3.1).

Таблица 5.3.1. Рекомендуемые значения приемных ТВ антенн в зоне уверенного приема

Диапазон частот	I	II	III	IV	V
Коэффициент усиления, дБ	4	4,5	8	10	10
Минимальная напряженность ЭМ поля, дБ, относительно 1 мкВ/м	50	54	57	70	70

В антеннах нормируется также параметр, характеризующий согласование выходного сопротивления с 75-омным кабелем. Допустимое значение этого параметра определяется на основании соображений, изложенных в п. 5.2.3, и соответствует норме, если КСВ со стороны выхода антенны не превышает 2.

**5.3.2. Антенны для СКТП.** Предъявляемые требования выполняются путем создания номенклатуры антенн, каждая из которых обеспечивает прием в полосах одного или нескольких ТВ каналов. Наиболее широкое

применение нашли антенны «волновой канал» с активным петлевым полуволновым вибратором. Коаксиальный кабель к антенне подключают с помощью симметрирующе-согласующего устройства (ССУ), обеспечивающего переход от симметричного вибратора с сопротивлением 300 Ом к несимметричному с 75 Ом. В антеннах метрового диапазона широко применяют ССУ на свернутых связанных линиях, намотанных на кольцевые ферритовые сердечники (рис. 5.3.4). При волновом сопротивлении линий по противофазной волне примерно 150 Ом и существенно большем значении сопротивления по синфазной волне, что достигается использованием ферритовых сердечников, ССУ обеспечивает симметрирование и согласование в (4—5)-кратном диапазоне частот. Это позволяет использовать однотипное ССУ для всех антенн метрового диапазона волн.

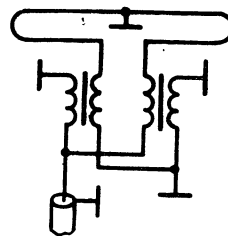


Рис. 5.3.4. Принципиальная схема ССУ на свернутых связанных линиях

В дециметровом диапазоне ССУ выполняется из полуволновой спиральной линии, расположенной над экраном и включенной в одно из плеч петлевого вибратора антенны (рис. 5.3.5). Параметры антенн для СКТП приведены в табл. 5.3.2.

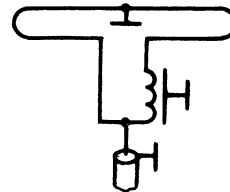


Рис. 5.3.5. Принципиальная схема ССУ с полуволновой спиральной линией

**5.3.3. Антенны для КСКТП и СКТ.** Основным преимуществом антенн для КСКТП и СКТ является меньший уровень боковых и задних лепестков ДН, что в метровом диапазоне обеспечивается путем использования номенклатуры антенн, каждая из которых предназначена для работы в полосе одного ТВ канала. Для улучшения помехозащищенности в них применен трехэлементный резонансный рефлектор, в котором средний

Таблица 5.3.2. Параметры антенн для СКПТ

Вариант антенны, ТВ диапазоны	Номер рабочего канала	Среднее значение КУ относительно полуволнового вибратора, дБ	Помехозащищенность, дБ, не более	КСВ, не более	Ширина ДН в горизонтальной плоскости на уровне $-3$ дБ, град
Канальные I, II	1,2,3,4,5	5	-12	2	70; 70; 70; 60; 60
Канальные III	6,7,8,9,10,11,12	8	-14	1,7	50
Двухканальные I, II	1,3; 1,5; 2,3; 2,4; 3,5	4	-9	2	70; 65; 65; 65; 65
Диапазонная III	6...12	5	-12	1,7	45...55
Широкополосная IV, V	21...41	9...11,5	-14	1,7	40...50

Таблица 5.3.3. Параметры одиночных антенн для КСКПТ

Вариант антенны, ТВ диапазон	Номер рабочего канала	Среднее значение КУ относительно полуволнового вибратора, дБ	Помехозащищенность, дБ, не более	КСВ, не более	Ширина ДН в горизонтальной плоскости по уровню -3 дБ, град
Канальные, I и II	1,2...5	5	-20	1,7	55
Канальные, III	6,7...12	8	-24	1,4	35...40
Антенна, 470...638 МГц	21,22...41	9...11,5	-(20...30)	1,7	45...60
Антенна, 638...790 МГц	42,43...60	9...12	-(20...30)	1,7	45...55
Антенна, IV—V, (470...790) МГц	21,22...60	8,5	-18	1,7	45...55
Антенна ЧМ вещания, 66...73 МГц	—	5	-20	1,7	65
Сдвоенные каналные I и II	1,2...5	8	-(20...22)	1,5	32
Сдвоенные каналные, III	6,7...12	11	-24	1,5	28
Сдвоенные, IV—V	21,22...60	11...13,5	-(20...30)	1,5	26

элемент укорочен по отношению к верхнему и нижнему элементам одинаковой длины. В дециметровом диапазоне помехозащищенность улучшается использованием аperiodического рефлектора соответствующей формы. Параметры одиночных антенн для которой приведены в табл. 5.3.3. Для повышения эффективности приема используют решетки из двух или более одиночных антенн (рис. 5.3.6), сфазированные так, что угол,

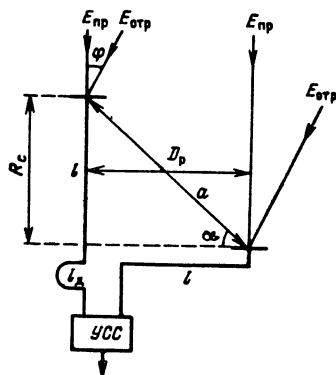


Рис. 5.3.6. К объяснению метода подавления отраженных сигналов с помощью решетки из двух антенн

соответствующий нулевому значению результирующей ДН, совпадает с углом прихода отраженного сигнала. В данной решетке устройства сложения сигналов в метровом диапазоне выполняют в виде трехдецибельного моста с бифилярной намоткой на ферритовом сердечнике (рис. 5.3.7, а), а в дециметровом — в виде трехдецибельного полоскового НО (рис. 5.3.7, б).

Для решетки из двух антенн со сдвигом (рис. 5.3.8) при совпадении максимума множителя ком-

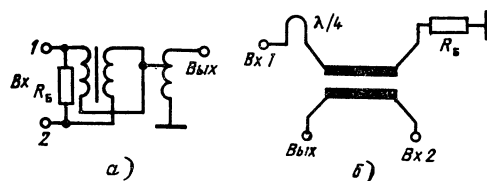


Рис. 5.3.7. Принципиальные схемы трехдецибельных устройств сложения сигналов: а — мост на ферритовых сердечниках (метровый диапазон); б — НО (дециметровый диапазон)

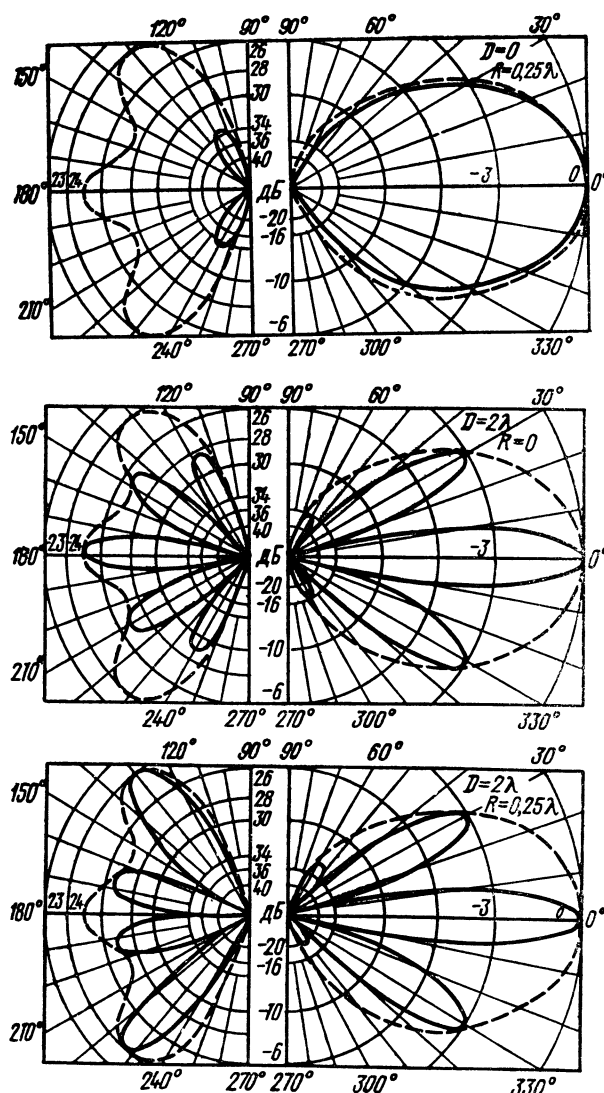


Рис. 5.3.8. Расчетные ДН сфазированной в главное направление решетки из двух антенн ТВ канала 1 (сплошная линия). Экспериментальные ДН одиночной антенны ТВ канала 1 (штриховая линия)



бинирования с главным направлением ДН в горизонтальной плоскости [7]

$$F(\varphi) = F_1(\varphi) \cos[(2\pi a/\lambda) \sin(\varphi/2) \cos(\varphi/2 - \alpha)],$$

где  $F_1(\varphi)$  — нормированная ДН одиночной антенны.

Места установки антенн решетки со сдвигом определяют в следующей последовательности. На кровле здания устанавливают антенны с первоначальным сдвигом  $R_c \approx \lambda/4$  и разном  $D_p \approx \lambda/2$  (см. рис. 5.3.6). Длину кабелей снижения выбирают из условия синфазного сложения сигналов, принимаемых с главного направления ( $l_d \approx R_c$ ). По изображению на экране телевизора, подключенного к выходу устройства сложения, определяют разнос  $D_p$  между антеннами (без изменения сдвига  $R_c$ ), соответствующий наилучшему качеству принимаемого сигнала. Если при указанных условиях не удастся получить желаемого результата, сдвиг между антеннами увеличивают примерно на  $\lambda/4$  и повторяют описанные операции.

При проведении изысканий для регулировки амплитудно-фазовых соотношений принимаемых сигналов в трактах снижения необходимо иметь переменные аттенюаторы с шагом 1 дБ и устройства с регулируемой электрической длиной, которую можно изменять с шагом, не превышающим  $1/30\lambda$ .

## 5.4. Входные усилительно-преобразовательные устройства

**5.4.1. Оборудование для СКТП.** Для реализации систем разной категории сложности применяют номенклатуру входных устройств с различными функциональными возможностями. В простейших СКТП, каждая из которых рассчитана на обслуживание примерно до сотни абонентов, используют комплекс ТВ оборудования унифицированного (ОТУ), в состав которого входят каналные и диапазонные усилители метрового диапазона волн и дециметровый конвертор. Блоки ОТУ комплектуют такими усилителями в зависимости от конкретных условий в различных сочетаниях. Канальные усилители предпочтительны, когда число принимаемых программ не превышает 2—3, при большем числе экономически более оправдано применить диапазонные усилители. С канальными усилителями ОТУ используют также в тех случаях, когда по условиям приема требуется раздельная регулировка уровней принимаемых сигналов. Параметры канальных и диапазонных усилителей, входящих в состав ОТУ, приведены в табл. 5.4.1 и 5.4.2.

Таблица 5.4.1. Параметры канальных усилителей

Параметр	Номер канала	
	1—5	6—12
Коэффициент усиления на средней частоте канала, дБ, не менее	36	30
Неравномерность частотной характеристики в полосе частот канала, дБ, не более	1,5	1,5
КСВ, измеренный на входе и выходе усилителя в полосе частот канала, не более	1,7	1,7
Коэффициент шума, дБ, не более	5	9
Избирательность при расстройке на $\pm 8$ МГц от границ полосы усиливаемого канала, дБ, не менее	20	20
Максимальный выходной уровень в ТВ канале, дБмкВ, не менее	110	103
Потребляемая мощность, В·А, не более	1	1

Таблица 5.4.2. Параметры диапазонных усилителей

Параметр	ТВ диапазон	
	I, II	III
Коэффициент усиления, дБ, не менее	24	24
Неравномерность АЧХ, дБ, не более:		
в рабочей полосе частот	3	3
в полосе одного канала	1	1
КСВ, не более	2	2
Коэффициент шума, дБ, не более	8	9
Максимальный выходной уровень в ТВ канале в режиме усиления радиосигналов двух ТВ каналов, дБмкВ, не менее	106	106
Потребляемая мощность, В·А, не более	2	2

Сигналы дециметрового диапазона принимают с помощью конвертора, имеющегося в составе ОТУ. Частоты этих сигналов переносят в полосу одного из свободных в данной местности ТВ каналов метрового диапазона волн, что позволяет значительно сократить полосу частот, используемую в РС, и обеспечить возможность приема сигналов, передаваемых в дециметровом диапазоне, на телевизоры с селекторами каналов метрового диапазона волн.

### Параметры конверторов

Коэффициент усиления на средней частоте канала, дБ	30±5
Неравномерность АЧХ в полосе частот канала, дБ, не более	2
КСВ на входе и выходе конвертора в полосе частот $\pm 4$ МГц относительно средней частоты полосы пропускания, не более	1,7
Избирательность по зеркальному каналу, дБ, не менее	50
Коэффициент шума, дБ, не более	12
Нестабильность частоты гетеродина при изменении температуры в пределах 1...40°С относительно номинального значения, измеренного при температуре 20°С, кГц, не более	250
Мощность гетеродина, проникающая на вход конвертора, мкВт, не более	0,05
Напряженность поля радиосигнала от излучения гетеродина конвертора на расстоянии 3 м, дБмкВ/м, не более	66
Потребляемая мощность, В·А, не более	1,5

Схема и конструкция конвертора позволяют настраивать его в процессе производства на любые заданные сочетания каналов, за исключением несовместимых (табл. 5.4.3).

Все рассмотренные устройства предназначены для работы в едином сборочном корпусе в сочетаниях, определяемых конкретными условиями. Для питания устройств используют общий источник, входящий в состав этого оборудования.

Сигналы I, II ТВ диапазонов с сигналами III ТВ диапазона складываются в оборудовании с помощью устройства сложения, состоящего из ФНЧ и ФВЧ.

### Параметры устройства сложения

Затухание, вносимое в полосах пропускания, дБ, не более	0,5
Затухание, вносимое в полосах заграждения, дБ, не менее	20
КСВ со стороны входа и выхода в полосах пропускания, не более	1,25

Таблица 5.4.3. Сочетания каналов при преобразовании частот с помощью конвертора НТК

Номер ТВ канала приема	Номер ТВ канала распределения										
	1	...	5	6	7	8	9	10	11	12	
21						⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	
22						⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	
23								⊗	⊗	⊗	
24									⊗	⊗	
25										⊗	
26											
27				×				⊗			
28				×							
29				×							
30				×	×						
31					×						
32					×						
33					×	×					
34						×					
35						×					
36						×	×				
37							×				
38							×				
39							×	×			
40								×			
41								×			

X — сочетание недопустимо, ⊗ — сочетание нежелательно.

При совместной работе канальных усилителей, полосы пропускания которых находятся в пределах I, II или III ТВ диапазонов, можно параллельно включать входы и выходы усилителей. При частотном зазоре между рабочими полосами 8 МГц (ширина полосы одного ТВ канала) сигналы складываются и разделяются с помощью блоков канальных фильтров (табл. 5.4.4). Включение данных фильтров на входе приемных устройств оказывается полезным при наличии в точке приема мешающих сигналов с высоким напряжением.

**5.4.2. Оборудование для КСКТП и СКТ.** В системах с числом абонентов от нескольких сотен до нескольких тысяч (обычно не более 2) используют приемное оборудование серии СГ-100, обладающее большими функциональными возможностями. В частности,

Таблица 5.4.4. Параметры канальных фильтров

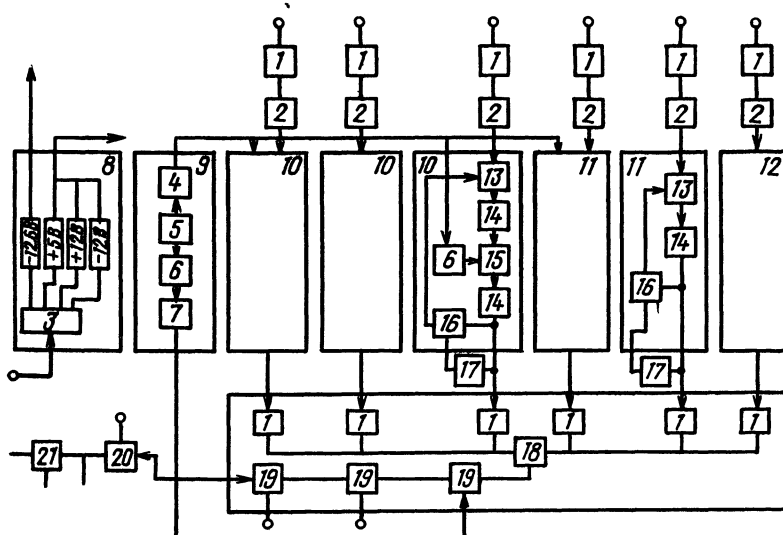
Параметр	Номер ТВ канала	
	1—5	6—12
Потери в полосе пропускания, дБ, не более	1	2
КСВ со стороны входа и выхода в полосе ТВ канала, не более	1,7	1,7
Избирательность на частотах, отстоящих на 8 МГц от границ полосы пропускания, дБ, не менее	28	25

оно позволяет преобразовать сигналы по частоте каналов как дециметрового, так и метрового диапазонов, а также имеет АРУ по каждому принимаемому каналу. Гетеродины конверторов оборудования серии СГ-100 содержат систему фазовой синхронизации (СФС) по опорному кварцевому генератору, что обеспечивает весьма высокую стабильность частоты гетеродина. По схеме рис. 5.4.1 можно проследить работу СГ-100. Принятый антенной сигнал поступает на вход соответствующего полосового фильтра и затем через сменный аттенуатор подается на управляемый аттенуатор 13, выполненный на  $p-i-n$ -диодах. Выход аттенуатора подключен к усилителю принимаемого сигнала. После предварительного усиления сигнал поступает на преобразователь частоты 15, куда вводится также напряжение гетеродина, вырабатываемое синтезатором частоты 6. В гетеродине используется СФС, которая работает по опорному напряжению с частотой 125 кГц, поступающему от опорного генератора 9. Для обеспечения ее работы в составе СЧ предусматривают делитель частоты с коэффициентом деления, выбранным так, чтобы при номинальной частоте гетеродина частота следования импульсов на выходе делителя равнялась опорной. Напряжение опорной частоты формируется блоком генераторного оборудования 9 путем деления на 8 частоты 1 МГц, на которую настроен задающий кварцевый генератор. Достоинством данного технического решения является простота перестройки гетеродина при реализации конверторов с различными сочетаниями каналов. При этом можно лишь включением соответствующих перемычек изменить коэффициент деления синтезатора частот 6 конвертора и перестроить его генератор с помощью подстроечных элементов.

В оборудовании серии СГ-100 предусмотрена АРУ, обеспечивающая постоянство выходного уровня в пределах  $\pm 1,5$  дБ относительно номинального уровня при изменении входного уровня в пределах  $70 \pm 10$  дБмкВ. Цепь АРУ используют также для индикации уровня входного сигнала, осуществляемой с помощью светодiodов. В комплект устройств СГ наряду с конверторами входят канальные ТВ усилители 11 метрового диапазона и усилитель ОВЧ ЧМ вещания. Принципиально эти устройства не отличаются от соответствующих узлов конверторов. Основное отличие такого усилителя от ТВ усилителя заключается в отсутствии АРУ. В состав оборудования серии СГ-100 входит генератор пилот-сигнала, вырабатывающий опорное напряжение с частотой 110 МГц, используемое для работы АРУ магистральных усилителей.

В зависимости от числа принимаемых ТВ каналов оборудование серии СГ-100 выпускают в трех вариантах: СГ-115, СГ-114 и СГ-113 (соответственно на 5, 4 и 3 ТВ канала). Вариант исполнения оборудования (сочетания каналов в конверторах) выбирают для каждой зоны ТВ вещания по согласованию с компетентными организациями, планирующими частоты. При этом для исключения помех принимают во внимание следующие факторы: ТВ радиосигналы по сети не

Рис. 5.4.1. Структурная схема оборудования серии СГ-100 (1 — каналный фильтр; 2 — аттенуатор; 3 — трансформатор; 4 — делитель частоты; 5 — задающий кварцевый генератор 1 МГц; 6 — синтезатор частот; 7 — цепь автоматической регулировки амплитуды; 8 и 9 — блоки питания генераторного оборудования; 10 — ТВ конвертор; 11 — блок канального усилителя; 12 — блок усилителя ЧМ вещания; 13 — электронный аттенуатор; 14 — усилитель канальный; 15 — преобразователь частоты; 16 — цепь АРУ; 17 — индикатор входного уровня; 18 — устройство сложения сигналов; 19 — направленный ответвитель; 20 — устройство ввода питания; 21 — ответвитель магистральный)



должны распределяться в соседних каналах; при настройке телевизоров, подключенных к сети, на любой из каналов распределения частоты их гетеродинов не должны попадать в полосы других каналов распределения; каналы должны сочетаться так, чтобы полосы принимаемых частот не были для используемых в данной местности конверторов зеркальными по отношению друг к другу; частоты гетеродинов конверторов не должны попадать в полосы частот каналов приема и распределения; для сохранения взаимного положения несущих изображения и звука при транспонировании сигнала по частотному диапазону вниз, частота гетеродина должна быть ниже частоты принимаемого сигнала; необходимо исключить возможность появления в ТВ каналах помех, обусловленных наличием в сети сигналов ОВЧ ЧМ вещания и проникновением на входы телевизоров напряжений, создаваемых гетеродинами ЧМ приемников; уровни комбинационных помех, создаваемых конверторами в используемых каналах распределения, не должны превышать допустимых защитных отношений. Для этого при использовании оборудования серии СГ-100 следует руководствоваться данными табл. 5.4.5.

Таблица 5.4.5. Сочетания каналов при преобразовании частот оборудования серии СГ-100

Входной канал	Выходной канал											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	×	×	×		×					×		
2	×	×		×		×	×					
3	×	×	×	×				×				
4	×	×	×	×	×	×	×					
5	×	×	×	×	×		×	×	×			
6		×	×	×	×	×	×					
7		×		×	×	×	×	×				
8					×		×	×	×			

Продолжение табл. 5.4.5

Входной канал	Выходной канал											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9					×			×	×	×		
10									×	×	×	
11										×	×	×
12											×	×
21												
22								×				
23												
24												
25												
26												
27						×				×		
28						×						
29						×						
30						×	×					
31							×					
32							×					×
33							×	×				
34								×				
35								×				

Окончание табл. 5.4.5

Входной канал	Выходной канал											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36								×	×			
37									×			
38									×			
39									×	×		
40										×		
41										×		

X — сочетание недопустимо.

При выборе каналов распределения в условиях многопрограммного вещания необходимо учитывать ограничения, указанные в табл. 5.4.6. Параметры оборудования серии СГ-100 приведены в табл. 5.4.7.

Конструктивно оборудование станции реализовано в блочно-модульном исполнении, предназначенном для установки в отапливаемых помещениях (лестничные клетки, чердаки и т. п.). Входы станции подключают к антеннам с помощью 75-омных коаксиальных кабелей диаметром по внутренней изоляции 4 мм, выход рассчитан на подключение 75-омного коаксиального кабеля диаметром по внутренней изоляции 17 или 11 мм.

При создании систем с числом абонентов около

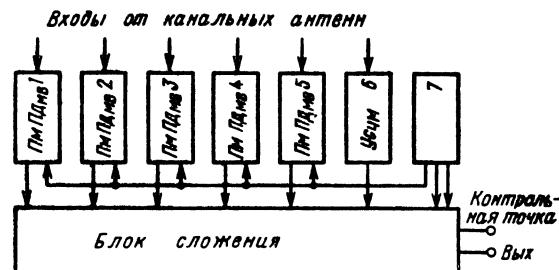


Рис. 5.4.2. Структурная схема оборудования головной станции серии СГ-200 (1—4 — приемопередатчики метровых волн; 5 — дециметровых; 6 — усилитель ЧМ сигналов; 7 — генератор опорной частоты)

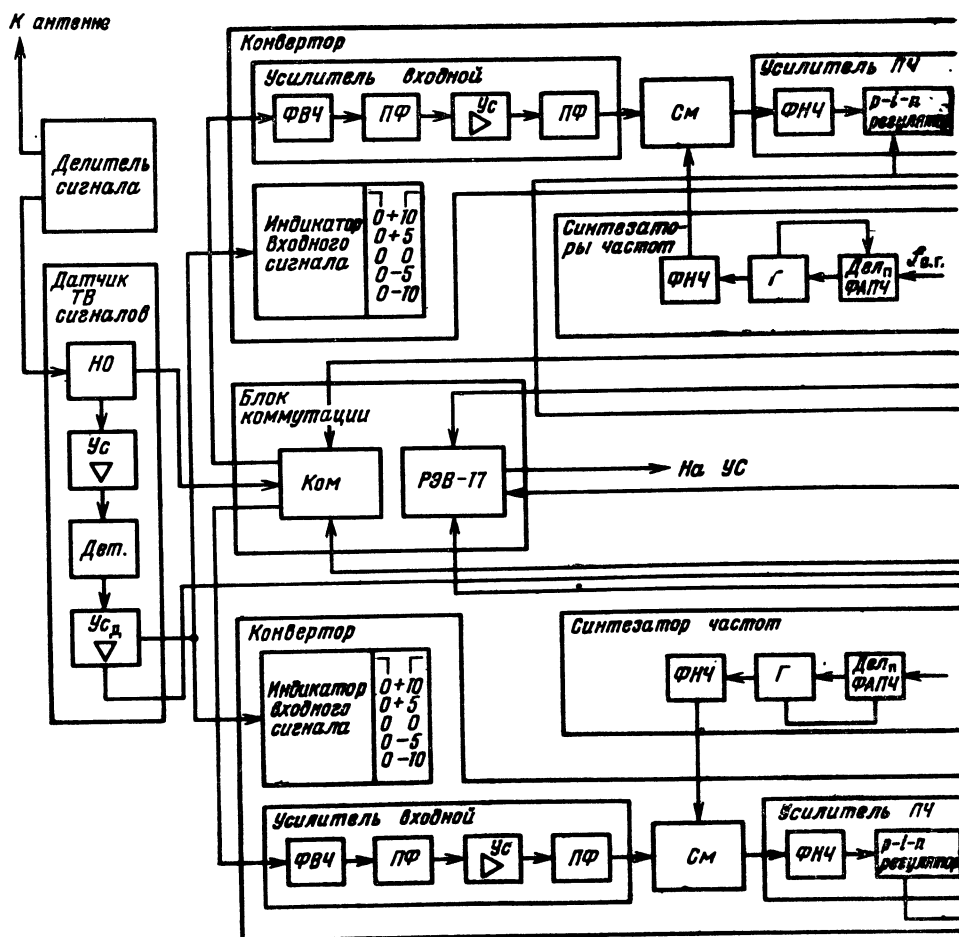
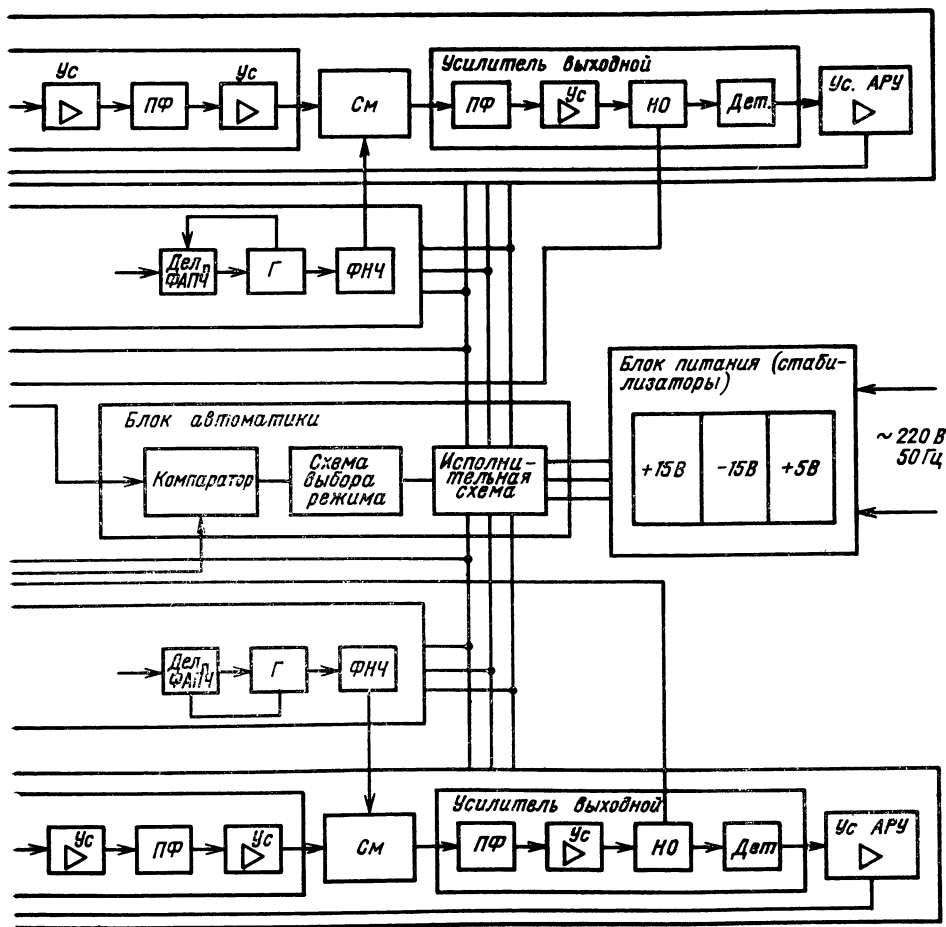


Рис. 5.4.3. Структурная схема приемопередатчика

10 000 и более используют приемное оборудование серии СГ-200, преимуществом которого по сравнению с оборудованием серии СГ-100 является наличие автоматического резервирования основных блоков станции, возможность работы в дежурном режиме при отсутствии в эфире принимаемых сигналов, а также улучшенные по сравнению с оборудованием серии СГ-100 электрические характеристики (табл. 5.4.7).

Как видно из схем рис. 5.4.2 и 5.4.3, сигнал с выхода антенны поступает через согласованный аттенюатор на вход НО, с отвода которого часть мощности подается на вход датчика сигнала, управляющего работой индикатора входного сигнала и компаратора. Последний формирует команды на включение блоков приемопередатчика. При наличии входного сигнала и работоспособности всей станции блок автоматики обеспечивает прохождение принимаемого сигнала по основному тракту. В этом случае сигнал через диодный коммутатор поступает на вход основного конвертора, в котором частоты принимаемого сигнала переносятся в полосу промежуточных частот 31,25...39,25 МГц. В тракте ПЧ включен фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ), который обеспечивает высокую избирательность приемопередатчиков по соседнему каналу. Во втором смесителе спектр

транспонируется в полосу канала распределения. С выхода смесителя сигнал поступает на выходной усилитель, в котором усиливается до необходимого уровня, и через реле блока коммутации подается на устройство сложения. Двойное преобразование по частоте спектра сигнала осуществляется с помощью двух гетеродинов, охваченных петлями СФС, работающей на единой для всей станции опорной частоте 31,25 кГц. Сигнал опорной частоты получают делением частоты 1 МГц задающего кварцевого генератора. Кроме гетеродинов конверторов по опорной частоте синхронизируются два пилот-сигнала с частотами 110 и 235 МГц, используемые для автоматической регулировки усиления и наклона АЧХ усилителей линейного тракта (АРУ и Н). Все блоки станции конструктивно размещены в стандартной стойке — базовой несущей конструкции «База-2». Станцию выпускают в трех исполнениях: СГ-215, СГ-214, СГ-213 (соответственно на 5, 4 и 3 ТВ канала). Варианты исполнений приемопередатчика выбирают для каждой зоны ТВ вещания по согласованию с компетентными организациями, осуществляющими планирование частот. При этом принимают во внимание изложенные выше соображения для оборудования серии СГ-100 без учета ограничений табл. 5.4.5.



головной станции СГ-200

Таблица 5.4.6. Сочетание каналов при многопрограммном преобразовании частот оборудования серии СГ-100

Каналы	1	2	3	4	8	6	7	8	9	10	11	12	Диапазон ОВЧ ЧМ вещания
1	×	×		×									
2	×	×			×								×
3			×	×									×
4	×		×	×	×								
5		×		×	×								
6						×	×			×			
7						×	×	×			×		
8							×	×	×			×	
9								×	×	×			
10						×			×	×	×		
11							×			×	×	×	
12								×			×	×	
Диапазон ОВЧ ЧМ вещания	×	×											×

X — сочетание недопустимо.

Таблица 5.4.7. Параметры оборудования серии СГ-100

Параметр	СГ-100	СГ-200
Число ТВ каналов приема в I—V ТВ диапазонах	5: 4; 3	5; 4; 3
Входной уровень, дБмкВ	60...120	60...120
Выходные уровни сигналов, дБмкВ:		
ТВ каналов	106±3	114±3
ОВЧ ЧМ вещания	100±3	108±3
пилот-сигналов	96±3	104±3
Отношение сигнала к помехам комбинационных частот третьего порядка при номинальных выходных уровнях, дБ, не менее:		
в ТВ каналах $IMA_{III(K)}$	60	66
в диапазоне ОВЧ ЧМ вещания $IMA_{III(B)}$	60	66
Коэффициент шума в ТВ диапазонах:		
I—III	10	8
IV—V	12	10
Коэффициент шума в диапазоне ОВЧ ЧМ вещания, дБ, не более	8	8
КСВ в рабочей полосе частот со стороны входа (выхода), не более	1,6	1,35
Избирательность по ближайшему несмежному каналу в ТВ диапазонах, дБ, не менее:		
I—III	40	50

Окончание табл. 5.4.7.

Параметр	СГ-100	СГ-200
IV—V	30	40
Неравномерность АЧХ в рабочей полосе частот, дБ, не более	1,5	1,5
Отклонение выходного уровня от номинального значения при изменении входного уровня в пределах 60...80 дБмкВ, дБ, не более	1,5	1,5
Отношение сигнала к помехам побочных частот на выходе станции, дБ, не менее	46	46
Потребляемая мощность при номинальном напряжении сети, В·А	60	300
Габаритные размеры, мм	630× ×480× ×240	500× ×540× ×1800

## 5.5. Оборудование линейных трактов

**5.5.1. Усилители.** При создании РС используют широкую номенклатуру усилителей (табл. 5.5.1). Следует учитывать, что усилители серии 100 предназначены для реализации линий протяженности не более 1,5 км, а серии 200 — большей. Допускается совместное включение в магистральных линиях усилителей серии 200, а в субмагистральных — серии 100. Параметры усили-

Таблица 5.5.1. Номенклатура усилителей устройств тракта

Усилитель	Тип	Отличительные характеристики	
		Напряжение питающей сети, В	Число выходов
Серия 100			
Магистральный	УМ-101/60*	30... 60	1
	УМ-101/220	220	1
	УМ-111/60*	30... 60* <sup>2</sup>	1
	УМ-111/220	220* <sup>2</sup>	1
Домовый	УД-101	220	1
Серия 200			
Магистральный	УМ-201/60*	30... 60	1
	УМ-202/60*	30... 60	2
	УМ-201/220	220	1
	УМ-202/220	220	2
	УМ-221/60*	30... 60* <sup>3</sup>	1
	УМ-222/60*	30... 60* <sup>3</sup>	2
	УМ-221/220	220* <sup>3</sup>	1
	УМ-222/220	220* <sup>3</sup>	2
Домовый	УД-201	220	1

\* Напряжение питающей сети подается дистанционно по магистральному коаксиальному кабелю; \*<sup>2</sup> Предусматривается АРУ; \*<sup>3</sup> Предусматривается АРУ и Н.

телей приведены в табл. 5.5.2. Как видно из схемы рис. 5.5.1, сигнал подается на вход широкополосного усилителя 5 через последовательно включенные контрольный ответвитель 1, сменный аттенюатор 2, выравниватель 3 и электронный аттенюатор 4. С выхода широкополосного усилителя сигнал через контрольный ответвитель 7 поступает на выход устройства. Предусмотрена АРУ, которая работает по пилот-сигналу с частотой 110 МГц, вводимому в линию с выхода головной станции. Напряжение пилот-сигнала поступает с выхода на блок АРУ 8, где детектируется и усиливается. Полученное напряжение служит для управления электронным аттенюатором 4. В усилителях серии 100 без АРУ аттенюатор 4 используют для ручной плавной регулировки усиления. При включении усилителя в линию уровни сигналов регулируют с помощью

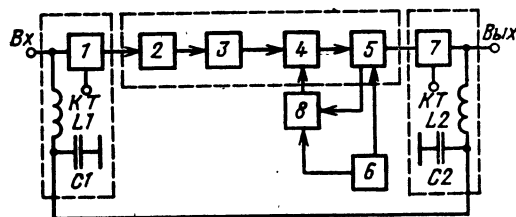


Рис. 5.5.1. Структурная схема магистрального усилителя серии 100 (1 — контрольный ответвитель; 2 — сменный аттенюатор; 3 — выравниватель; 4 — электронный аттенюатор; 5 — широкополосный усилитель; 6 — блок питания; 7 — контрольный ответвитель; 8 — блок АРУ)

сменного аттенюатора 2 и выравнивателя затухания 3, измеряют их селективным микровольтметром, подключенным к отводам контрольных ответвителей 1 и 7. Для передачи по линии дистанционного питания с помощью Г-образных фильтров на элементах L и C предусмотрен обвод переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением до 60 В. В связи с уменьшением напряжения по линии в блоке питания 6, используемого в усилителях УМ 101/60 и УМ 11/60, предусмотрена ступенчатая регулировка входного напряжения путем переключения входной обмотки силового трансформатора, что позволяет работать при минимальном напряжении 30 В. Домовый усилитель УД 101 по структуре и принципиальной схеме не отличается от магистрального модификации УМ 101/220. Особенность заключается в отличии номиналов отдельных элементов, что позволяет повысить КУ.

Модификация УМ 222 — магистральный усилитель серии 200 (рис. 5.5.2) отличается от усилителя аналогичного назначения серии 100 наличием АРУ и Н, осуществляемой по двум пилот-сигналам с частотами 110 и 235, а также наличием дополнительного усилителя. При отсутствии автоматической регулировки (УМ 201 и УМ 202) электронный регулятор уровня и наклона используют для ручной плавной регулировки усиления и наклона АЧХ. Магистральные усилители серии 200 имеют блочно-модульное построение, что позволяет путем соответствующего набора функциональных узлов переходить от одного типа усилителя к другому, оперативно заменять эти узлы в случае их выхода из строя.

Усилитель домовый УД 201 не имеет электронных регуляторов усиления и наклона АЧХ. Ручная плавная регулировка усиления осуществляется с помощью резистивного аттенюатора, включенного на входе усилителя. Наклон АЧХ регулируют изменением глубины частотно-зависимой отрицательной ОС в эмиттерной цепи первого каскада.

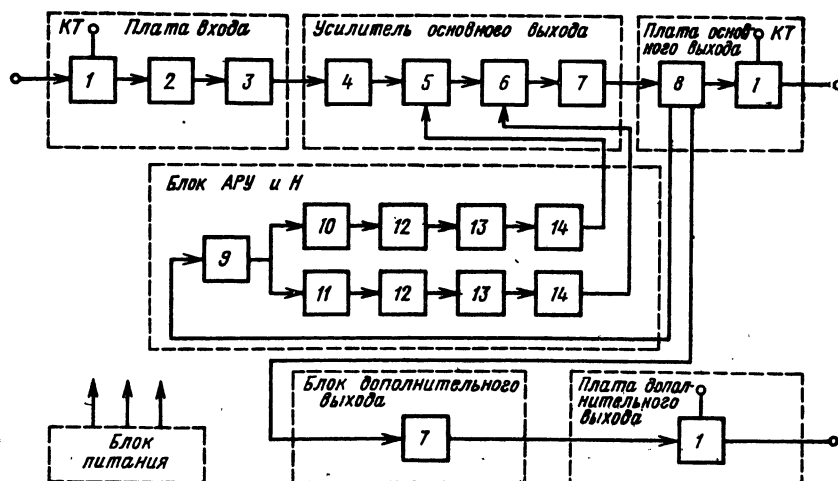


Рис. 5.5.2. Структурная схема магистрального усилителя серии 200 (1 — контрольный ответвитель; 2, 3 — сменные аттенюаторы и выравниватели; 4, 7 — входной и выходной усилители; 5, 6 — регуляторы усиления и наклона АЧХ; 8 — направленный ответвитель; 9, 12 — широкополосный и высокочастотный усилители; 10, 11 — полосовые фильтры на 110 и 235 МГц; 13 — амплитудный детектор; 14 — усилитель постоянного тока)

Таблица 5.5.2. Параметры усилителей линейного тракта

Параметр	УМ 101/60, УМ 101/220	УМ 111/60, УМ 111/60,	УМ 201/60, УМ 201/220	УМ 202/60, УМ 202/220	УМ 221/60, УМ 221/220	УМ 222/60, УМ 222/220	УД 101	УД 201
Рабочий диапазон частот, МГц	40...240	40...240	40...240	40...240	40...240	40...240	40...240	40...240
Неравномерность АЧХ, дБ, не более	1	1	1	1	1	1	1,5	1
Коэффициент усиления, дБ	28±3	24±3	26±3	$\frac{26\pm3}{28\pm3}$	18±3	$\frac{18\pm3}{20\pm3}$	35±3	35±3
Выходной уровень сигнала при $IMA_{III(B)}=60$ дБ, дБмкВ; на выходах:								
основном	117	117	120	120	120	120	119	119
дополнительном	—	—	—	116	—	116	—	—
Коэффициент шума, дБ, не более	10	10	9	9	9	9	10	9
КСВ со стороны входа (выхода), не более	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Диапазон ручной регулировки усиления, дБ:								
плавно	8	—	10	10	—	—	—	8
ступенями	15	15	16	16	16	16	15	16
через 2 дБ	—	—	—	—	—	—	—	—
Диапазон ручной регулировки наклона, дБ:								
ступенями	15	15	15	15	15	15	15	15
через 3 дБ	—	—	6	6	—	—	—	2
плавно	—	—	—	—	—	—	—	—
Допустимый диапазон изменения входных уровней пилот-сигналов*, дБ, в усилителях:								
с АРУ	—	±4	—	—	—	—	—	—
с АРУ и Н	—	—	—	—	±3/±5	±3/±5	—	—
Частоты пилот-сигналов АРУ и Н, МГц	—	110	—	—	110; 235	110; 235	—	—
Потребляемая мощность, В·А	35	35	33	40	33	40	35	33

\* При постоянстве выходного уровня в пределах ±0,5 дБ относительно номинального значения.

Усилители всех типов размещают в прочных водонепроницаемых корпусах из сплава алюминия Ал-2, конструкция которых позволяет подключиться к коаксиальным кабелям диаметром по изоляции 17, 11 или 9 мм.

**5.5.2. Ответвители.** В соответствии со структурой построения РС в системах используют ответвители мощности двух типов, первый из которых предназначен для магистральных и субмагистральных линий, а второй для домовых РС. В основу построения обоих типов ответвителей положен принцип деления мощности с помощью мостов, выполненных на базе НО с электромагнитной связью или с трансформаторами на ферритовых сердечниках. В последние годы широко применяют НО второго типа, представляющие собой комбинацию делителей мощности с развязанными выходами. Простейшим устройством, делящим мощность пополам в широкой полосе частот при высокой развязке между выходами, является трехдецибелный делитель (рис. 5.5.3 [8]). Делитель содержит две связанные обмотки из 5—7 витков на ферритовом кольце диаметром 4...7 мм. При коэффициенте связи между обмотками, близком к единице, и выборе сопротивлений генератора и нагрузок в соотношениях, указанных

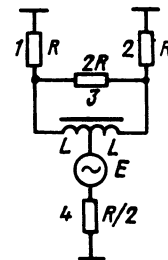


Рис. 5.5.3. Принципиальная схема трехдецибелного делителя мощности

на схеме, обеспечивается деление мощности генератора, включенного в плечо 3 или 4, между нагрузками 1 и 2. При включении генератора в плечо 1 или 2 мощность делится поровну между нагрузками 3 и 4.

Вариант моста, ответвляющего из линии небольшую часть мощности (рис. 5.5.4 [9]), состоит из двух трансформаторов, включенных так, что один из них (L1—L2) создает на нагрузке R3 напряжение, пропорциональное току, поступающему со стороны R1, а



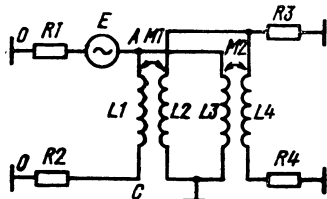


Рис. 5.5.4. Принципиальная схема моста на трансформаторах для неравного деления мощности

другой (L3—L4) — напряжение, пропорциональное напряжению в точках АО. При соответствующем выборе номиналов элементов и коэффициенты связи между обмотками трансформаторов, близком к единице, можно исключить потери в резисторе R4 и получить НО с постоянным коэффициентом деления.

Мост с развязанными выходами работает при выполнении следующих условий:  $R_3/R_2 = 1/[(n_1/n_2)(n_3/n_4 - n_1/n_2)]$ ;  $R_4/R_1 = (n_3/n_4 - n_1/n_2)[(n_1/n_2) \times (n_3/n_4)^2]$ , где  $n_1, n_2, n_3, n_4$  — число витков обмоток трансформаторов. Параметры НО рассчитывают по следующим выражениям.

Входные сопротивления со стороны плеч R1 и R2 соответственно  $R_{вх1} = R_2(n_3/n_4)/(n_3/n_4 - n_1/n_2)$ ;  $R_{вх2} = R_1(1 - n_1/n_4/n_2n_3)$ .

Коэффициенты передачи в направлении от входа к выходам  $P_{отв}/P_{вх} = n_1n_4/n_2n_3$ ;  $P_{пр}/P_{вх} = (n_3/n_4 - n_1/n_2) \times (n_3/n_4)$ , где  $P_{отв}$  — мощность, поступающая в отвод;  $P_{пр}$  — проходящая мощность (при включении генератора в плечо с сопротивлением R1  $P_{отв}$  и  $P_{пр}$  определяются значениями мощностей, выделяющихся на резисторах R3 и R2 соответственно (рис. 5.5.5).

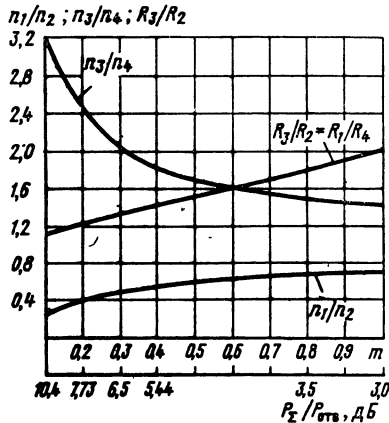


Рис. 5.5.5. Зависимости соотношений сопротивлений нагрузок и числа витков обмоток моста (рис. 5.5.4) от коэффициента деления мощности

Коэффициент деления мощности  $m = P_{отв}/P_{пр} = (n_1/n_2)/(n_3/n_4 - n_1/n_2)$ .

При расчете параметров можно пользоваться зависимостями соотношений сопротивлений моста от коэффициента деления мощности, полученными для случая  $R1/R4 = R3/R2$  (рис. 5.5.5).

Следующий вариант моста (рис. 5.5.6 [10]) содержит трансформатор L1—L2 и резистор R2, посредством которых нагрузка R3 связана с основной проходящей линией по току и по напряжению. Направленные свойства обеспечиваются при условии  $R4/R2 = n_1/n_2 = m$ , где  $n_1, n_2$  — числа витков обмоток трансформатора;  $m$  — коэффициент деления мощности между нагрузками и плечом (при включении генератора в плечо с резистором R1 коэффициент деления определяется отношением мощностей, выделяющихся на резисторах

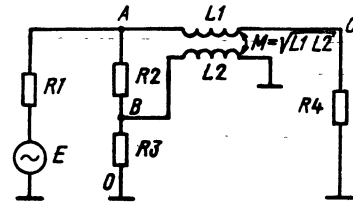


Рис. 5.5.6. Принципиальная схема моста с резистивно-трансформаторной связью

R2 и R4). Входные сопротивления НО со стороны включения резисторов R1—R4 соответственно равны:  $R_{вх1} = R_4/(1+m)$ ;  $R_{вх3} = R_4/m(1+m)$ ;  $R_{вх4} = R_1(1+m)$ . Сопротивления нагрузок выбирают из условия деления мощности в заданном соотношении и обеспечения согласования с входными сопротивлениями устройства. Для этого по заданному коэффициенту деления  $m$  и сопротивлению R4, выбираемому обычно равным волновому сопротивлению коаксиального кабеля, определяют отношение витков трансформатора и R2. Из условия согласования нагрузок с соответствующими входными сопротивлениями устройства выбирают сопротивления R1 и R3. При выборе сопротивлений нагрузок и числа витков обмоток трансформатора можно пользоваться графиками рис. 5.5.7. С помощью такого

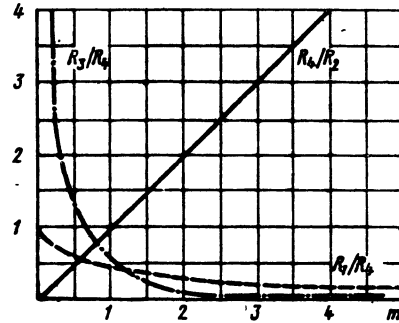


Рис. 5.5.7. Зависимости соотношений сопротивлений нагрузок моста (рис. 5.5.6) от коэффициента деления мощности

моста можно реализовать трехдецибелный делитель мощности с развязанными выходами при сопротивлениях нагрузок, равных половине сопротивления генератора ( $R1 = R3 = R4/2$ ). Такой делитель в совокупности с мостами, выполненными по схеме рис. 5.5.3, позволяет реализовать согласованный делитель мощности с четырьмя развязанными выходами без согласующих трансформаторов. На базе моста, выполненного по схеме рис. 5.5.6, можно реализовать делитель с одинаковыми входами сопротивления в точках подключения несимметричных нагрузок. Для этого необходим дополнительный автотрансформатор (рис. 5.5.8), а также изменение соотношения витков L1, L2 трансформатора

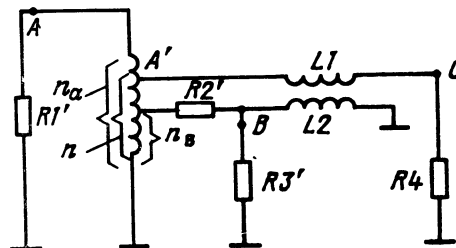


Рис. 5.5.8. Схема согласованного делителя мощности

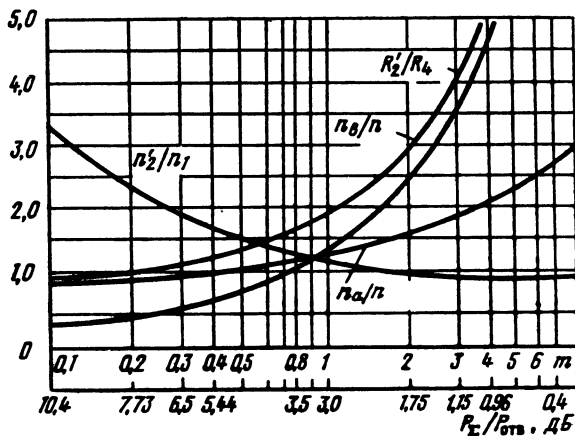


Рис. 5.5.9. Зависимость соотношений сопротивлений нагрузок и числа витков обмоток делителя мощности (см. рис. 5.5.8) от коэффициента деления мощности

и значения сопротивления  $R_2$ . При этом можно воспользоваться следующими выражениями:  $n_a/n = \sqrt{1+m}$ ;  $n_b/n_1 = \sqrt{(1+m)m}$ ;  $R_2' = R_2(1+m)m = R_4(1+m)$ ;  $n_2' = n_1 \sqrt{(1+m)/m}$  (рис. 5.5.9).

Мост с развязанными выходами можно реализовать на базе автотрансформатора на ферритовом сердечнике (рис. 5.5.10 [11]). В режиме деления мощно-

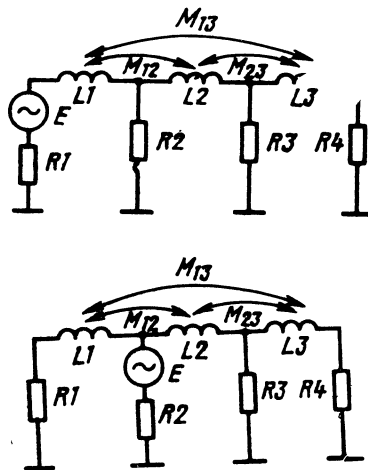


Рис. 5.5.10. Схема моста с автотрансформаторной связью

сти с развязанными выходами он работает при коэффициентах связи между обмотками, близкими к единице, и выполнении следующих условий:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{n_1}{n_2} \left( \frac{n_1}{n_3} + \frac{n_2}{n_3} + 1 \right); \quad \frac{R_4}{R_2} = \frac{n_3}{n_2} \left( \frac{n_3}{n_1} + \frac{n_2}{n_1} + 1 \right).$$

В этом случае параметры моста определяются следующими выражениями:

коэффициент деления мощности  $m = \left[ \frac{n_3}{n_1} + \frac{n_2}{n_1} + 1 \right] / \frac{n_3}{n_2}$  (при включении генератора в плечо с резистором  $R_1$  коэффициент деления определяется отношением мощностей, выделяющихся на нагрузках  $R_2$  и  $R_4$ );

входные сопротивления со стороны плеч с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  соответственно

$$R_{вх1} = \frac{R_2 \left( \frac{n_3}{n_1} + \frac{n_2}{n_1} + 1 \right) \left( \frac{n_2}{n_1} + 1 \right)}{\frac{n_2}{n_1} \left( \frac{n_3}{n_1} + \frac{n_2}{n_1} + 2 \right)};$$

$$R_{вх2} = \frac{R_1 \frac{n_2}{n_1} \left( \frac{n_3}{n_1} + \frac{n_2}{n_1} \right)}{\left( 1 + \frac{n_2}{n_1} + \frac{n_3}{n_1} \right) \left( \frac{n_2}{n_1} + 1 \right)},$$

где  $n_1$ — $n_3$ —числа витков каждой из обмоток автотрансформатора. При выборе сопротивлений моста можно воспользоваться графиками рис. 5.5.11, рассчитанными для соотношения сопротивлений  $R_4/R_2 = R_1/R_3$ .

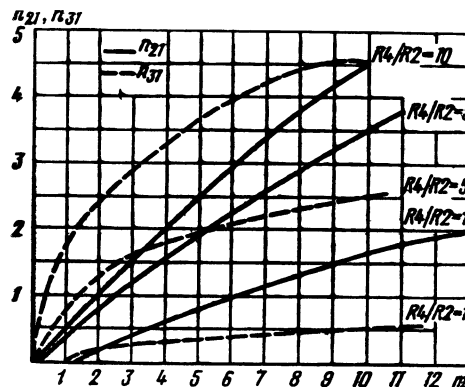


Рис. 5.5.11. Зависимости соотношений сопротивлений нагрузок и числа витков обмоток моста (рис. 5.5.10) от коэффициента деления мощности

На базе рассмотренных мостов реализуют различные варианты магистральных и абонентских ответвителей (табл. 5.5.3). В схеме магистрального ответвителя ОМ-101 (рис. 5.5.12), состоящего из делителя мощности на автотрансформаторе Т1 и согласующего автотрансформатора Т2, предусмотрено включение Г-образных LC-фильтров, обеспечивающих прохождение переменного тока дистанционного питания магистральных усилителей. Конструктивно такие ответвители выполнены в водонепроницаемых корпусах из алюминиевого сплава, что позволяет их эксплуатировать в сложных климатических условиях. С использованием

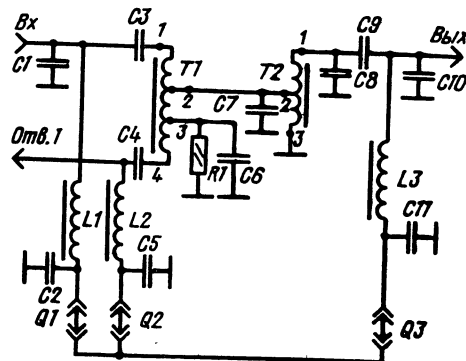


Рис. 5.5.12. Схема магистрального ответвителя типа ОМ-101

Таблица 5.5.3. Параметры магистральных ответвителей

Ответвитель	Число отводов	Переходное затухание, дБ, для ответвителей		Проходное затухание от входа к выходу, дБ	Диапазон рабочих частот, МГц	КСВ, не более	Развязка между отводами, дБ, не менее	Коэффициент направленности, дБ, не менее
		1	2					
ОМ-101/3	1	3+1	—	3+1	40...240	1,15	26	17
ОМ-101/6	1	6+1,5	—	2±0,5	40...240	1,15	26	15
ОМ-101/10	1	10±1,0	—	1±0,8	40...240	1,15	26	14
ОМ-101/13	1	13±1,2	—	1±0,6	40...240	1,15	26	12
ОМ-101/16	1	16±1,5	—	0,8±0,5	40...240	1,15	26	10
ОМ-102/6	2	6+1,5	6+1,5	3+1,0	40...240	1,15	21	14
ОМ-102/10	2	10±1	10±1	1,5±0,8	40...240	1,15	26	13
ОМ-102/13	2	13±1,2	13±1,2	1±0,5	40...240	1,15	26	12
ОМ-102/16	2	16±1,5	16±1,5	0,8±0,5	40...240	1,15	26	10

Таблица 5.5.4. Параметры абонентских ответвителей

Разветвитель	Число отводов	Переходное затухание, дБ, между отводами		Проходное затухание от ввода к выходу, дБ	Диапазон рабочих частот, МГц	КСВ, не более	Коэффициент направленности, дБ, не менее	Развязка между отводами, дБ, не менее
		1—2	3—4					
РА-102/10	2	10±1,0	—	1,5±0,5	0...240	1,25	10	26
РА-102/13	2	13±1,5	—	1,0±0,5	0...240	1,25	9	26
РА-102/16	2	16±1,5	—	0,8±0,5	0...240	1,25	9	26
РА-102/22	2	22±1,5	—	0,8±0,5	0...240	1,25	—	26
РА-104/10	4	10±1,5	11±1,5	3,1±0,7	0...240	1,25	10	26
РА-104/13	4	13±1,5	14±1,5	1,5±0,7	0...240	1,25	9	26
РА-104/16	4	16±1,5	16±1,5	1,0±0,5	0...240	1,25	9	26
РА-104/22	4	22±1,5	22±1,5	1,0±0,5	0...240	1,25	—	26

мостов на ферритовых сердечниках реализованы разветвительные устройства для домовых РС (табл. 5.5.4). Еще один делитель мощности, широко используемый при создании РС, реализуют на базе НО с ЭМ связью. В магистральных и субмагистральных линиях применяют разветвительные устройства мощности (РУМ), выполненные в виде нескольких вариантов полосковых НО с разными значениями переходных затуханий в отводы (рис. 5.5.13). Данные НО имеют КСВ=1,4 при коэффициенте направленности 15 дБ в полосе 48,5...230 МГц. По принципу НО с ЭМ связью выполнены абонентские распределительные устройства УАР-6, используемые в домовых РС. Их особенностью является объединение в кабеле шести НО, что достигается размещением вокруг центрального проводника по окружности в пазах полиэтиленового сердечника шести изолированных проводников. Параметры УАР-6 выбраны так, что каждый из проводников с центральным образует НО с переходным затуханием примерно 17 дБ на частоте 200 МГц. К недостатку данной конструкции можно отнести наличие сравнительно сильной связи между соседними проводниками, что приводит к уменьшению развязки между подключенными к ним абонентскими отводами.

#### Параметры УАР-6

Максимальное число абонентских отводов	6
КСВ со стороны подключения распределительных кабелей, не более	1,25
КСВ со стороны подключения абонентских кабелей, не более	1,65
Коэффициент направленности, дБ, не менее	10

Ответвители с использованием мостов на ферритовых сердечниках позволяют делить мощность в заданном отношении при равномерной характеристике переходного затухания в отвод, хорошем согласовании и

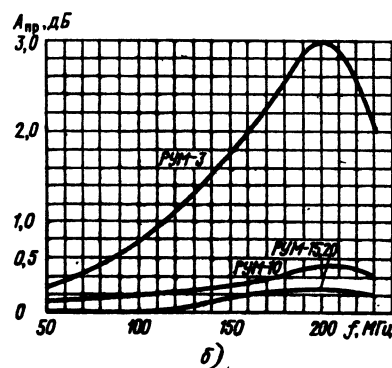
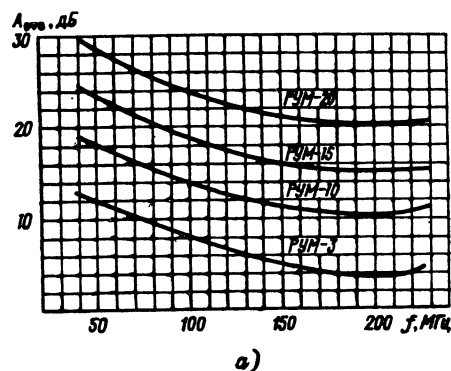


Рис. 5.5.13. Зависимости переходного и проходного затуханий магистральных разветвительных устройств типа РУМ от частоты

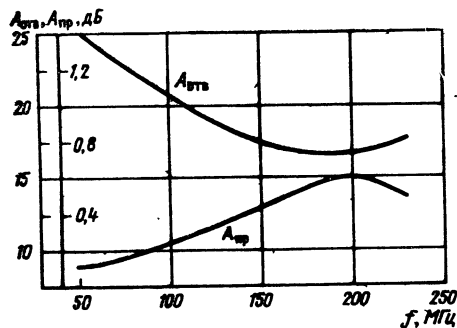


Рис. 5.5.14. Зависимости переходных затуханий в отводы и продольного затухания абонентских разветвительных устройств типа УАР от частоты

при высоком коэффициенте направленности. Такие ответвители имеют малые габариты, но у них сравнительно большое значение собственных потерь и относительно высокая трудоемкость изготовления.

Делители мощности на НО с ЭМ связью обладают высокой направленностью и хорошим согласованием. При этом можно реализовать НО с низкими собственными потерями и частотно-зависимым переходным затуханием. Последнее свойство полезно, когда требуется корректировать затухание соединительного кабеля. К недостаткам следует отнести сравнительно большие габариты.

## 5.6. Коаксиальные радиочастотные кабели

**5.6.1. Типы, размерный ряд, обозначения.** Коаксиальные радиочастотные кабели — основной тип линий передачи ТВ и ЧМ сигналов в приемных РС. По назначению кабели разделяют на магистральные и субмагистральные; распределительные для домовых сетей; снижения для соединения антенн с головной станцией; абонентские; для внутри- и межблочных соединений в аппаратуре.

В наиболее сложных климатических условиях эксплуатируются кабели снижения и кабели линейного тракта при трассовой подвеске. Они подвержены воздействию атмосферных осадков, ветровых нагрузок, солнечной радиации, значительного перепада температур (—50...+50°С). Магистральные и субмагистральные кабели эксплуатируют в условиях кабельной канализации, т. е. в относительно узком температурном диапазоне. Они могут подвергаться воздействию высокой влажности и даже воды в случаях затопления канализации. Распределительные и абонентские кабели эксплуатируют в благоприятных условиях (жилые и технические помещения зданий), при температуре и влажности, близких к нормальной. Кабели для внутри- и межблочных соединений в аппаратуре работают при повышенной температуре (до 40°С).

Коаксиальные кабели, широко применяемые в приемных РС, имеют однопроволочные медные или алюминиевые, покрытые медью, внутренние проводники, изоляцию из сплошного или вспененного полиэтилена, внешние проводники из медных или алюминиевых лент, гладких или гофрированных, наложенных продольно внахлест или с продольным сварным швом, защитную оболочку из полиэтилена или поливинилхлорида. Применяют также коаксиальные кабели с внешним проводником в виде частой или редкой оплетки, под которой проложена фольга медная или алюминиевая.

Отечественные кабели выпускают по ГОСТ 11326.0—78, в котором с учетом требований стандарта МЭК принят следующий ряд диаметров изоляции: 1,5; 2,2; 2,95; 3,7; 4,6 (4,8); 5,6; 7,25; 9; 11,5; 13; 17,3;

24 мм. Конкретные технические характеристики кабелей указываются в соответствующих марочных ГОСТ или отраслевых технических условиях.

Все радиочастотные коаксиальные кабели, разработанные после 1970 г., имеют унифицированное обозначение: РК  $Z_n-D_2-nN-C$  (РК — радиочастотный коаксиальный,  $Z_n$  — волновое сопротивление,  $D_2$  — округленное значение диаметра изоляции, мм;  $n$  — номер, определяющий тип изоляции: 1 — сплошная обычной нагревостойкости (полиэтилен); 2 — сплошная повышенной нагревостойкости (фторопласт), 3 — полувоздушная обычной нагревостойкости (пористый полиэтилен или кордельно-трубчатая изоляция);  $N$  — порядковый номер разработки;  $C$  — индекс, используемый для обозначения кабелей с повышенной точностью изготовления, высокой однородностью волнового сопротивления).

**Пример:** обозначение РК 75-17-13-С соответствует кабелю радиочастотному коаксиальному с волновым сопротивлением 75 Ом, диаметром изоляции 17,3 мм, изоляцией сплошной обычной нагревостойкости из полиэтилена, порядковый номер разработки 3, волновое сопротивление обладает повышенной однородностью.

**5.6.2. Основные электрические характеристики.** Волновое сопротивление радиочастотного кабеля характеризует отношение комплексного значения напряжения между проводниками  $\dot{U}_n$  к току, текущему по ним  $\dot{I}_n$ , для падающей (или отраженной) волны, распространяющейся по кабелю, т. е.

$$Z_n = \dot{U}_n / \dot{I}_n = \sqrt{(R + j\omega L) / (G + j\omega C)},$$

где  $L$  — погонная индуктивность кабеля;  $R$  — ВЧ сопротивление проводников;  $C$  — погонная емкость кабеля;  $G$  — проводимость изоляции;  $\omega = 2\pi f$  — круговая частота.

На частотах выше 30 МГц, когда  $R \ll \omega L$ ,  $G \ll \omega C$ , волновое сопротивление активно,  $Z_n = \sqrt{L/C} = 60 / \sqrt{\epsilon_{\text{эл}} \ln(D_3 W_3 / D_1 W_1)}$ , где  $\epsilon_{\text{эл}}$  — эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции;  $D_1$  — наружный диаметр внутреннего проводника;  $D_3$  — внутренний диаметр внешнего проводника;  $W_1$ ,  $W_3$  — коэффициенты, учитывающие форму проводников. (Здесь и далее индекс 1 относится к внутреннему проводнику, 2 — к изоляции, 3 — к внешнему проводнику, 4 — к защитной оболочке.) Для изоляции из сплошного полиэтилена  $\epsilon_{\text{эл}} = 2,3$ ; из пористого 1,5; для комбинированной воздушно-пластмассовой изоляции  $\epsilon_{\text{эл}}$  следует рассчитывать по специальным формулам [12]. Для однопроволочных внутренних проводников  $W_1 = 1$ , для семипроволочных  $W_1 = 0,939$ . Для внешних проводников в виде гладкой трубки  $W_3 = 1$ , для внешних проводников в виде оплетки плотностью 88...92%  $W_3 = 1 + 1,5d_n/D_3$ , где  $d_n$  — диаметр проволоки оплетки. Для внешних проводников из гофрированной медной ленты  $W_3 = 1 + 1,5\delta/D_3$ , где  $\delta$  — высота гофров.

**Скорость распространения волны** (для коаксиальных кабелей фазовая скорость совпадает с групповой скоростью сигнала)  $v = c / \sqrt{\epsilon_{\text{эл}}} = c / \xi$ , где  $v$  — скорость распространения волны в кабеле;  $c$  — скорость света в свободном пространстве;  $\xi$  — коэффициент замедления волны. Время распространения сигнала по кабелю  $t = L/v = L\xi/c$ , где  $L$  — длина линии. Длина волны в кабеле  $\lambda_k$  меньше, чем длина волны в свободном пространстве  $\lambda_0$  в  $\xi$  раз, т. е.  $\lambda_0/\lambda_k = \xi$ .

**Коэффициент затухания  $\alpha$**  характеризует ослабление сигнала на единице длины кабеля, для кабеля длиной  $L$   $\alpha L = -20 \lg U_L / U_0 = -10 \lg P_L / P_0$ , где  $U_0$ ,  $P_0$  — напряжение и мощность сигнала на входе в кабель;  $U_L$ ,  $P_L$  — напряжение и мощность сигнала на выходе из кабеля.

**Коэффициент затухания, дБ/м:**  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ ;  $\alpha_1 = 2,73/Z_n \sqrt{f} \sqrt{\rho_1 k_1 / D_1}$ ;  $\alpha_2 = 9,0810 \cdot 10^{-2} \sqrt{f} \sqrt{\epsilon_{\text{эл}}} \lg \delta$ ;  $\alpha_3 = 2,73/Z_n \sqrt{f} \sqrt{\rho_3 k_3 / D_3}$ , где  $\alpha_1 - \alpha_3$  — составляющие ко-

коэффициента затухания кабеля во внутреннем проводнике, изоляции и внешнем проводнике;  $f$  — частота, МГц,  $\rho$  — удельное сопротивление постоянному току внутреннего и внешнего проводников, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\operatorname{tg} \delta$  — тангенс угла диэлектрических потерь изоляции;  $D_1$ ,  $D_3$  — диаметры внутреннего и внешнего проводников, мм. Для меди при 20°С  $\rho = 0,0175$  Ом·мм<sup>2</sup>/м, алюминия  $\rho = 0,0270$  Ом·мм<sup>2</sup>/м. Для полиэтилена  $\operatorname{tg} \delta = 2 \cdot 4 \times 10^{-4}$ ; для пористого полиэтилена  $\operatorname{tg} \delta = 4 \cdot 6 \cdot 10^{-4}$ ; в кабелях старых конструкций  $\operatorname{tg} \delta = 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}$ .

Коэффициент  $k_1$  учитывает влияние на  $\alpha$  конструкции внутреннего проводника, для однопроволочного проводника  $k_1 = 1$ , для семипроволочного  $k_1 = 1,25$ . Коэффициент  $k_3$  учитывает влияние конструкции внешнего проводника; для проводника из гладкой ленты  $k_3 = 1$ , для гофрированной ленты  $k_3 = 1,05$ . Для оплетки плотностью более 85%  $k_3 = 2$ , оплетки плотностью 70–80%  $k_3 = 3$ , оплетки плотностью 40...60%  $k_3 = 4 \cdot 5$ .

Температурные изменения коэффициента затухания кабеля с медными проводниками

$$\alpha_t = (\alpha_1 + \alpha_3) \sqrt{1 + 0,00393(t - 20)} + \alpha_2, \quad (5.5.10)$$

где  $t$  — температура, °С.

Коэффициент фазы определяет изменение фазы на единицу длины кабеля, рад/м:  $\beta = 2/3\pi \cdot 10^{-2} f \sqrt{\epsilon_a}$ . Коэффициент отражения характеризует качество согласования кабельного тракта при стыковке двух отрезков кабелей с разными волновыми сопротивлениями  $Z_{в1} \neq Z_{в2}$ . От места стыка отражается часть сигнала:

$$\Gamma = |\dot{U}_{отр}| / |\dot{U}_{пад}| = (Z_{в1} - Z_{в2}) / (Z_{в1} + Z_{в2}),$$

где  $\dot{U}_{отр}$  — напряжение отраженной волны;  $\dot{U}_{пад}$  — напряжение падающей волны. На отрезке кабеля перед местом стыка возникает стоячая волна, которую принято характеризовать коэффициентом стоячей волны (КСВ) напряжения или тока; КСВ и  $\Gamma$  связаны следующими соотношениями:  $\text{КСВ} = (1 + \Gamma) / (1 - \Gamma)$ ;  $\Gamma = (\text{КСВ} - 1) / (\text{КСВ} + 1)$ .

В реальных кабелях волновое сопротивление по длине непостоянно. Это непостоянство характеризуют тремя составляющими: плавное изменение  $Z_{в}$  от начала отрезка кабеля к концу (дрейф среднего значения) или разброс среднего значения от образца к образцу кабеля; случайные быстрые изменения относительно среднего значения по длине; периодические изменения по длине.

Допустимое значение отклонения волнового сопротивления от номинального содержится в ТУ или ГОСТе на кабели. Отклонение среднего значения волнового сопротивления или его дрейф может приводить к возникновению отраженных волн от места стыков отрезков кабелей или мест соединений с аппаратурой (усилителей, разветвителей и т. д.). Возможен подбор отрезков кабеля с одинаковым  $Z_{в}$  на стыкуемых концах. Случайные изменения  $Z_{в}$  по длине приводят к образованию внутренних отраженных волн.

Наиболее опасны периодические изменения  $Z_{в}$  по длине. На частотах, когда период изменений  $Z_{в}$  равен половине длины волны, возникают чрезвычайно большие резонансные отражения и глубокие провалы на частотной характеристике затухания. Отражения от внутренних периодических и случайных отклонений  $Z_{в}$  в готовом кабеле неустраняемы. Единственный способ уменьшить внутренние отражения от неоднородностей  $Z_{в}$  — обеспечить прецизионную технологию изготовления кабелей, что является важнейшим требованием к магистральным и субмагистральным кабелям. Уровень отражений нормируется и обеспечивается только в кабелях с индексом С. (Подробно вопросы, связанные с искажениями из-за внутренних отражений в кабелях, рассмотрены в [13].)

Сопротивление связи устанавливает соотношение между ВЧ током помех  $I_{пом}$ , текущим по внешней поверхности внешнего проводника, и напряжением помехи

$U_{пом}$ , наводимой в кабеле этим током на единицу длины линии, т. е.  $Z_{св} = U_{пом} / I_{пом}$ . Чем меньше сопротивление связи, тем выше помехозащищенность кабеля. Сопротивление связи может быть пересчитано в экранированное затухание, дБ:  $A_s = 20 \lg(1 / 1,03 \cdot 10^4 Z_{св})$ . Модуль сопротивления связи нормируют в ТУ на кабели на частоте 30 МГц. Для кабелей с внешним проводником в виде оплетки сопротивление связи тем больше, чем меньше плотность оплетки, и на всех частотах ТВ сигналов растет с ростом частоты. Для кабелей с внешними проводниками из металлических лент и фольгированных пленок сопротивление связи с ростом частоты падает. Помехозащищенность кабелей с проводниками из медных лент в диапазоне ТВ частот во много раз выше, чем кабелей в оплетке (рис. 5.6.1).

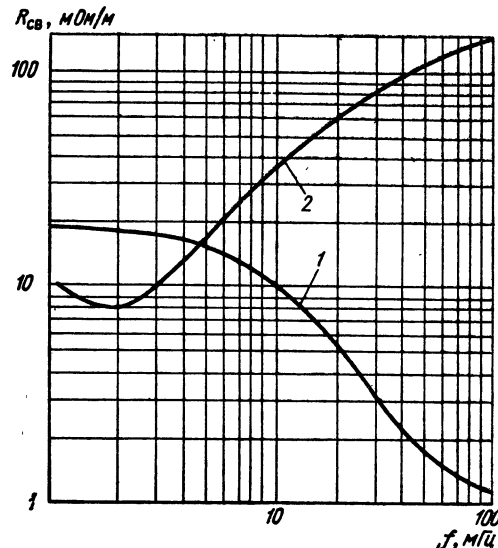


Рис. 5.6.1. Измеренное значение сопротивления связи в зависимости от частоты кабелей марок РК 75-4-113 (с экраном из гофрированной медной фольги) [13]; РК 75-4-11 (с экраном в виде оплетки плотностью 88–92%) [14]

**5.6.3. Стойкость кабелей к механическим и климатическим воздействиям.** В радиочастотных кабелях нормируются следующие значения допустимых механических характеристик: радиус изгиба при монтаже (устанавливается для двух уровней температур — выше и ниже 5°С); число двойных перегибов на заданный радиус; число перемоток на заданный диаметр намотки; напряжение, которое кабель выдерживает без изменения электрических характеристик и нарушения целостности элементов конструкции.

Допустимый радиус изгиба ограничивается растрескиванием оболочки, а для кабелей с внешним проводником из гофрированных лент — деформацией и разрушением внешнего проводника. Для кабелей с внешними проводниками в виде оплетки при температуре ниже 5°С допустимый радиус изгиба составляет  $10 \dots 20 D_{ж}$ , при температуре выше 5°С  $5 \dots 10 D_{ж}$ , где  $D_{ж}$  — диаметр кабеля по оболочке, для кабелей с внешними проводниками из гофрированных лент  $10 \dots 20$  и  $20 \dots 30 D_{ж}$  соответственно. Допустимое число двойных перегибов и число перемоток кабелей с многопроволочными внутренним и внешним проводниками составляет более 10 000 и ограничивается стойкостью внутреннего проводника. Для кабелей с внешними проводниками из гофрированных лент допустимое число перегибов и перемоток на радиус  $20 D_{ж}$  составляет  $10 \dots 20$ , т. е. эти кабели стойки только к механическим воздействиям, возникающим в процессе монтажа. На некоторых кабелях эти показатели нормируются в ТУ. Допустимое натяжение нормировано только для магистральных и распределительных кабелей.

Все радиочастотные кабели с полиэтиленовой изоляцией и защитными оболочками из светостабилизированного полиэтилена или поливинилхлорида (ПВХ) независимо от типа проводников сохраняют работоспособность при следующих воздействиях:

Рабочие температуры, °С, кабелей:

с изоляцией и оболочкой из полиэтилена	—60...85
с оболочками из ПВХ	—40...85
Относительная влажность воздуха, %	98
Температура, °С, не более	35

Кабели с оболочкой из светостабилизированного полиэтилена обладают стойкостью к длительному воздействию солнечной радиации.

Срок службы кабелей ограничивается стойкостью защитных оболочек к климатическим воздействиям. Основными факторами, определяющими старение оболочек, являются максимальные значения рабочей температуры и интенсивности солнечной радиации. В ТУ и ГОСТе на кабели указаны сроки службы, подтвержденные ускоренными испытаниями, в течение которых гарантирована безотказная работа. Реальные предельные сроки сохранения работоспособности кабелей зависят от условий эксплуатации. Для принятия решения о необходимости замены кабельных сетей, выработавших гарантийный срок службы, следует руководствоваться состоянием защитных оболочек кабелей.

**5.6.4. Номенклатура и параметры кабелей.** Крупногабаритные кабели марок РК-75-17-31, РК-75-13-32, РК-75-17-12 (табл. 5.6.1), часто используемые при

Таблица 5.6.1. Параметры и конструкции кабелей

Марка	Технические условия	Материал, конструкция, размеры, мм			Масса, кг/км	Волновое сопротивление, Ом	Коэффициент затухания на $f=200$ МГц, дБ/м
		Внутренний проводник	Изоляция	Оболочка			
РК 75-17-31	ГОСТ 11326	М 1×4,0	Полувоздушные 17,3±0,6, 13±0,5 ПЭ 17,3±0,4	ПЭ 22,3±1,4	887	75±3	—
РК 75-13-22	ГОСТ 11326	М 1×3,05		ПЭ 16,6±0,8	463	75±3	—
РК 75-17-12	ТУ 16-505.887-82	М 1×2,63		ПЭ 21±0,8	511	75±3	—
РК 75-9-12 АИ, АК	ТУ 16-705.117-79	М 1×1,35	ПЭ	ПВХ 13,1	—	75±6	0,12
РК 75-9-13 АИ, АК	»	М 1×1,35	9±0,7	ПЭ	—	75±6	0,14
РК 75-7-11 АИ, АК	»	М 1×1,13	ПЭ	ПЭ	—	75±6	0,14
РК 75-7-12 АИ, АК	»	М 7×0,4	7,25±0,6	ПЭ 10,2	—	75±6	0,14
РК 75-7-15 АИ, АК	»	М 1×1,13		ПВХ	—	75±6	0,14
РК 75-7-16 АИ, АК	»	М 7×0,4		ПВХ	—	75±6	0,14
РК 75-4-11 АИ, АК	»	М 1×0,72	ПЭ	ПЭ	—	75±6	0,2
РК 75-4-12 АИ, АК	»	М 7×0,26		ПЭ 7,9	—	75±6	0,2
РК 75-4-15 АИ, АК	»	М 1×0,72		ПВХ	—	75±6	0,2
РК 75-4-16 АИ, АК	»	М 7×0,26	ПЭ	ПВХ	—	75±6	0,2
РК 75-3,7-11 АИ, АК	»	М 1×0,58		—	—	75±6	0,25
РК 75-3,7-12 АИ, АК	»	М 7×0,2		ПЭ 5,7	—	75±6	0,25
РК 75-3,7-15 АИ, АК	»	М 1×0,58	3,7±3	ПВХ	—	75±6	0,25
РК 75-3,7-16 АИ, АК	»	М 7×0,2	ПВХ	ПВХ	—	75±6	0,25
КВТ-1	ТУ 16-505.166	М 1×0,68	ПЭ 4,6±0,4	ПВХ, ПЭ 8,5	50	75±6	0,2
КВТ-1М	»	М 1×0,72	ПЭ 4,6±0,4	ПВХ, ПЭ 7,9	78	75±6	0,2
КВТ-2	»	М 1×0,37 или М 7×0,12	ПЭ 2,4±0,1	ПВХ, ПЭ 5	30	75±7,5	0,37
КВТ-1МФ*	»	М 1×0,72	ПЭ 4,6±0,4	ПВХ, ПЭ 7,9	—	75±4	0,18
КПТА	ТУ 16-705.125-79	М 1×0,52	ППЭ 24±0,2	ПЭ 4,3	—	75±7,5	—
КПТМ	»	М 1×1,13	ПЭ 5,2±0,5	ПВХ, ПЭ 8	—	75±6,0	—

\* Удельное сопротивление связи на  $f=30$  МГц равно 50 мОм/м.

Таблица 5.6.2. Параметры и конструкция кабелей

Марка	Технические условия	Материал, конструкция и размеры, мм			Масса, кг/км	Волновое сопротивление, Ом	Коэффициент затухания на $f=20$ МГц, дБ/м	Сопротивление связи на $f=30$ МГц, МОм/м
		Внутренний проводник	Изоляция	Оболочка				
РК 75-17-13 С	ТУ 16-705.336-84	М 1×2,73	ПЭ 17,3±0,2	ПЭ 23,3±1,0	473	75±2	0,0341	10
РК 75-11-11 С	ТУ 16-705.339-84	М 1×1,88	ПЭ 11,5±0,15	ПЭ 15,4±0,6	220	75±2	0,0472	10
РК 75-7-19	ТУ 16-К76.003-87	М 1×1,20	ПЭ 7,25±0,25	ПЭ 10,2±0,4	108	75±2,5	0,073	20
РК 75-4-113	ТУ 16-705.337-84	М 1×0,80	ПЭ 4,6±0,2	ПЭ 7,0±0,4	46	75±3	0,108	20
РК 75-4-115 А	ТУ 16-К76.002-87	М 1×0,71	ПЭ 4,6±0,2	ПЭ, ПВХ 6,4±0,4	36	75±3	0,126	50
РК 75-3,7-31	ТУ 16-705.338-84	М 1×0,90	ППЭ 3,7±0,15	ПЭ 5,8±0,3	30,8	75±3	0,1027	50
РК 75-1,5-31	ТУ 16-705.045-86	М 1×0,37	ППЭ 1,5±0,1	ПЭ 2,8±0,2	8,7	75±3	0,3	300
РК 75-3-16 АУ	ТУ 16-705.305-84	М 7×0,16	ПЭ 2,95±0,1	ПВХ 4,4±0,3	28,0	75±3	0,21	300
РК 75-4-16	ГОСТ 11326.23-79	М 7×0,26	ПЭ 4,6±0,12	ПВХ 7,3±0,4	65,6	75±3	0,15	200
РК 75-4-112	ТУ 16-705.221-81	М 7×0,26	ПЭ 4,6±0,2	ПЭ 8,4±0,4	101	75±3	0,15	10

создании магистральных и субмагистральных линий КСКТП материалоем и трудоемкий в изготовлении, не имеют гарантий по однородности волнового сопротивления. При использовании кабелей РК-75-17-31, РК-75-13-32, имеющих полувоздушную изоляцию, возможно попадание влаги с торцов кабеля и выход из строя всего участка линии. В новых системах применять эти кабели не следует.

Серия кабелей с индексами АИ и АК, выпускаемых по ТУ 16-705.117—79, а также кабели марок КВТ-1, КВТ-2, КПТМ, КПТА, РК-75-2-11А имеют редкую оплетку или обмотку проволоками в качестве внешнего проводника, а значит, низкую помехозащищенность. В связи с возросшими требованиями к помехозащищенности сетей ТВ приема применение этих кабелей следует ограничить, а взамен применять современные кабели с большей помехозащищенностью. Кроме приведенных в табл. 5.6.1 коаксиальных кабелей кабельная промышленность выпускает плоские двухпроводные кабели по ТУ 16-505.308—77 марок КАТВ и КАТП. Кабель КАТВ имеет проводники сечением 0,5 мм<sup>2</sup>, поливинилхлоридную изоляцию, расстояние между центрами проводников 10,2±0,2 мм. Кабель КАТП имеет проводники сечением 0,5 мм<sup>2</sup>, полиэтиленовую изоляцию, расстояние между центрами провод-

ников 8,0±0,2 мм. По ТУ 16-705.125—79 выпускается кабель КПТО, имеющий центральный проводник, окруженный шестью проводниками в общем экране. Кабель используют для изготовления ответвителя УАР-6 (см. п. 5.5.2) для домовых РС. Кабели, разработанные специально для СКТ и СКПТ (табл. 5.6.2, рис. 5.6.2), имеют внешние проводники из медных гофрированных лент, фольги или фольгированных пленок. Магистральные РК 75-17-13-С, РК 75-11-11-С, субмагистральные и распределительные РК 75-11-11-С, РК 75-7-19, РК 75-4-113, абонентские РК 75-4-113, РК 75-3,7-31, РК 75-4-115-А. Кабели имеют малый коэффициент затухания, высокую помехозащищенность, но ограниченную стойкость к перегибам, поэтому могут эксплуатироваться в фиксированном состоянии. Рис. 5.6.3 иллюстрирует

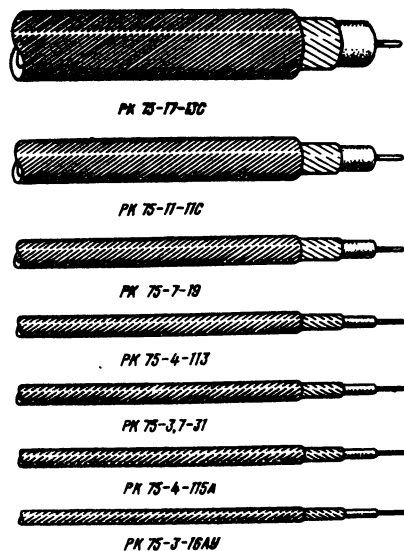


Рис. 5.6.2. Конструкции кабелей

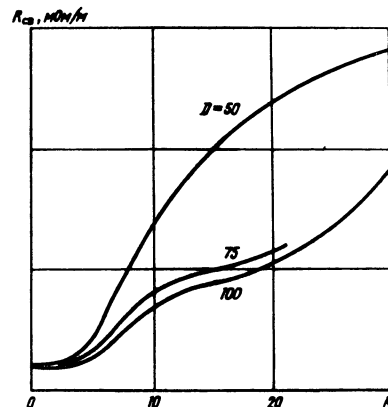


Рис. 5.6.3. Сопротивление связи кабеля РК 75-4-113 в зависимости от числа перегибов при разном диаметре оправки D

зависимости сопротивления связи при воздействии перегибов. Увеличение сопротивления связи кабеля РК 75-4-113 с увеличением числа двойных перегибов связано с образованием поперечных трещин во внешнем проводнике, что и ограничивает допустимое число перегибов таких кабелей. Для указанной серии кабелей жестко нормируется допустимое отклонение волнового сопротивления и внутренние отражения от нерегулярности. Для кабелей РК 75-17-13-С, РК 75-11-11-С и РК 75-7-19 КСВн не должен превышать 1,35. В табл. 5.6.2 приведены дополнительно конструкции и характеристики кабелей с внешними проводниками в виде оплетки плотностью 80...92%, которые имеют следующее назначение: РК 75-1,5-31 — для внутри- и межблоч-

ного монтажа в телевизорах и другой аппаратуре; РК 75-3-16-АУ — для удлинителей и удлинителей-разветвителей; РК 75-4-16 и РК 75-4-112 — для подвижной эксплуатации, например для переносных измерительных антенн и др. В технических условиях частотная зависимость коэффициента затухания, как правило, приводится в виде графика или таблицы, рассчитанных при номинальных размерах проводников, изоляции и свойствах материалов кабелей, приводимых в разделе справочных данных частотные характеристики коэффициента затухания кабелей приведены на рис. 5.6.4. Кроме

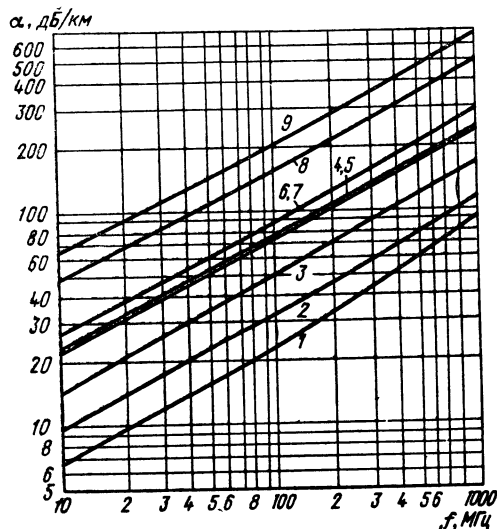


Рис. 5.6.4. Расчетный коэффициент затухания в зависимости от частоты кабелей марок: 1 — РК 75-17-13С; 2 — РК 75-11-11С; 3 — РК 75-7-19; 4 — 75-4-113; 5 — РК 75-3-7-31; 6 — РК 75-4-115А; 7 — РК 75-3-31; 8 — РК 75-3-16 АУ; 9 — РК 75-1,5-31

этого в ТУ приводятся нормируемые значения коэффициента затухания на стандартной частоте (обычно 200 МГц): на периоды поставки, эксплуатации и хранения. Норма на период поставки отражает правила выборочных приемочных испытаний, которые подразумевают, что ни один образец не может иметь затухание выше установленной нормы. Поэтому в данную норму вводят добавку на технологический разброс и на ошибку измерений. Исходя из требований 100%-ной вероятности невыхода измеренного значения за уста-

Таблица 5.6.3. Рекомендуемые для расчетов значения коэффициентов затухания кабелей

Частота, МГц	Коэффициент затухания, дБ/м			
	РК 75-17-13С	РК 17-11-11С	РК 75-4-113	РК 75-7-19
52,5	0,18	0,025	0,056	0,037
62,0	0,020	0,027	0,061	0,040
69,5	0,021	0,030	0,065	0,043
80,0	0,023	0,032	0,070	0,046
88,0	0,024	0,033	0,073	0,049
96,0	0,026	0,035	0,077	0,051
178	0,037	0,051	0,107	0,072
186	0,038	0,052	0,110	0,074
194	0,040	0,053	0,112	0,076
202	0,041	0,054	0,115	0,078
210	0,042	0,056	0,117	0,079
218	0,043	0,057	0,120	0,081
226	0,044	0,058	0,122	0,083
570	0,081	0,104	0,205	0,143

новленное добавку делают не менее утроенного значения среднеквадратического отклонения технологического разброса и ошибки измерений. Аналогичную норму устанавливают и на период эксплуатации и хранения при возможных воздействиях, которая подтверждается ускоренными испытаниями. При проектировании систем следует руководствоваться частотными характеристиками, приведенными в ТУ, с учетом температурных изменений затухания и точности расчетов проектных длин кабелей, составляющих тракт (табл. 5.6.3).

## 5.7. Рекомендации по расчету приемных распределительных систем

В зависимости от условий ТВ приема приходится реализовать как простейшие СКТП, обслуживающие абонентов одного подъезда или здания, так и протяженные и разветвленные КСКТП и СКТ, предназначенные для обслуживания абонентов нескольких зданий или целого района. Простейшие СКТП, как правило, создают по типовым проектам в процессе строительства зданий. Привязка к конкретным условиям включает в себя измерение уровней и субъективное оценивание качества изображения на выходах приемных антенн. При этом принимают во внимание, что системы с необходимыми параметрами можно реализовать при субъективной оценке качества изображения не ниже 4 баллов по всем принимаемым каналам и при уровнях ТВ сигналов не менее 60...66 дБмкВ (рис. 5.2.1).

С учетом результатов измерений числа и значений частот принимаемых каналов, структуры домовых РС выбирают тип усилительно-преобразовательного оборудования (п. 5.4.1) и регулируют его. В связи с наличием большого числа зон с неудовлетворительными условиями ТВ приема широко применяют крупные СКТП и СКТ, которые реализуются с проведением изыскательских и проектных работ, включающих в себя определение точек установки приемных антенн, выбор схемы РС, определение номенклатуры устройств, расчет основных параметров и др. Исходными для проектирования системы являются данные соответствующих нормативных документов, параметры используемых элементов и характеристики обслуживаемой территории (напряженность полей принимаемых сигналов, число абонентов, плотность и характер застройки, способ прокладки кабелей и т. д.).

Одним из основных факторов, определяющих состав и параметры оборудования, является напряженность полей принимаемых сигналов, расчетное значение которой при условии прямой видимости,  $\text{мкВ/м}$ ,  $E_{\text{пр}} = 222 \cdot 10^3 \sqrt{P_{\text{пер}} \epsilon_{\text{пер}} / r}$ , где  $P_{\text{пер}}$  — мощность передатчика, кВт;  $\epsilon_{\text{пер}}$  — коэффициент усиления передающей антенны относительно полуволнового вибратора;  $r$  — расстояние от передающей антенны до приемной, км.

Напряженность поля в точке приема можно определить с помощью графиков, приведенных на рис. 5.7.1, 5.7.2 [15]. При расчете напряженности поля, создаваемой передающей ТВ станцией, на расстояниях примерно до 5 км в метровом диапазоне и примерно до 10 км в дециметровом следует учитывать характеристику направленности передающей антенны в вертикальной плоскости. Напряженность поля принимаемых сигналов можно определить по результатам измерения уровней сигналов на выходах приемных антенн, дБмкВ/м:  $20 \lg(E_{\text{пр}}/E_0) = L_{\text{пр}} - 20 \lg(\lambda/2\pi) - G_{\text{пр}}$ , где  $E_0 = 1 \text{ мкВ/м}$  — опорная напряженность поля;  $L_{\text{пр}}$  — уровень ТВ сигнала на выходе приемной антенны, дБмкВ;  $\lambda$  — длина волны несущей изображения, м;  $G_{\text{пр}} = 10 \lg \epsilon_{\text{пр}}$  — коэффициент усиления приемной антенны относительно полуволнового вибратора, дБ.

Далее необходимо определить полосы каналов распределения в сети. При этом принимают во внима-



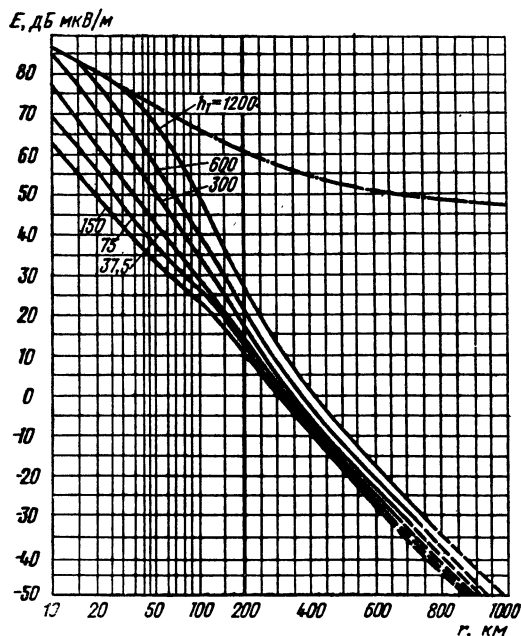


Рис. 5.7.1. Напряженность поля дБмкВ/м, для 1 кВт эффективной излучаемой мощности, частоты 30...250 МГц диапазоны I—III, суша, 10% времени, 50% мест;  $h_2=10$  м,  $\Delta h=50$  м (— — — свободное пространство)

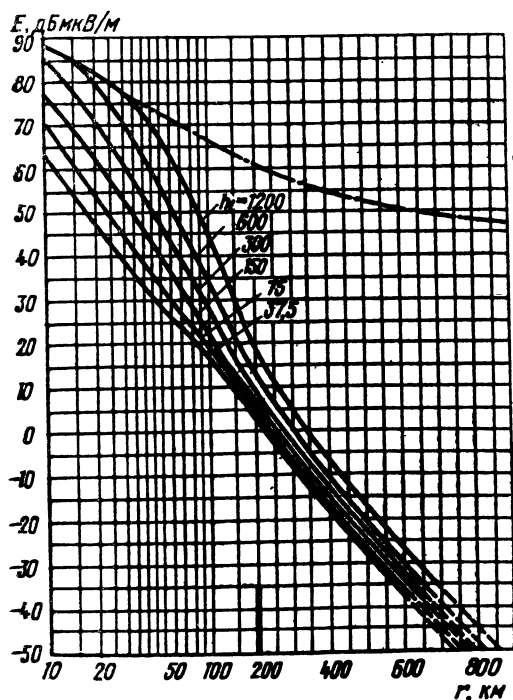


Рис. 5.7.2 Напряженность поля, дБмкВ/м, для 1 кВт эффективной излучаемой мощности, частоты 450...1000 МГц (IV и V диапазоны), суша, 10% времени, 50% мест;  $h_2=10$  м,  $\Delta h=50$  м (— — — свободное пространство)

ние, что согласно требованиям ГОСТ 11216—83 сигналы по сети распределяют в стандартных каналах метрового диапазона волн с повсеместным конвертированием частот дециметрового диапазона и преобразова-

нием сигналов частот метровых каналов в условиях сильных полей. Вариант построения сети выбирают по результатам оценки уровня помех, обусловленных наводками сигналов метрового диапазона волн. Поскольку наиболее слабым звеном системы, как правило, является ТВ приемник (телевизор), в первую очередь оценивают уровень помехи, наводимой на его вход, дБмкВ:  $L_{\text{п}} = 20 \lg(E_{\text{т}}/E_0) + 20 \lg(\lambda/2\pi) + G_{\text{п}}$ , где  $E_{\text{т}}$  — напряженность поля принимаемого сигнала в месте размещения телевизора, мкВ/м;  $G_{\text{п}}$  — коэффициент усиления эквивалентной паразитной антенны, характеризующей экранирующие свойства входных цепей телевизора, дБ. Минимально допустимый уровень полезного сигнала на выходе абонентского отвода, подключенного к исследуемому телевизору, дБмкВ:  $L_{\text{отв. min}} \geq L_{\text{п}} + R_{\text{п}}$ , где  $R_{\text{п}}$  — защитное отношение для повторного сигнала, дБ. При расчете  $L_{\text{отв. min}}$  следует учитывать ослабление электромагнитного поля стенами зданий, среднее значение которого составляет по экспериментальным данным примерно 14 дБ. Согласно [16] для современных телевизоров можно принять  $G_{\text{п}} = -50$  дБ в I TV диапазоне и  $-40$  дБ во II и III. В соответствии с соображениями, изложенными в п. 5.2.3,  $R_{\text{п}} \geq 30$  дБ. Затем с учетом приведенных данных рассчитывают  $L_{\text{отв. min}} \geq 20 \lg(E_{\text{ср}}/E_0) - 14 - 20 \lg(\lambda/2\pi) + G_{\text{п}} + R_{\text{п}}$ , где  $E_{\text{ср}}$  — среднее значение напряженности поля на кровлях зданий, расположенных в районе создания системы. По результатам расчета выбирают вариант построения сети. При этом принимают, что систему без преобразования частот сигналов метровых диапазонов целесообразно реализовать в зонах, для которых найденный уровень  $L_{\text{отв. min}} \leq 70$  дБмкВ. В противном случае следует рекомендовать создать систему с преобразованием частот.

В населенных пунктах, занимающих большую территорию, могут встретиться ситуации, когда на некоторой ее части требуется создать системы с преобразованием частот сигналов метрового диапазона, в то время как на другой части территории можно строить системы с распределением сигналов на принимаемых частотах. В этом случае решение принимается с учетом конкретных условий. Однако из соображений применения единого технического решения предпочтительнее создать системы с преобразованием частот сигналов метрового диапазона на всей территории населенного пункта. При этом каналы распределения в системе выбирают по согласованию с компетентными организациями, распределяющими частоты ТВ вещания в стране. Следует отметить, что при выборе каналов распределения в сети желательно избегать сочетаний, при которых эти каналы оказываются смежными по отношению к каналам приема. Однако при наличии 4—5 ТВ программ данное условие выполнить не удастся. В этом случае следует учитывать возможность появления помех из-за наведенных в соседних каналах сигналов. Данное обстоятельство обуславливает необходимость определения на стадии изыскательских работ уровня сигналов на выходе абонентского отвода, при котором исключается влияние указанных помех. Для оценки уровня ориентировочно можно принять, что при реализации системы с распределением сигналов по сети в каналах, смежных по отношению к каналам приема, минимально допустимый уровень на выходе абонентского отвода примерно на 20 дБ ниже по сравнению с аналогичным параметром в той же точке системы без преобразования частоты.

Необходимой частью предпроектных работ являются изыскания с целью определения точек установки приемных антенн и выбора типов последних. Изыскания проводят с использованием типовых приемных антенн, рекомендованных для КСКТП и СКТ (см. табл. 5.3.3), и с учетом рекомендаций, изложенных в п. 5.3.3. Изыскания завершают выдачей исходных данных по уровням и качеству принимаемых сигналов. Если уровень на выходе кабеля снижения по какому-либо

каналу оказывается ниже номинального входного уровня оборудования СГ, то предусматривается использование антенных усилителей в совокупности с антенными устройствами повышенной эффективности.

С учетом выбранных мест установки антенн и данных по геоподоснове обслуживаемого района проводят трассировку линий РС и намечают места установки усилителей и ответвителей. Исходя из номенклатуры, рекомендованной для использования, выбирают типы усилителей, ответвителей и коаксиальных кабелей.

При выборе номенклатуры усилителей руководствуются следующими рекомендациями. В линиях, коаксиальные кабели которых эксплуатируются на открытом воздухе (диапазон рабочих температур в пределах  $-40 \dots 50^\circ\text{C}$ ), автоматическая регулировка уровней предусматривается в каждом втором магистральном усилителе, а в линиях с прокладкой кабелей в подземной канализации (диапазон рабочих температур примерно  $5 \dots 15^\circ\text{C}$ ) в каждом третьем—пятом. Окончательное решение по этому вопросу принимают по результатам расчета диаграммы уровней.

На основании параметров используемого оборудования и кабелей определяют число усилительных участков на линии максимальной протяженности и с помощью (5.2.5) рассчитывают МВУ в ТВ канале каждого из усилителей при равенстве уровней сигналов по всем каналам. Для каждого участка рассчитывают среднее значение квадратов отношений возможных в реальных условиях входных напряжений в каждом ТВ канале к максимальному входному напряжению каждого из усилителей линейного тракта при равенстве уровней сигналов по каждому каналу

$$\sigma_{ylcp}^2 = \sum_{k=2}^N \sigma_{kl}^2 / (N-1),$$

где  $\sigma_{kl}$  определяют с учетом обозначений, принятых в (5.2.6).

При расчете отклонений уровней сигналов учитывают, что их разброс обусловлен как неточностью установки из-за неравномерности АЧХ участков тракта и погрешности измерения (статическое отклонение  $\sigma_{ст}$ ), так и изменением уровней сигналов в процессе эксплуатации из-за температурной нестабильности затухания кабеля (динамическое отклонение  $\sigma_{дин}$ ), т. е.  $\sigma_{kl} = (\sigma_{ст} \sigma_{дин})_{kl}$ .

При использовании имеющихся технических средств реализуемая неравномерность АЧХ каждого усилительного участка находится в пределах  $\pm 3$  дБ в рабочем диапазоне частот. В этом случае при неблагоприятных условиях результирующее значение статической составляющей отклонения можно принять равным около 1,5 дБ.

Значение динамической составляющей отклонения уровня  $k$ -го канала на входе  $l$ -го усилительного участка линии без автоматической регулировки уровней определяют с помощью следующего рекуррентного соотношения:

$$\sigma_{kl \text{ дин}} = \sigma_{k(l-1) \text{ дин}} \cdot 10^{\Delta\alpha_k(l-1)S(l-1)/20},$$

где  $\sigma_{k(l-1) \text{ дин}}$  — динамическая составляющая отклонения уровня  $k$ -го канала на входе  $(l-1)$ -го усилительного участка;  $\Delta\alpha_k(l-1)$  — изменение коэффициента затухания кабеля  $(l-1)$ -го участка на частоте  $k$ -го канала в заданном интервале температур, дБ/м;  $S(l-1)$  — длина кабеля  $(l-1)$ -го участка, м.

Изменение коэффициента затухания кабеля рассчитывают на основании (5.6.1) или используют эмпирическую формулу [14]  $\alpha = \alpha_{20}[1 - \alpha_\alpha(t-20)]$ , где  $\alpha$ ,  $\alpha_{20}$  — коэффициенты затухания кабеля при рабочей температуре  $t$  и температуре  $20^\circ\text{C}$  соответственно, дБ;  $\alpha_\alpha =$

$= 0,002$  1/град — температурный коэффициент затухания кабеля.

Для определения отклонения уровней сигналов на выходе усилителя с АРУ рассчитывают отклонения уровней от номинального значения на выходе соответствующего усилителя в линии без АРУ и уменьшают найденные значения на  $(\Delta\alpha_n - \Delta'p)$ , где  $\Delta\alpha_n$  — результирующее изменение затухания кабеля до входа данного усилителя с АРУ на частоте пилот-сигнала;  $\Delta'p$  — ошибка регулирования уровня пилот-сигнала. Отклонение уровней сигналов от номинального значения на выходе усилителя с АРУ и Н при минимальном затухании кабеля определяется ошибкой регулирования. Результирующие отклонения уровней сигналов на входе усилителя, включенного после усилителя с АРУ, определяют по найденным выше величинам на выходе усилителя с АРУ с учетом изменения затухания кабеля, соединяющего эти усилители (табл. 5.7.1).

Таблица 5.7.1. Результаты расчетов

Номер усилительного участка	Порядковый номер канала распределения				Среднеквадратическое отклонение напряжений на выходе участка (входе последующего усилителя)
	2	3	...	N	
1	$\sigma_{12}^2$	$\sigma_{13}^2$	...	$\sigma_{1N}^2$	$\sigma_{y1cp}^2 = \sum_{k=2}^N \sigma_{k1}^2 / (N-1)$
2	$\sigma_{22}^2$	$\sigma_{23}^2$	...	$\sigma_{2N}^2$	$\sigma_{y2cp}^2 = \sum_{k=2}^N \sigma_{k2}^2 / (N-1)$
...	...	...	...	...	...
n	$\sigma_{n2}^2$	$\sigma_{n3}^2$	...	$\sigma_{nN}^2$	$\sigma_{yncp}^2 = \sum_{k=2}^N \sigma_{kn}^2 / (N-1)$

На основании данных табл. 5.7.1 находят среднеквадратическое отклонение уровней сигналов линии

$$\sigma_{л.ср}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{yi}^2 / n.$$

С учетом результата на основании (5.2.6) рассчитывают МВУ каждого из усилителей в линии.

Используя найденный выше уровень сигнала на выходе абонентского отвода и учитывая затухание в линиях домового РС, рассчитывают требуемый уровень на выходе домового усилителя, дБмкВ:  $L_{ад} = L_{отв.мин} + a_{д}$ , где  $a_{д}$  — затухание в линии ДРС от выхода домового усилителя до выхода наиболее удаленного абонентского отвода, дБ. При этом принимают во внимание, что во всех случаях  $L_{отв.мин} \geq 66$  дБмкВ. Если требуемый уровень на выходе домового усилителя оказывается выше найденного на основании (5.2.6), используя (5.2.7) или (5.2.8), определяют другое значение МВУ магистральных усилителей. При использовании усилителей с одинаковыми параметрами

$$p^2 = \left[ 10^{\frac{L_{ад} - L_{а N/n}}{10}} (n-2) \right] / \left[ n-1 - 10^{\frac{L_{ад} - L_{а N/n}}{10}} \right].$$

На основании (5.2.9) рассчитывают мощность шумов в ТВ канале на выходе наиболее удаленного абонентского отвода. При этом коэффициент передачи первого усилительного участка от входа активного устройства СГ до входа следующего за ней магистрального усилителя, дБ:  $10\lg K_{M1} = L_{aM/N/n} - G_{aM} - L_{вх1}$ , где  $G_{aM}$  — коэффициент усиления магистрального усилителя, дБ;  $L_{вх1}$  — номинальный уровень оборудования СГ, дБмкВ.

Коэффициенты передачи последующих участков магистральной линии принимают равными единице, т. е.  $K_{M2} = K_{M3} = \dots = K_{M(n-2)} = 1$ . Для предпоследнего усилительного участка от входа магистрального усилителя, предшествующего домовому усилителю, до входа домового усилителя коэффициент передачи, дБ,  $10\lg K_{M(n-1)} = L_{aD/N/n} - G_{aD} - L_{вхM}$ , где  $G_{aD}$  — коэффициент усиления домового усилителя, дБ;  $L_{вхM} = L_{aM/N/n} - G_{aM}$  — входной уровень магистрального усилителя, дБмкВ. Для последней усилительной участка коэффициент передачи, дБ,  $10\lg K_{Mn} = L_{отв. min} - L_{вх. д}$ , где  $L_{вх. д} = L_{aD/N/n} - G_{aD}$  — входной уровень домового усилителя, дБмкВ.

По результирующей мощности шумов определяют фактические значения отношений сигнала к шуму в ТВ каналах. Для выполнения предъявляемых к системе требований необходимо соблюдать следующее условие:  $(L_{отв. min} - 10\lg P_{шз}/P_0) \geq 43$  дБ. Затем проверяют возможность обеспечения заданного ОСШ при максимальной затухании кабеля. Для этого с учетом изложенных выше соображений рассчитывают значения коэффициентов передачи усилительных участков при наибольшей рабочей температуре линии и на основании (5.2.9) определяют новую результирующую мощность шумов  $P'_{шз}$  на выходе наиболее удаленного абонентского отвода.

Рассчитывая для найденных значений коэффициентов передачи уровень сигнала на выходе наиболее удаленного отвода  $L'_{отв. min}$ , определяют реализуемые значения ОСШ в наиболее неблагоприятных условиях, дБ:

$$\left( L'_{отв. min} - 10 \lg \frac{P'_{шз}}{P_0} \right),$$

которые не должны быть менее 43 дБ.

При распределении по сети сигналов ЧМ вещания рассчитывают ОСШ на выходе наиболее удаленного абонентского отвода в каналах ЧМ вещания. Для этого с учетом рекомендованных значений входных и выходных уровней СГ в каналах ЧМ вещания определяют коэффициент передачи первого усилительного участка для сигнала радиовещания и затем на основании (5.2.9) рассчитывают мощность шумов в канале на выходе наиболее удаленного абонентского отвода. При этом шумовая полоса канала ЧМ вещания принимается равной 200 кГц [17].

Исходя из номинального входного уровня сигнала ЧМ вещания на СГ и значений коэффициентов передачи усилительных участков, рассчитывают уровень сигнала на выходе наиболее удаленного абонентского отвода. На основании результатов определяют ОСШ в каналах ЧМ вещания, значения которых в режиме стереовещания не должны быть менее 51 дБ.

## 5.8. Измерения основных параметров распределительных систем

Трудности обеспечения контроля и измерений параметров систем в процессе настройки и эксплуатации связаны с тем, что параметры сигналов у абонентов могут ухудшаться из-за нарушений работы элементов системы, и наличия искажений в тракте распространения радиоволн. Это заставляет испытывать систему в два

этапа, на первом из которых оценивают параметры принимаемых сигналов на выходах кабелей снижения приемных антенн, а на втором в РС. Ввиду отсутствия методов, позволяющих измерять с необходимой точностью искажения ТВ сигналов, возникающие в тракте, соответствие параметров принимаемых сигналов предъявляемым требованиям определяют субъективной оценкой по методике, изложенной в [1]. Значения параметров принимаемых сигналов считаются приемлемыми, если среднеарифметическая оценка качества изображения на экране телевизора, подключенного к выходу кабеля снижения, составляет не менее 4 баллов.

Соответствие параметров РС предъявляемым требованиям определяют методом объективных испытаний или субъективного оценивания. При объективных испытаниях параметры РС считают приемлемыми, если они соответствуют нормам, регламентированным [1]. Практически установлено, что достаточно полное представление о состоянии РС дает измерение следующих параметров: диаграмма уровней, неравномерность АЧХ, отношение сигнала к помехе комбинационных частот, ОСШ и отношение сигнала к фоновой помехе.

При измерении уровней радиосигналов следует иметь в виду, что согласно [1] *уровень радиосигнала изображения* определяется эффективным значением напряжения несущей изображения, зафиксированным во время передачи синхронизирующего импульса, а *уровень радиосигнала звукового сопровождения* и ЧМ вещания — эффективным значением напряжения несущей. Уровень радиосигнала определяется выраженным в децибелах отношением напряжения, измеренного на нагрузке с сопротивлением 75 Ом, к опорному напряжению 1 мкВ на той же нагрузке и обозначается дБмкВ. Периодически-импульсный характер огибающей радиосигнала изображения и неравномерность его энергетического спектра обуславливают необходимость использования измерительных приборов, отвечающих специфическим требованиям. В частности, в режиме квазипикового измерения постоянная времени заряда инерционного детектора не должна превышать 3 мкс, а постоянная времени разряда не менее 5 мс.

При использовании рекомендуемого для измерения уровней радиосигналов селективного микровольтметра SMV-8 приемлемая достоверность результатов обеспечивается в квазипиковом режиме при полосе пропускания 120 кГц. Однако из-за недостаточности полосы частот для пропускания эффективной спектральной мощности сигнала изображения получаемые результаты оказываются заниженными примерно на 1,5 дБ [18]. При измерениях уровней необходимо соблюдать условие согласования входного сопротивления селективного микровольтметра с входным сопротивлением подключаемой линии. Не допускается измерять уровни путем параллельного подключения микровольтметра к коаксиальному тракту РС.

*Неравномерность АЧХ* удобно измерять с помощью измерителя частотных характеристик (ИЧХ) с отдельными блоками генератора и индикатора (рис. 5.8.1). На

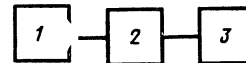


Рис. 5.8.1. Структурная схема измерения неравномерности АЧХ (1 — блок генератора измерителя; 2 — объект измерения; 3 — блок индикатора измерителя)

вход РС или испытываемого участка от блока генератора ИЧХ подают сигнал качающейся частоты в измеряемом диапазоне частот. Органами управления блока ИЧХ устанавливают режим устойчивого слежения за частотой измеряемого сигнала. По экрану индикатора определяют разность в децибелах между максимальным и минимальным уровнями АЧХ в измеряемом диапазоне частот.

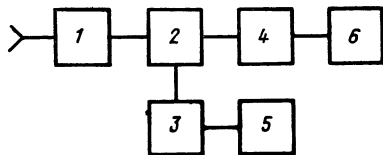


Рис. 5.8.2. Структурная схема измерения неравномерности АЧХ с введением частотной метки от внешнего генератора (1 — широкополосный усилитель; 2 — сумматор; 3 — генератор; 4 — детекторная головка; 5 — частотомер; 6 — осциллограф)

При отсутствии ИЧХ с раздельными блоками генератора и индикатора можно использовать осциллограф с введением частотной метки от внешнего генератора (рис. 5.8.2). При отсутствии аппаратуры, необходимой для измерения неравномерности АЧХ методом качающейся частоты, ее можно измерять по точкам с помощью генератора и селективного микровольтметра. При измерении нелинейных искажений РС оценивают уровень комбинационных помех третьего порядка, возникающих из-за взаимодействия между составляющими ТВ радиосигнала одного канала и радиосигналами разных. В первом случае их измеряют с помощью трех генераторов, имитирующих несущие изображения звукового сопровождения и цветовую поднесущую (рис. 5.8.3). Соотношения между уровнями генераторов выбирают с учетом соотношений, изложенных в гл. 2 (см. рис. 5.2.3). Селективным микровольтметром, подключенным

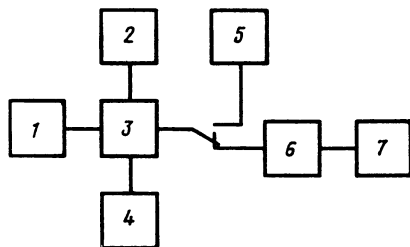


Рис. 5.8.3. Структурная схема измерений нелинейных искажений третьего порядка (1, 2, 4 — генератор; 3 — сумматор; 5, 7 — селективный микровольтметр; 6 — объект измерения)

к испытуемой точке РС, измеряют напряжение, соответствующее несущей изображения  $U_{\text{нн}}$  канала распределения, и напряжение помехи комбинационной частоты, отстоящей на 2,07 МГц от несущей частоты изображения.

Отношение сигнала к помехе комбинационной частоты третьего порядка в РС, дБ,  $IMA_{\text{III}(K)} = 20 \lg(U_{\text{нн}}/U_{\text{п}}) + 8$ . Параметр соответствует норме, если  $IMA_{\text{III}(K)} \geq 54$  дБ.

Уровень комбинационных помех третьего порядка, характеризующих наличие взаимодействия между радиосигналами изображения разных каналов, оценивают с помощью трех генераторов (рис. 5.8.3), соотношения между уровнями сигналов которых устанавливают в соответствии с рис. 5.2.3.

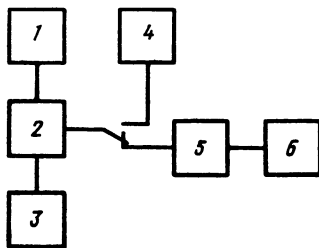


Рис. 5.8.4. Структурная схема измерений нелинейных искажений второго порядка (1, 3 — генератор; 2 — сумматор; 4, 6 — селективный микровольтметр, объект измерения)

На вход линейного тракта РС подают немодулированные сигналы на несущей частоте изображения одного из ТВ каналов распределения и двух отстоящих друг от друга на 2 МГц другого ТВ канала. Уровни этих сигналов на входе линейного тракта устанавливают с помощью селективного микровольтметра, подключаемого к выходу устройства сложения. При этом за 0 дБ принимают номинальное значение уровня радиосигнала изображения на входе линейного тракта РС. Селективным микровольтметром, подключенным к испытуемой точке РС, измеряют несущую изображения  $U_{\text{нн}}$  и напряжения помех  $U_{\text{п1}}$  и  $U_{\text{п2}}$  на частотах, отстоящих на  $\pm 2$  МГц от несущей частоты изображения. Отношение сигнала к помехе комбинационной частоты третьего порядка  $IMA_{\text{III}(B)} = 20 \lg(U_{\text{нн}}/U_{\text{п}})$ , где  $U_{\text{п}}$  — наибольшее из двух измеренных значений  $U_{\text{п1}}$  и  $U_{\text{п2}}$ .

Если по системе распределяют сигналы трех и более ТВ каналов, то подаваемые на вход линейного тракта напряжения увеличиваются на значение  $K = 7,5 \lg(N-1)$ , дБ, где  $N$  — число распределяемых ТВ сигналов (при определении учитывают, что наличие 4–6 каналов ЧМ вещания эквивалентно по нагрузке линейного тракта сигналом одного ТВ канала).

При измерении в РС отношения сигнала к помехе комбинационной частоты второго порядка (рис. 5.8.4) на вход линейного тракта от двух генераторов подают немодулированные сигналы с частотами  $f_1$  и  $f_2$ , выбранными в рабочей полосе так, что значения комбинационных частот  $f_1 + f_2$  и  $f_1 - f_2$  также находятся в рабочей полосе (рис. 5.8.5). Значения уровней обоих сигналов

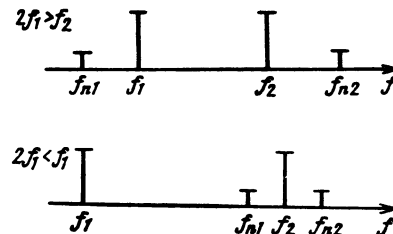


Рис. 5.8.5. К выбору частот испытательных сигналов при измерении искажений второго порядка

на входе линейного тракта по селективному микровольтметру, подключаемому к выходу устройства сложения, устанавливают равными номинальным радиосигнала изображения на входе линейного тракта РС. Подключая микровольтметр к испытуемой точке, измеряют напряжения сигнала  $U$  на частотах  $f_1$  и  $f_2$  и напряжения помех  $U_{\text{п1}}$  и  $U_{\text{п2}}$  на частотах  $f_{\text{п1}}$  и  $f_{\text{п2}}$  соответственно. Отношение сигнала к помехе комбинационной частоты второго порядка

$IMA_{\text{II}(B)} = 20 \lg(U/U_{\text{п}}) \geq 55$  дБ, где  $U_{\text{п}}$  — наибольшее из двух измеренных значений  $U_{\text{п1}}$  и  $U_{\text{п2}}$ .

Наиболее просто измерить ОСШ с помощью селективного микровольтметра. Для этого на вход РС подают сигнал с номинальным уровнем на частоте несущей изображения соответствующего канала приема. Селективным микровольтметром, подключенным к испытуемой точке РС, в квазипиковом режиме измеряют напряжение несущей изображения  $U_c$  соответствующего канала распределения. Затем микровольтметр переключают вверх по частоте на 1,5...2 МГц и в режиме измерения средних значений при полосе пропускания 120 кГц измеряют напряжение шумов. Отношение радиосигнала к шуму,  $20 \lg(U_c/U_{\text{ш}}) = L_c - L_{\text{шп}} - 17$ , где  $L_c$  — уровень несущей изображения, дБмкВ;  $L_{\text{шп}}$  — уровень шумов, фиксируемый селективным микровольтметром, дБмкВ;  $-17$  дБ — коэффициент, учитывающий разницу шумовых полос пропускания селективного микровольтметра (120 кГц) и телевизоров (5,75 МГц). Параметр соответствует норме, если  $20 \lg(U_c/U_{\text{ш}}) \geq 43$  дБ.

Отношение радиосигнала изображения к фоновой по-

мехе определяют путем измерения коэффициента амплитудной модуляции. На вход РС подают сигнал с номинальным уровнем на несущей частоте изображения соответствующего канала приема. Вход прибора, обеспечивающего измерение коэффициента амплитудной модуляции, подключают к испытуемой точке, настраивают на несущую канала, калибруют и измеряют при значении чувствительности 1 или 0,3% и полосе пропускания 20 кГц.

Отношение радиосигнала изображения к фоновой помехе численно равно коэффициенту амплитудной модуляции, выраженному в децибелах. Параметр соответствует норме, если значение этого отношения не менее 46 дБ. Соответствие параметров РС предъявляемым требованиям можно определить методом субъективной оценки. В данном случае параметры считаются приемлемыми, если среднеарифметическая оценка качества изображения на экране телевизора, подключенного к выходу любого абонентского отвода, не менее 3 баллов. При этом, как отмечалось выше, среднеарифметическая оценка качества изображения ТВ приемника, подключенного к выходу фидера снижения антенны, должна быть не менее 4 баллов.

#### Список литературы

- ГОСТ 11216—83. Сети распределительных приемных систем телевидения и радиовещания. Основные параметры, технические требования, методы измерений и испытаний.
- Вильям. А. Рейнфельдер. Разработка малошумящих входных цепей на транзисторах.— М.: Связь, 1967.
- Orville D. Page. CATV Transmission System Desing for Realiabile Vear—Round Operation // IEEE Trans.— 1969.— V. BC-15.— № 4. December.
- Subjective quality for television pictures in relation to the main impairments of the analogue composite television signal // Report 960 CCIR. Doc. of the XV the Plenary assembly Geneva, 1982.
- Кузнецов В. Д. Отраженные телевизионные сигналы в городских условиях // Электросвязь.— 1975.— № 4.— С. 1—7.
- ГОСТ 7845—79. Система вещательного телевидения. Основные параметры. Методы измерений.
- Антенные устройства для сложных условий ТВ приема / В. Д. Кузнецов, А. А. Кукаев, Н. А. Реушкин, Н. Н. Шергин // Электросвязь.— 1988.— № 7.— С. 57—61.
- Кузнецов В. Д., Парамонов В. К. Широкополосный трехдецибелный делитель с развязанными выходами // Электросвязь.— 1969.— № 5.
- Кузнецов В. Д., Реушкин Н. А. Диапазонные моштовые устройства для неравного деления мошности // Электросвязь.— № 2.— 1977.— С. 54—57.
- Кузнецов В. Д., Реушкин Н. А. Направленный ответвитель с постоянным коэффициентом деления // Электросвязь.— 1980.— № 6.— С. 55—57.
- Реушкин Н. А. Делитель мошности с автотрансформаторной связью // Электросвязь.— 1986.— № 6.— С. 38—40.
- Ефимов И. Е., Останькович Г. А. Радиочастотные линии передачи.— М.: Связь, 1977.
- Пименов В. М., Бранзбург Б. Я., Колесников В. А. Кабели для систем кабельного телевидения.— М.: Связь, 1980.
- Дорезюк Н. И., Попов М. Ф. Радиочастотные кабели высокой регулярности.— М.: Связь, 1979.
- VHF и UHF Propagation Curves for the Frequency Range from 30 MHz to 1000 MHz. Rec. 370—5 // Recommendations and Reports of the CCIR, 1986.
- ГОСТ 18198—85. Приемники телевизионные. Общие технические условия.
- IEC Standard Cable Distribution Systems, Publication 728—I, 1986.
- Дуганов Г. В., Романов В. А. Погрешность измерения напряженности поля технических средств телевизионного и ОВЧ—ЧМ вещания // Труды НИИР.— 1986.— № 4.
- Реушкин Н. А. Системы коллективного телевизионного приема.— М.: Радио и связь, 1992.

## Содержание

Предисловие . . . . .	3	2.2.1. Апертурные характеристики . . . . .	68
Введение . . . . .	4	2.2.2. Коррекция апертурных искажений . . . . .	69
Краткая хронология развития телевизионной техники . . . . .	5	Список литературы . . . . .	77
Список литературы . . . . .	10	2.2.3. Амплитудные характеристики . . . . .	77
<b>Часть 1. Теоретические основы телевидения . . . . .</b>	<b>12</b>	2.2.4. Нелинейные искажения сигналов и их коррекция . . . . .	78
1.1. Источники оптического излучения . . . . .	12	2.2.5. Шумы преобразователя . . . . .	80
1.2. Основные светотехнические величины . . . . .	13	2.2.6. Методы улучшения отношения сигнал-шум . . . . .	82
Список литературы . . . . .		2.2.7. Спектральные характеристики . . . . .	83
1.3. Зрительный анализатор человека. Основные характеристики . . . . .	14	Список литературы . . . . .	84
Список литературы . . . . .	18	<b>2.3. Линейные искажения сигнала в телевизионном тракте и их коррекция . . . . .</b>	<b>84</b>
1.4. Фотометрия и колориметрия лучистого поля объектов наблюдения . . . . .	18	2.3.1. Средняя (постоянная) составляющая сигнала и ее восстановление . . . . .	84
1.4.1. Основные понятия фотометрии . . . . .	18	2.3.2. Линейные искажения в области малых и больших времен . . . . .	85
1.4.2. Объективные и субъективные характеристики света . . . . .	19	Список литературы . . . . .	89
1.4.3. Трехцветное выражение цветов . . . . .	19	2.3.3. Автоматическая регулировка уровня телевизионного сигнала . . . . .	89
1.4.4. Основные стандарты колориметрии . . . . .	21	Список литературы . . . . .	94
1.4.5. Цветовые системы ТВ тракта . . . . .	23	<b>2.4. Характеристики преобразователя сигнал-свет . . . . .</b>	<b>94</b>
Список литературы . . . . .	23	<b>2.5. Методы адаптивной обработки телевизионного сигнала . . . . .</b>	<b>96</b>
1.5. Описание изображений объектов наблюдения . . . . .	23	2.5.1. Коррекция четкости . . . . .	96
1.5.1. Источник сообщения ТВС . . . . .	23	2.5.2. Коррекция градационных искажений . . . . .	101
1.5.2. Дискретная структура ТВ изображений . . . . .	24	2.5.3. Фильтрация телевизионного сигнала . . . . .	102
1.5.3. Вероятностное описание изображений . . . . .	24	Список литературы . . . . .	105
1.5.4. Информационное описание изображений . . . . .	28	<b>Часть 3. Аппаратура формирования телевизионных программ . . . . .</b>	<b>106</b>
Список литературы . . . . .	29	3.1. Телевизионные центры . . . . .	106
1.6. Принципы телевидения . . . . .	29	3.1.1. Определение, назначение, состав . . . . .	106
1.6.1. Дискретизация изображений . . . . .	29	3.1.2. Этапы и тенденции развития телецентров . . . . .	106
1.6.2. Анализ телевизионного изображения . . . . .	31	3.1.3. Технология телепроизводства и структура телецентров . . . . .	108
1.6.3. Описание полного телевизионного сигнала . . . . .	33	3.1.4. Технические требования . . . . .	109
1.6.4. Синтез телевизионного изображения . . . . .	34	Список литературы . . . . .	110
Список литературы . . . . .	35	<b>3.2. Аппаратно-студийный комплекс . . . . .</b>	<b>110</b>
1.6.5. Синхронизация и фазирование . . . . .	35	3.2.1. Аппаратно-студийный блок . . . . .	110
1.6.6. Параметры телевизионного изображения . . . . .	37	3.2.2. Аппаратно-программный блок . . . . .	114
1.6.7. Восприятие телевизионных изображений . . . . .	41	3.2.3. Центральная аппаратная . . . . .	114
1.6.8. Обобщенная схема ТВС. Требования к основным элементам . . . . .	45	3.2.4. Телекинопроекционная аппаратная . . . . .	114
1.6.9. Передача стереоскопических изображений . . . . .	46	3.2.5. Аппаратные видеозаписи и электронного монтажа . . . . .	115
Список литературы . . . . .	47	<b>3.3. Внестудийные средства телевизионного вещания . . . . .</b>	<b>118</b>
1.7. Стандарты и системы вещательного телевидения . . . . .	47	3.3.1. Определения . . . . .	118
1.7.1. Основные телевизионные стандарты и системы . . . . .	47	3.3.2. Передвижные ТВС . . . . .	119
1.7.2. Построение цветных ТВС . . . . .	25	3.3.3. Репортажные ТВС . . . . .	121
1.7.3. Система СЕКАМ . . . . .	55	3.3.4. Средства телевизионной журналистики (видеожурналистики) . . . . .	122
1.7.4. Система НТСЦ . . . . .	59	<b>3.4. Системы синхронизации . . . . .</b>	<b>122</b>
1.7.5. Система ПАЛ . . . . .	61	3.4.1. Основные определения . . . . .	122
Список литературы . . . . .	63	3.4.2. Синхронизация АСБ, АПБ, ПТС . . . . .	123
<b>Часть 2. Формирование и обработка сигналов . . . . .</b>	<b>64</b>	3.4.3. Централизованная синхронизация АСК . . . . .	125
2.1. Телевизионный сигнал и его свойства . . . . .	64	3.4.4. Синхронизация внешних источников программ . . . . .	126
2.1.1. Формирование полного ТВ сигнала (ПТВС) . . . . .	64	<b>3.5. Передающие телевизионные камеры . . . . .</b>	<b>128</b>
2.1.2. Уровни ПТВС . . . . .	65	3.5.1. Преобразователи свет-сигнал . . . . .	128
2.1.3. Спектр ПТВС . . . . .	66	3.5.2. Студийные и внестудийные камеры . . . . .	134
2.1.4. Статистические характеристики . . . . .	67		
2.2. Характеристики преобразователей свет-сигнал . . . . .	68		

3.5.3. Репортажные телевизионные камеры . . .	140	4.4.2. Первые ТВ радиопередатчики . . . . .	260
3.5.4. Бытовые телевизионные камеры . . . . .	144	4.4.3. Радиопередатчики «Якорь» и «Ураган» . .	262
3.5.5. Системы автоматической настройки камер .	145	4.4.4. Радиопередатчики «Игла», «Лен» и «Дон» .	262
3.5.6. Система формирования раstra . . . . .	152	4.4.5. Радиопередатчик АТРС . . . . .	264
Список литературы . . . . .	154	4.4.6. Радиопередатчики «Ладога» и «Ильмень» .	264
3.6. Телекино- и диапроекторы . . . . .	155	4.4.7. Транзисторные передатчики . . . . .	265
3.6.1. Общие сведения . . . . .	155	4.5. Ретрансляторы малой мощности . . . . .	265
3.6.2. Телекинопроекторы с передающими труб- ками . . . . .	155	4.5.1. Параметры и построение . . . . .	265
3.6.3. Телекинопроекторы с бегущим лучом . . .	156	4.5.2. Телевизионные ретрансляторы с демоду- ляцией . . . . .	266
3.6.4. Телекинопроекторы с однострочными ПЗС .	160	4.5.3. Телевизионные ретрансляторы с перено- сом спектра . . . . .	267
3.6.5. Теледиапроекторы . . . . .	162	4.6. Антенно-фидерные устройства . . . . .	268
Список литературы . . . . .	163	4.6.1. Требования к передающим антеннам . . .	268
3.7. Кодировочные устройства системы СЕКАМ .	168	4.6.2. Элементы антенн . . . . .	269
3.7.1. Кодеры для ТВ комплексов . . . . .	168	4.6.3. Конструкции антенн . . . . .	270
3.7.2. Особенности работы кодеров . . . . .	171	4.6.4. Антенны для многопрограммного вещания .	273
3.8. Аппаратура формирования сигналов ТВ про- грамм . . . . .	172	4.6.5. Фидер . . . . .	275
3.8.1. Видеокоммутаторы . . . . .	172	4.7. Использование искусственных спутников Зем- ли для ТВ вещания . . . . .	276
3.8.2. Видеомикшеры . . . . .	176	4.7.1. Место спутниковых систем передачи в се- ти ТВ вещания . . . . .	276
3.8.3. Генераторы спецэффектов . . . . .	179	4.7.2. Баллистические параметры средств спут- никовой связи . . . . .	276
Список литературы . . . . .	185	4.7.3. Радиотехнические параметры средств спутниковой связи . . . . .	278
3.8.4. Системы электронной рирпроекции . . . .	185	4.7.4. Спутниковая система связи для ТВ ве- щания . . . . .	279
3.8.5. Телевизионные электрогенераторы . . . .	190	Список литературы . . . . .	281
3.8.6. Устройства синтеза ТВ изображений на основе светового пера . . . . .	193	Часть 5. Системы коллективного приема теле- видения . . . . .	283
Список литературы . . . . .	199	5.1. Структура систем . . . . .	283
3.9. Консервация ТВ программ . . . . .	199	5.2. Искажения сигналов в приемных распреде- лительных системах . . . . .	284
3.9.1. Видеозапись на магнитную ленту . . . .	199	5.2.1. Параметры систем . . . . .	284
3.9.2. Видеозапись на диски . . . . .	218	5.2.2. Диаграмма уровней сигналов . . . . .	285
3.9.3. Запись ТВ изображений на киноленту . .	221	5.2.3. Запаздывающие сигналы . . . . .	287
Список литературы . . . . .	223	5.3. Антенны . . . . .	288
3.10. Звуковое оборудование . . . . .	224	5.3.1. Требования к приемным антеннам . . . .	288
3.10.1. Звуковой сигнал и его характеристики .	224	5.3.2. Антенны для СКТП . . . . .	289
3.10.2. Звуковые комплексы . . . . .	226	5.3.3. Антенны для КСКТП и СКТ . . . . .	289
3.10.3. Функциональные узлы и элементы зву- кового тракта . . . . .	230	5.4. Входные усилительно-преобразовательные устройства . . . . .	291
Часть 4. Телевизионная передающая сеть . . .	237	5.4.1. Оборудование для СКТП . . . . .	291
4.1. Построение сетей ТВ вещания . . . . .	237	5.4.2. Оборудование для КСКТП и СКТ . . . .	292
4.1.1. Структура сетей . . . . .	237	5.5. Оборудование линейных трактов . . . . .	296
4.1.2. Телевизионные стандарты и частоты . . .	237	5.5.1. Усилители . . . . .	296
4.1.3. Основы планирования сети . . . . .	239	5.5.2. Ответвители . . . . .	298
4.2. Радиочастотные параметры передающей сети .	241	5.6. Коаксиальные радиочастотные кабели . . . .	302
4.2.1. Распространение радиоволн вещательного диапазона . . . . .	241	5.6.1. Типы, размерный ряд, обозначения . . .	302
4.2.2. Напряженность поля, создаваемая ПТС . .	243	5.6.2. Основные электрические характеристики .	302
4.2.3. Защитные отношения . . . . .	246	5.6.3. Стойкость кабелей к механическим и кли- матическим воздействиям . . . . .	303
4.3. Телевизионные радиопередатчики . . . . .	249	5.6.4. Номенклатура и параметры кабелей . . .	304
4.3.1. Построение ТВ радиопередатчиков . . . .	249	5.7. Рекомендации по расчету приемных распре- делительных систем . . . . .	306
4.3.2. Возбудители . . . . .	251	5.8. Измерения основных параметров распреде- лительных систем . . . . .	309
4.3.3. Модуляция в канале изображения . . . .	252	Список литературы . . . . .	311
4.3.4. Коррекция искажения в канале изобра- жения . . . . .	253		
4.3.5. Элементы тракта высокой частоты . . . .	257		
4.3.6. Структурная схема канала изображения .	259		
4.4. Оборудование ТВ радиопередатчиков . . . .	260		
4.4.1. Классификация и параметры оборудова- ния . . . . .	260		

**МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ**

**Лаборатория цифрового радиовещания**

- \* для повышения качества и комфорта при телефонных переговорах абонентов с пониженным слухом
- \* для любых телефонных аппаратов общего пользования

**ПРЕДЛАГАЕТ:**

**УСИЛИТЕЛЬ  
и  
ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОФОН**

Регулировка уровня усиления на приеме составляет 18 дБ. Уровень шумов и нелинейных искажений при передаче снижается в 20...30 раз.

Кроме того, при повышенном уровне приема понижаются шумы и нелинейные искажения, а также возможность самовозбуждения абонентского устройства.

Питание от телефонной сети.

**Адрес:**

105855, Москва, Авиамоторная ул., д. 8а, МТУСИ,

Научно-исследовательская часть

**Телефон:**

362-58-18