

629.13(075)

Б 261

Ф. И. Барсуков, А. И. Величкин, А. Д. Сухарев

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ф. И. Барсуков, А. И. Величкин,
А. Д. Сухарев

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Под редакцией проф. А. И. Величкина

*Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР в качестве учебного
пособия для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Радиотехника»*



МОСКВА «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1979

УДК 621.397:629.7(07)

Барсуков Ф. И., Величкин А. И., Сухарев А. Д. Телевизионные системы летательных аппаратов: Учеб. пособие для вузов./ Под ред. А. И. Величкина.— М., Сов. радио, 1979.— 256 с.

В книге кратко излагаются общие принципы построения и особенности работы основных типов телевизионных систем летательных аппаратов (систем обзора земной поверхности и поверхности других планет, телевизионных систем посадки, телевизионных прицелов, вертолетных телевизионных установок и др.). Определяются задачи, которые решаются с помощью телевизионных систем летательных аппаратов. Анализируются статистические и специальные характеристики телевизионных сигналов для случая обзора земной поверхности. Излагаются методы построения радиоканалов телевизионных систем и возможности их уплотнения. Рассматриваются вопросы синтеза телевизионных автоматов различного назначения, автоматические телевизионные измерители координат объектов систем самонаведения и командного управления.

Книга предназначена для студентов радиотехнических специальностей авиационных вузов и факультетов, а также для специалистов, занимающихся вопросами прикладного использования телевизионных систем.

Рис. 144, табл. 10, библи. 49 назв.

Рецензенты:

кафедра радиопередающих и телевизионных устройств Ленинградского института авиационного приборостроения (заведующий кафедрой, д-р техн. наук, проф. *Н. Н. Красильников*);
доцент Ленинградского электротехнического института связи
канд. техн. наук, доц. *А. Г. Кондратьев*.

*Редакция литературы по вопросам космической
радиоэлектроники*

Б 30403-035 01-79 2402020000
046(01)-79

© Издательство «Советское радио», 1979 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вещательное телевидение в нашей стране является могучим средством коммунистического воспитания трудящихся. В настоящее время решается задача полного обеспечения телевизионным вещанием всей территории Советского Союза. Телевизионные (ТВ) системы прикладного характера все более широко используются при решении научных и инженерно-технических задач. За последнее время особенно интенсивно ТВ техника стала применяться на космических и атмосферных летательных аппаратах.

Если на первых порах применение ТВ систем для решения прикладных задач основывалось на приспособлении вещательной ТВ аппаратуры, то в настоящее время существует ряд направлений развития ТВ техники, не связанных с вещательным телевидением. Это объясняется главным образом спецификой задач, решаемых ТВ системами прикладного назначения, и условиями работы этих систем.

Годы, прошедшие с момента запуска первого искусственного спутника Земли, были годами интенсивнейшего развития и совершенствования техники космических исследований. Создание возвращаемых и невозвращаемых на Землю космических автоматических аппаратов, а также пилотируемых космических кораблей было бы невозможным без использования специально разработанных сложных радиотехнических комплексов, обеспечивающих управление космическими объектами, функционирование и контроль за их состоянием.

Получение изображений объектов при проведении космических исследований возможно с использованием фотографии и радиолокации. Однако фотографические способы неприменимы в случае использования невозвращаемых на Землю космических аппаратов и не могут конкурировать с ТВ системами по оперативности передачи данных. Радиолокационные системы работают независимо от погодных условий и освещенности, позволяют получать, кроме радиолокационного изображения, информацию о дальности до исследуемого объекта. Вместе

с тем четкость радиолокационных изображений (их детальность) значительно уступает четкости ТВ изображений.

При исследовании космоса ряд задач не может быть решен или решается неоптимально при использовании стандартной аппаратуры вещательного телевидения из-за несогласования характеристик этой аппаратуры с характеристиками наблюдаемых объектов, условиями их освещенности и большой протяженностью космической линии связи.

Телевизионные системы на атмосферных летательных аппаратах так же, как и космические телевизионные системы, работают в условиях, резко отличных от условий работы вещательных ТВ систем: при наблюдении земной поверхности могут значительно изменяться условия освещенности, дальности ТВ наблюдения и передачи информации по линии связи; ТВ передача ведется при значительной скорости относительного углового и радиального перемещения сюжета передачи и передающей телевизионной камеры; бортовая ТВ аппаратура, часто работающая без оператора, ограничивается по габаритам, массе и потребляемой энергии.

В настоящей книге сделана попытка дать систематизированное изложение особенностей построения и использования ТВ систем летательных аппаратов, которые должны знать радиоинженеры, разрабатывающие и эксплуатирующие эти системы. К сожалению, из-за малого объема книги многие вопросы в ней изложены конспективно. Для углубленного изучения общих вопросов телевидения авторы рекомендуют книги [1—5], а для изучения специальных вопросов [6—12].

Главы 1—4 книги (кроме § 3.5—3.7, 4.5) написаны А. И. Величкиным, § 3.5—3.7, 4.5, гл. 5, 6 — Ф. И. Барсуковым совместно с А. Д. Сухаревым, глава 7 — Ф. И. Барсуковым. Общее редактирование книги осуществлено А. И. Величкиным.

Авторы благодарны рецензентам д-ру техн. наук, проф. Н. Н. Красильникову и канд. техн. наук, доц. А. Г. Кондратьеву за ценные замечания и советы, способствовавшие улучшению книги.

Глава 1

СВЕТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ

Телевидением называется передача изображений на расстояние по электрическим каналам связи. Иногда телевидением называют наблюдение на расстоянии. Это определение справедливо для вещательного телевидения, в котором изображение воспринимает человек. В специальном телевидении переданное изображение не обязательно непосредственно наблюдается человеком, часто электрические сигналы, несущие информацию об этом изображении, вводятся в различные запоминающие или анализирующие устройства. Поэтому мы будем использовать первое определение.



Рис. 1.1. Структурная схема ТВ системы.

Совокупность оптических, электронных и радиотехнических устройств, служащих для передачи изображения на расстояние, образует телевизионную систему. Структурная схема ТВ системы в самом общем виде приведена на рис. 1.1. В схеме протекают следующие процессы. Излучение объекта воздействует на первичный преобразователь, в котором оно преобразуется в электрические сигналы, передаваемые затем по каналу связи. На приемной стороне во вторичном преобразователе принятые электрические сигналы преобразуются в изображение объекта.

Первичным преобразователем излучение объекта может фиксироваться в оптическом диапазоне (видимой его части или инфракрасной) и радиодиапазоне. В соответствии с этим меняется и тип преобразователя. В оптическом диапазоне применяются электронные преобразователи или оптико-механические устройства (фототелеграфные и инфракрасные системы). В ТВ системе передачи радиолокационного изображения, работающей в радиодиапазоне, первичным преобразователем является приемник радиолокационной станции.

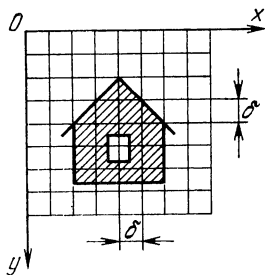


Рис. 1.2. Разложение изображения на элементы.

Тип вторичного преобразователя ТВ системы зависит от характера изображения, которое может быть плоским или объемным, черно-белым или цветным, подвижным или неподвижным. Характер ТВ изображения на выходе системы определяется решаемой ею задачей. Так, в телевизионных системах летательных аппаратов чаще всего пере-

даются плоские черно-белые изображения (подвижные или неподвижные). Применительно к системам посадки возникает задача создания телевизионных систем с объемными изображениями. При исследовании земной поверхности и планет солнечной системы применяются ТВ системы с цветными изображениями.

В качестве вторичных преобразователей используются главным образом электронно-лучевые приемные трубки (кинескопы). Подвижные изображения наблюдаются непосредственно на экране кинескопа. Неподвижные изображения фиксируются на фотоснимках с помощью обычных или специальных фотоаппаратов (регистрирующих устройств).

Принцип ТВ передачи рассмотрим на наиболее простом примере плоского черно-белого неподвижного изображения (рис. 1.2). Оно описывается распределением яркости $B(x, y)$ в прямоугольной системе координат x, y . Разобьем поле изображения (кадр) на элементы размером δ . Если величину δ выбрать достаточно малой, то, передавая по каналу связи значение яркости каждого элемента, на приемной стороне с достаточно малой погрешностью (зависящей от δ) можно построить изобра-

жение объекта. Разбиение поля изображения на элементы называется пространственной дискретизацией.

Возможны два способа передачи яркости элементов на приемную сторону: одновременный и последовательный. Одновременный способ передачи можно осуществить с помощью многоканальной линии связи, в которой число каналов должно быть равно числу элементов в кадре. В современных системах эта величина очень большая. Например, в вещательном телевидении в соответствии с принятым стандартом число элементов в кадре составляет примерно $0,5 \cdot 10^6$. Чаще всего применяется последовательная передача яркости элементов изображения. Устройство с небольшим числом каналов при одновременной передаче реализуются на основе волоконных световодов.

Преобразование двумерного (плоского) изображения в одномерный электрический сигнал при последовательной передаче изображения называется разверткой. На практике применяются различные виды развертки, которые подробно рассматриваются в гл. 2. В качестве примера рассмотрим линейную развертку изображения. На рис. 1.3,а

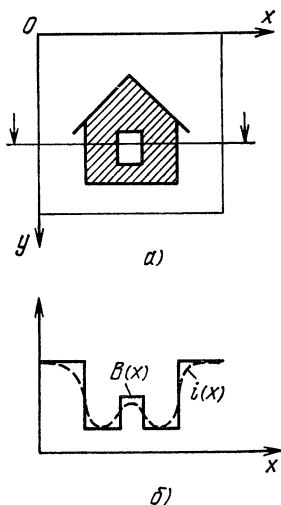


Рис. 1.3. Развертка изображения по строке.

показана развертка изображения вдоль одной строки, а на рис. 1.3,б — закон изменения яркости вдоль этой строки $B(x)$. В ТВ системах развертка изображения производится световым или электронным лучом. Луч чаще всего имеет круглое сечение, его диаметр в плоскости объектов δ_1 называется апертурой луча. Закон изменения тока на выходе первичного преобразователя $i(x)$ при развертке вдоль строки отличается от закона изменения яркости тем, что резкие изменения яркости на кривой изменения тока сглажены. Это искажение, возникающее в процессе первичного преобразования, называется апертурным искажением. Апертурное искажение снижает разрешающую способность телевизионной системы и является вредным. Для его ослабления следует уменьшать апертуру луча первичного преобразователя, но

в этом случае начинает сказываться другой фактор. В процессе первичного преобразования энергии излучение объекта собирается с площади, пропорциональной квадрату апертуры луча. Следовательно, чем больше апертура луча, тем выше чувствительность системы. Из этого следует, что у ТВ систем значения таких характеристик, как разрешающая способность и световая чувствительность, должны выбираться компромиссно, в соответствии с условиями применения и решаемыми задачами.

Необходимо отметить, что связь разрешающей способности и световой чувствительности не является однозначной. На нее влияет время накопления энергии излучения: чем больше это время, тем выше чувствительность телевизионной системы при фиксированной разрешающей способности. Однако увеличивать время накопления, уменьшая скорость развертки, можно только при передаче изображений неподвижных или малоподвижных объектов. Следовательно, телевизионные системы, предназначенные для передачи изображений неподвижных или малоподвижных объектов, могут быть более чувствительными, чем системы, предназначенные для передачи изображений быстродвижущихся объектов (при одинаковой разрешающей способности).

На приемной стороне системы во вторичном преобразователе синтез изображения осуществляется электронным или световым лучом, имеющим апертуру δ_2 . Здесь также возникают апертурные искажения, однако апертура луча вторичного преобразователя δ_2 не связана с чувствительностью системы. Поэтому обычно выбирается $\delta_2 < \delta_1$.

В телевидении часто используется понятие «апертура системы» δ , которую определяют по формуле

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}. \quad (1.1)$$

Здесь δ_1 и δ_2 — апертуры лучей первичного и вторичного преобразователей; $\delta_3 \dots \delta_n$ — эквивалентные апертуры других элементов телевизионной системы. Формула (1.1) является приближенной и обосновывается предположением, что апертурные искажения в различных элементах ТВ системы являются случайными и независимыми. Мощность апертурных искажений принимается пропорциональной квадрату апертуры. При этих предположениях результирующая мощность искажений равна

сумме мощностей искажений в отдельных элементах, что приводит к формуле (1.1).

Таким образом, основным принципом ТВ передачи изображений является поэлементная передача значений яркости отдельных элементов изображения, осуществляемая путем развертки (анализа) пространственно-временного поля объекта на передающей стороне и свертки (синтеза) изображения на приемной стороне. Для того

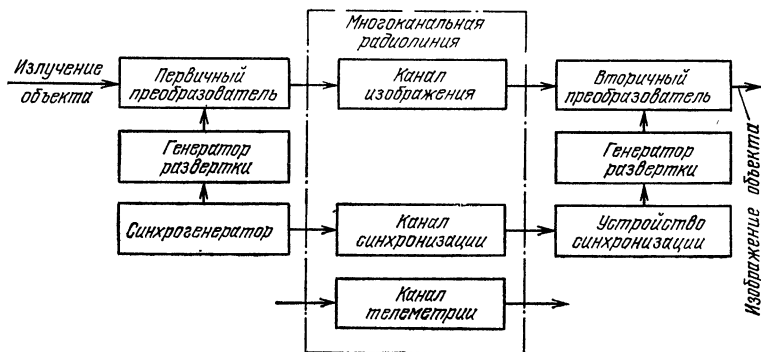


Рис. 1.4. Структурная схема ТВ системы с совмещенной линией связи.

чтобы не происходило искажения, воспроизводимого на выходе ТВ системы, законы развертки и свертки изображения должны быть одинаковыми и протекать синхронно. Для обеспечения этих условий в телевизионную систему включаются устройства синхронизации разверток анализирующего элемента передающей стороны и синтезирующего элемента приемной стороны. Поэтому в ТВ системе помимо канала для передачи видеосигналов, интенсивность которых характеризует яркость отдельных элементов сюжета передачи, должен быть отдельный канал для передачи сигналов синхронизации. Кроме того, при полетах летательных аппаратов с ТВ системами часто возникает необходимость в передаче дополнительной (телеметрической) информации о параметрах полета (координатах, курсе, скорости и т. д.), режимах работы отдельных его агрегатов и систем. Для этого также необходимы отдельные информационные каналы.

Чаще всего телевизионная система выполняется с одной многоканальной линией связи, совмещающей каналы передачи видеосигналов, сигналов синхронизации и телеметрии. На рис. 1.4 в общем виде приведена структурная схема ТВ системы с совмещенной линией связи.

1.2. СВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ И ОСВЕЩЕННОСТЬ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Для понимания процессов электронно-оптических преобразований в ТВ системах необходимо кратко ознакомиться с особенностями освещения объектов, их световыми характеристиками, параметрами светового потока, поступающего на первичный преобразователь.

Электромагнитное излучение, длина волны которого λ заключена в диапазоне от 0,2 до 100 мкм, называют оптическим. Оптический диапазон делится на ультрафиолетовый (0,2—0,380 мкм), видимый (или световой) (0,380—0,760 мкм) и инфракрасный (0,76—100 мкм).

Таблица 1.1

Величина	Единица	Обозначение	Связь между единицами
Сила света I	кандела	кд	
Световой поток F	люмен	лм	кд · ср
Освещенность E	люкс	лк	лм/м ²
Яркость B	кандела на квадратный метр	кд/м ²	кд/м ²

Человеческий глаз воспринимает излучение в видимом диапазоне. В светотехнике принято производить измерения и оценивать характеристики излучения в световых единицах. Особенность световых единиц заключается в том, что с их помощью эффект излучения оценивается так, как оценивает его человеческое зрение. Основные световые единицы приведены в табл. 1.1. Поясним физический смысл этих величин. Сила света I — часть мощности излучения, воспринимаемая человеческим зрением и приходящаяся на единицу телесного угла. Световой поток F — часть мощности излучения, воспринимаемая человеческим зрением и приходящаяся на заданный телесный угол. Освещенность E определяется световым

потоком, падающим перпендикулярно поверхности и приходящимся на единицу площади. Яркость B измеряется силой света, излучаемого перпендикулярно с единичной поверхности источника. При диффузном отражении яркость отражающей поверхности B и ее освещенность связаны соотношением $B = E\rho/\pi$, где ρ — коэффициент отражения.

Для установления связи между световыми и энергетическими величинами приравняем по зрительному ощущению излучение эталонного источника со световым потоком F и монохроматическое излучение на волне λ мощностью $\Phi(\lambda)$. Изменяя λ , получим график коэффициента ощущения $v(\lambda) = F/\Phi(\lambda)$, характеризующий относительную чувствительность глаза человека на разных длинах волн (рис. 1.5). Коэффициент ощущения максимален $v(\lambda) = 683$ лм/Вт при $\lambda = 0,55$ мкм.

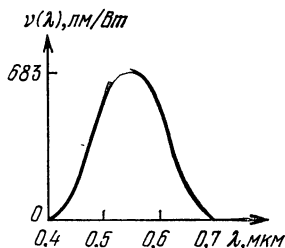


Рис. 1.5. Зависимость коэффициента ощущения от длины волны.

Излучение реального источника можно характеризовать спектральной интенсивностью излучения $f(\lambda)$ [Вт/м], которая равна мощности излучения, приходящейся на единичный интервал длин волн, расположенных вокруг λ . Используя величины $v(\lambda)$ и $f(\lambda)$, можно определить световой поток реального источника по формуле

$$F = \int_0^{\infty} v(\lambda) f(\lambda) d\lambda.$$

Помимо величин, указанных в табл. 1.1, в телевидении и аэрофотографии используются следующие дополнительные характеристики:

1. Контраст объекта

$$K = (B_1 - B_2) / (B_1 + B_2) \quad (B_1 > B_2).$$

Эта величина характеризует относительный перепад яркости двух объектов (или объекта и фона).

2. Спектральный коэффициент отражения светового потока

$$\rho(\lambda) = f_2(\lambda) / f_1(\lambda).$$

Здесь $f_1(\lambda)$ — спектральная интенсивность падающего (на объект) потока; $f_2(\lambda)$ — спектральная интенсивность отраженного потока.

Часто отражающую способность поверхности характеризуют интегральным коэффициентом отражения светового потока $\rho = F_2/F_1$. Здесь F_1 и F_2 — соответственно падающий и отраженный световые потоки.

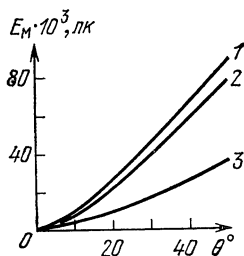


Рис. 1.6. Зависимость освещенности поверхности Земли от высоты Солнца:

1 — редкие кучевые облака; 2 — безоблачно; 3 — сплошная облачность.

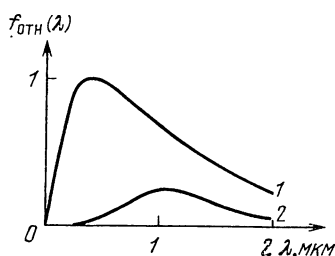


Рис. 1.7. Зависимость относительной спектральной интенсивности солнечного света от длины волны при высоком (1) и низком (2) положении Солнца.

Большинство элементов местности отражает свет диффузно. Это значит, что сила света $I(\varphi)$ в направлении, составляющем угол φ с нормалью к поверхности, подчиняется закону Ламберта

$$I(\varphi) = I_n \cos \varphi,$$

где I_n — сила света в нормальном направлении. Исключение составляют водная поверхность и снег с настом. Водная поверхность наряду с небольшим диффузным отражением ($\rho \approx 0,68 - 0,035$) обладает зеркальным отражением, проявляющимся при ясной погоде в виде бликов. Снег с настом обладает полудиффузным отражением.

3. Спектральный коэффициент пропускания светового потока

$$\tau(\lambda) = f_2(\lambda) / f_1(\lambda).$$

Здесь $f_1(\lambda)$ — спектральная интенсивность падающего потока; $f_2(\lambda)$ — спектральная интенсивность прошедшего через слой потока. Одной из характеристик является интегральный коэффициент пропускания светового потока,

равный отношению прошедшего F_3 и падающего F_1 световых потоков: $\tau = F_3/F_1$.

Местность под летательным аппаратом может освещаться естественными источниками света: Солнце, звезды и люминесцирующие верхние слои атмосферы, а также освещаемые Солнцем Луна и атмосфера. В качестве искусственных источников света чаще всего применяют лазеры.

Т а б л и ц а 1.2

Условия наблюдения	Освещенность, лк
Полная Луна при безоблачном небе	0,2
Полная Луна при средней облачности	0,05—0,1
Безлунная безоблачная ночь	0,001—0,002
Безлунная ночь при средней облачности	0,0005—0,001
Безлунная ночь при плотной облачности	0,0002

Естественная освещенность местности меняется в течение года и суток, она зависит от метеорологических условий, географической широты места наблюдения и высоты Солнца. На рис. 1.6 приведены графики экспериментально определенной зависимости освещенности местности E_m от высоты Солнца θ . Освещенность земной поверхности ночью характеризуется значениями, приведенными в табл. 1.2.

Часто недостаточно знать среднюю освещенность, а надо еще знать спектральную интенсивность. Проходя атмосферу, солнечные лучи изменяют свой спектральный состав вследствие поглощения, которое в зависимости от времени года, суток и широты местности бывает различным. Два графика спектральной интенсивности солнечного света у поверхности Земли приведены на рис. 1.7. Кривые построены в относительных единицах и для практического использования их необходимо пронормировать. Условие нормировки имеет вид

$$E = \int_0^{\infty} \nu(\lambda) f(\lambda) d\lambda. \quad (1.2)$$

Здесь $f(\lambda)$ — спектральная интенсивность потока излучения, приходящегося на 1 м^2 земной поверхности. Величины $\nu(\lambda)$ и E даны соответственно на рис. 1.5 и 1.6.

Для приближенных расчетов можно использовать ин-

тегральный коэффициент отражения светового потока. Значения коэффициента отражения для некоторых видов поверхности приведены в табл. 1.3.

Для более детальных расчетов следует использовать данные о спектральном коэффициенте отражения. Графики зависимости спектрального коэффициента отражения от длины волны для наиболее распространенных элементов местности приведены на рис. 1.8 [8].

Таблица 1.3

Вид поверхности	Состояние поверхности	
	сухая	мокрая
Песок	0,31	0,18
Суглинок	0,15	0,08
Чернозем	0,07	0,05
Бетон	0,17	0,1
Асфальт	0,1	0,07
Трава	0,14	0,09
Снег	0,78	—

Используя данные, приведенные на рис. 1.8, можно построить график зависимости среднего по площади коэффициента отражения от длины волны для определенной местности. Для этого надо знать, какую часть

поверхности кадра занимают различные элементы местности, и произвести усреднение графиков приведенных

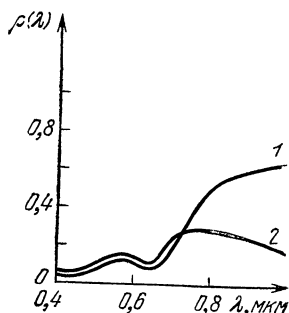
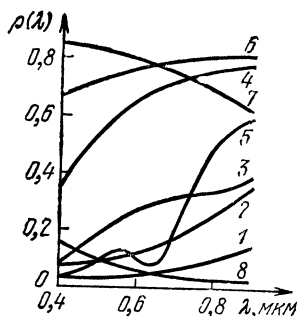


Рис. 1.8. Зависимость спектрального коэффициента отражения от длины волны:

1 — чернозем, грунтовые дороги; 2 — глина, шоссе; 3 — песок; 4 — известняк; 5 — лиственный лес летом и сочная трава; 6 — снег, покрытый коркой; 7 — свежий снег; 8 — водная поверхность.

Рис. 1.9. Зависимость спектрального коэффициента отражения от длины волны для естественной зелени (1) и зеленой краски (2).

на рис. 1.8, с весом, равным вкладам соответствующих элементов.

На рис. 1.9 приведены графики спектрального коэффициента отражения естественной зелени и маскировочной зеленой краски. В видимом свете ($\lambda=0,4-0,7$ мкм)

коэффициенты отражения совпадают, но они сильно различаются в инфракрасной области ($\lambda > 0,7$ мкм). Значительное увеличение яркости зеленой растительности в инфракрасной области трудно имитировать с помощью зеленой маскировочной краски. Поэтому ТВ устройства, чувствительные к инфракрасным лучам, могут облегчить обнаружение замаскированных объектов на фоне зелени по разнице коэффициентов отражения. Способ ТВ наблюдения в определенной узкой области длин волн называется спектрозональным.

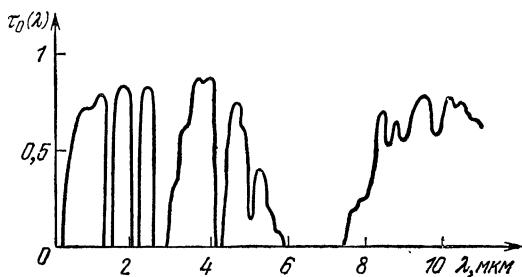


Рис. 1.10. Зависимость коэффициента пропускания атмосферы от длины волны.

При прохождении светового потока, отраженного поверхностью Земли, через атмосферу происходят следующие явления, влияющие на работу ТВ системы: ослабление излучения из-за поглощения и рассеяния света, снижение контраста изображения в результате его засветки дымкой и «зашумление» изображения из-за неоднородности дымки. Рассмотрим эти три явления более подробно.

Атмосфера представляет собой среду, содержащую мелкие частицы (молекулы газов и водяного пара, капли воды, дым, кристаллы льда и морской соли), рассеивающие и поглощающие лучистую энергию. Спектральная интенсивность луча, прошедшего слой атмосферы толщиной L , определяется законом Бугера

$$f_2(\lambda) = f_1(\lambda) \tau(\lambda) = f_1(\lambda) \tau_0(\lambda),$$

где $\tau_0(\lambda) = e^{-\alpha(\lambda)}$ — спектральный коэффициент пропускания слоя атмосферы единичной толщины; $\alpha(\lambda)$ — спектральный коэффициент ослабления, равный сумме коэф-

фициентов ослабления, обусловленных рассеянием и поглощением.

Рассеивается излучение любой длины волны, а поглощается излучение, которое приходится на сравнительно узкие «полосы спектра поглощения» молекул газов, входящих в состав атмосферы (рис. 1.10). В видимой части спектра полос поглощения практически нет, здесь ослабление обусловлено только рассеянием и коэффициент преломления меняется мало. В инфракрасной части спектра имеется целый ряд полос поглощения, обусловленных главным образом наличием молекул водяного пара.

В авиации для характеристики замутненности атмосферы используют понятие метеорологической дальности видимости S_m , под которой понимают наибольшую дальность видимости днем темных объектов с угловыми размерами, большими $0,5^\circ$, проектирующихся на фоне неба у горизонта. Между метеорологической дальностью видимости S_m и коэффициентом пропускания атмосферы τ_0 существует связь, которая иллюстрируется данными табл. 1.4. Эти данные позволяют приближенно опреде-

Таблица 1.4

Состояние атмосферы	Балл	τ_0	S_m
Туман:			
очень сильный	0	Менее 10^{-34}	Менее 50 м
сильный	1	$10^{-34}—10^{-8,5}$	50—200 м
заметный	2	$10^{-8,5}—10^{-3,4}$	200—500 м
слабый	3	$10^{-3,4}—0,02$	500—1000 м
Дымка:			
очень сильная	4	0,02—0,14	1—2 км
сильная	5	0,14—0,38	2—4 км
заметная	6	0,38—0,68	4—10 км
слабая	7	0,68—0,82	10—20 км
Хорошая видимость	8	0,82—0,92	20—50 км
Отличная видимость	9	Более 0,92	Более 50 км

лить коэффициент пропускания атмосферы в видимой части спектра для различных состояний атмосферы, характеризующихся баллом видимости или дальностью видимости.

В пределах видимой части спектра коэффициент пропускания приближенно можно считать постоянным и равным (в соответствии с законом Бугера)

$$\tau = \tau_0^{h/\cos \varphi},$$

где φ — угол между линией наблюдения (с самолета) и вертикалью; h — приведенная высота полета самолета, определяемая высотой однородного столба воздуха, масса которого равна массе воздуха под самолетом при атмосферном давлении, равном давлению на уровне моря. Значения приведенной высоты даны в табл. 1.5 (H — фактическая высота полета).

Т а б л и ц а 1.5

H , км	1	2	4	8	16	32
h , км	1	1,77	3,1	5,1	6,7	7,5

Мелкие частицы, находящиеся в атмосфере, вызывают рассеяние излучения и, как следствие этого, свечение атмосферы. Светящаяся атмосфера имеет определенную яркость, называемую яркостью дымки. При наблюдении за объектом с самолета яркость дымки суммируется с яркостью объекта и фона, в результате чего контраст объекта уменьшается. Это видно из следующего простого примера. Предположим, что $B_{об}$, B_{ϕ} и $B_{д}$ — яркости объекта, фона и дымки соответственно, причем $B_{\phi} > B_{об}$. При наблюдении с малой высоты $B_{д} = 0$ и контраст

$$K_1 = (B_{\phi} - B_{об}) / (B_{\phi} + B_{об}).$$

При наблюдении с большой высоты $B_{д} \neq 0$ и контраст

$$K_2 = \frac{(B_{\phi} + B_{д}) - (B_{об} + B_{д})}{B_{\phi} + B_{об} + 2B_{д}} = \frac{B_{\phi} - B_{об}}{B_{\phi} + B_{об} + 2B_{д}},$$

т. е. дымка уменьшает контраст объекта: $K_2 < K_1$. Это снижает вероятность правильного обнаружения и различения объектов.

В телевидении можно компенсировать постоянную составляющую яркости дымки подбором соответствующего смещения электрического сигнала. Компенсация осуществляется на передающей стороне системы путем фиксации уровней черного и белого. Переменная составляющая яркости дымки не может быть компенсирована в ТВ системе, так как она является случайной. Эта составляющая вызывается двумя причинами: неравномерным распределением частиц, рассеивающих свет, и их мерцанием. Она носит характер шума и маскирует мелкие малоконтрастные объекты.

В аэрофотографии существуют формулы для расчета средней яркости дымки. Точных данных об интенсивности переменной составляющей дымки нет. На рис. 1.11 приведен примерный график зависимости спектральной интенсивности излучения дымки в относительных единицах, из которого видно, что с увеличением длины волны интенсивность излучения дымки резко падает. Из этого можно сделать важный вывод, что при телевизионном наблюдении с больших высот, когда дымка сильная, для ее ослабления целесообразно работать в инфракрасном диапазоне.

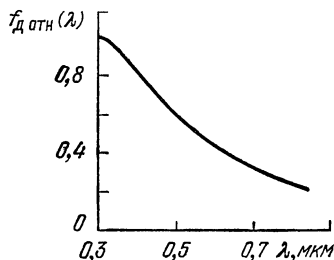


Рис. 1.11. Зависимость относительной спектральной интенсивности излучения дымки от длины волны.

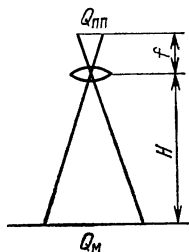


Рис. 1.12. К расчету освещенности первичного преобразователя.

Перейдем к рассмотрению методики расчета освещенности первичного преобразователя. Пусть задана освещенность местности под самолетом $E_{\text{м}}$. Требуется определить освещенность фотокатода первичного преобразователя самолетной ТВ аппаратуры $E_{\text{фк}}$.

Определим среднюю яркость местности: $B_{\text{м}} = E_{\text{м}} \rho / \pi$. Здесь ρ — средний по площади коэффициент отражения местности.

Сила света, излучаемого с площади местности $Q_{\text{м}}$ (рис. 1.12) при вертикальном наблюдении с самолета, равна

$$I_{\text{м}} = B_{\text{м}} Q_{\text{м}} = E_{\text{м}} \rho Q_{\text{м}} / \pi. \quad (1.3)$$

Световой поток, проходящий через объектив самолетной ТВ камеры с площади $Q_{\text{м}}$, равен

$$F = I_{\text{м}} \Omega \tau_{\text{атм}} \tau_{\text{о}}. \quad (1.4)$$

Здесь $\tau_{\text{атм}}$ и τ_0 — коэффициенты пропускания атмосферы и объектива;

$$\Omega = \pi D^2 / 4H^2 \quad (1.5)$$

— телесный угол, в котором излучение точечного источника, расположенного на земной поверхности, проходит через объектив; D — диаметр отверстия объектива; H — высота полета самолета. Подставив (1.3) и (1.5) в (1.4), получим

$$F = E_{\text{мр}} D^2 \tau_{\text{атм}} \tau_0 / 4H^2. \quad (1.6)$$

Освещенность первичного преобразователя самолетной ТВ камеры

$$F_{\text{фк}} = F / Q_{\text{ш}}, \quad (1.7)$$

где $Q_{\text{ш}}$ — площадь фотокатода первичного преобразователя. Произведя замену

$$Q_{\text{ш}} = Q_{\text{м}} (f/H)^2 \quad (1.8)$$

(f — фокусное расстояние объектива), с учетом (1.6) и (1.8) получим окончательно

$$E_{\text{фк}} = 0,25 E_{\text{мр}} \tau_{\text{атм}} \tau_0 (D/f)^2. \quad (1.9)$$

Отношение D/f называется относительным отверстием объектива.

Формула (1.9) может быть использована при решении следующих трех задач:

1. Определение возможности использования данного преобразователя, характеризуемого требуемым значением освещенности $E_{\text{фк}} \text{ треб.}$, в заданных условиях. Для решения этой задачи по формуле (1.9) производится расчет $E_{\text{фк}}$. Если $E_{\text{фк}} > E_{\text{фк}} \text{ треб.}$, то можно использовать данный преобразователь.

2. Определение условий, при которых можно использовать данный преобразователь. В этой задаче по формуле (1.9) рассчитывается требуемая освещенность местности, а затем по графикам рис. 1.6 определяются условия освещенности земной поверхности, при которых возможна работа ТВ системы.

3. Определение относительного отверстия объектива для преобразователя, характеризуемого требуемым значением освещенности, при заданном значении освещенности местности.

1.3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ

Рассматривая изображения объектов и ТВ сигналы как случайные функции, при анализе работы ТВ систем можно использовать вероятностные методы анализа и синтеза. При этом предполагается, что читатели знакомы с вероятностными методами анализа и синтеза радиотехнических систем [13].

Ограничимся рассмотрением статистических характеристик плоских черно-белых изображений местности. Для плоских черно-белых изображений, характерных для вещательного телевидения, они приведены в ряде работ [14—16].

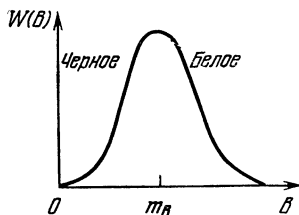


Рис. 1.13. Одномерная плотность вероятности яркости земной поверхности.

Плоское черно-белое изображение является функцией двух переменных $B(x, y)$. Вид функции $B(x, y)$ меняется от одного изображения к другому. Поэтому яркость является случайной функцией. Размер ТВ кадра на местности обычно составляет несколько километров. При таком размере каждый кадр содержит характерные элементы местности. Это позволяет считать изображение $B(x, y)$ эргодической случайной функцией координат x, y .

Характерные размеры элементов земной поверхности (дома, деревья, дороги, реки и т. д.) составляют единицы или десятки метров, что значительно меньше размера кадра. Учитывая, что в кадре укладывается большое число различных элементов, можно определять статистические характеристики изображений путем усреднения по площади кадра.

Плотность вероятности яркости. Одномерная плотность вероятности яркости элементов земной поверхности, наблюдаемой с летательного аппарата, близка к нормальной (рис. 1.13) и приближенно описывается формулой

$$W(B) = \frac{1}{\sigma_B \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(B - m_B)^2}{2\sigma_B^2} \right]. \quad (1.10)$$

Числовые характеристики яркости (математическое ожидание m_B и дисперсия σ_B^2) зависят от характера местности и условий освещения. В солнечный день на изображении заметны глубокие тени и блики на поверхности воды. В этом случае среднеквадратическое отклонение яркости от среднего значения максимально и примерно равно

$$\sigma_B \approx m_B / 3. \quad (1.11)$$

Среднюю яркость можно определить по заданной освещенности местности и среднему (по площади) коэффициенту отражения. При рассеянном освещении земной поверхности через слой облаков тени становятся менее глубокими, а блики отсутствуют и среднеквадратическое отклонение яркости уменьшается по сравнению с величиной (1.11) в несколько раз.

Таким образом, одномерная плотность вероятности яркости близка к нормальной и может быть определена по формуле (1.11). Известные результаты [15] исследования многомерной плотности вероятности изображений показывают, что она также близка к нормальной. Для определения многомерной нормальной плотности вероятности изображения, помимо m_B и σ_B^2 , надо знать нормированную корреляционную функцию $R_B(l)$.

Корреляционная функция изображения. По определению нормированная корреляционная функция имеет вид

$$R_B(l) = \frac{1}{\sigma_B^2} \int_0^\infty \int_0^\infty (B_1 - m_B) (B_2 - m_B) W(B_1, B_2, l) dB_1 dB_2. \quad (1.12)$$

Здесь $W(B_1, B_2)$ — двумерная плотность вероятности яркости; l — расстояние на местности между точками, в которых измеряются яркости B_1 и B_2 .

Как уже отмечалось, при определении статистических характеристик изображений усреднение по множеству, примененное в формуле (1.12), можно заменить усреднением по площади кадра. При достаточно большой (по сравнению с размерами элементов местности) площади кадра Q нормированную корреляционную функцию можно определить по формуле

$$R_B(l) = \frac{1}{\sigma_B^2 Q} \iint_Q [B(x, y) - m_B] [B(x + \Delta x, y + \Delta y) - m_B] dx dy, \quad (1.13)$$

где

$$l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Определение корреляционной функции в соответствии с формулой (1.13) производится с помощью оптических коррелометров [17]. Эти устройства применяются в системах опознавания, работающих по принципу определения взаимной корреляции изображения объектов с изображением эталона, и в ТВ координаторах систем самонаведения. Принцип работы оптического коррелометра показан на рис. 1.14, где 1 и 2 — два одинаковых прозрачных изображения

местности (позитивы, выполненные на фотопленке). Одно изображение может перемещаться относительно другого. Световой поток F от внешнего источника последовательно проходит два позитива и изменяется в соответствии с их коэффициентами пропускания (пропорциональными яркости элементов изображения), затем фокусируется на фотозэлементе, что эквивалентно интегрированию в формуле (1.13). Показания прибора, подключенного к фотозэлементу, пропорциональны значению нормированной корреляционной функции. Ток фотозлемента максимален, когда изображения точно совмещены, и уменьшается по мере смещения одного изображения относительно другого.

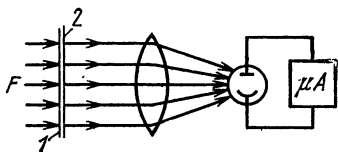


Рис. 1.14. Принципиальная схема оптического коррелометра.

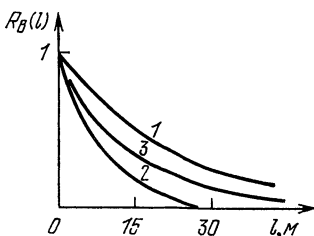


Рис. 1.15. Графики нормированной корреляционной функции изображений местности:

1 — равнинная местность с крупными элементами; 2 — населенный пункт, промышленное предприятие; 3 — усредненные значения

На рис. 1.15 приведены полученные описанным способом кривые корреляционной функции изображений местности. Кривая 3 является средней для большого числа различных изображений и изменяется по экспоненциальному закону:

$$R_B(l) = \exp(-\alpha|l|), \quad (1.14)$$

постоянная которой $1/\alpha = 15$ м. При смене изображений постоянная экспоненты колеблется примерно от 10 до 20 м.

Таким образом, плоское черно-белое изображение местности $B(x, y)$ представляет собой случайную функцию двух координат x, y с нормальной плотностью вероятности (1.10) и экспоненциальным законом изменения корреляционной функции (1.14).

СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

2.1. ВИДЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ РАЗВЕРТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В ТВ системах применяются электронный и световой способы развертки изображений. Электронная развертка, которую называют разверткой в канале формирования видеосигнала, производится с помощью электронно-лучевых приборов — передающих трубок. Эти трубки входят в состав первичного преобразователя и являются их основными элементами. На приемной стороне для синтеза изображения также могут использоваться электронно-лучевые приборы — приемные трубки. Структурная схема ТВ системы с электронной разверткой приведена на рис. 1.4.

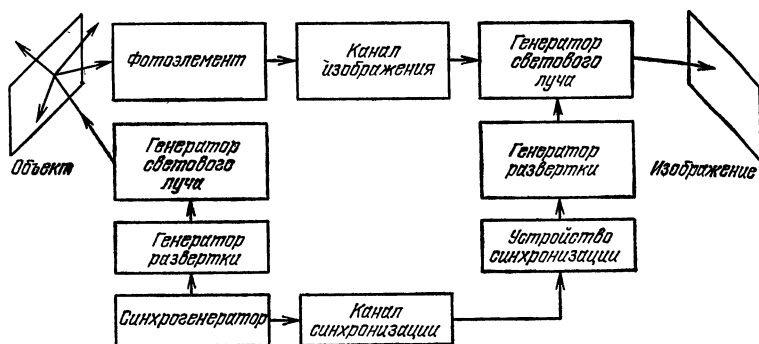


Рис. 2.1. Структурная схема активной системы со световой разверткой.

Системы со световой разверткой, часто называемой разверткой в оптическом канале, могут быть активными и пассивными. Структурная схема активной системы со световой разверткой (развертка «бегущим лучом») приведена на рис. 2.1. Принцип ее работы заключается в следующем. На передающей стороне системы генератор светового луча формирует узкий луч, который пере-

мещается по объекту в соответствии с законом развертки. Световой поток отражается от различных точек объекта, и отраженное излучение, промодулированное изображением, воспринимается фотоэлементом. Ток фотоэлемента пропорционален коэффициенту отражения точек объекта. Так производится развертка и образование сигнала изображения на передающей стороне.

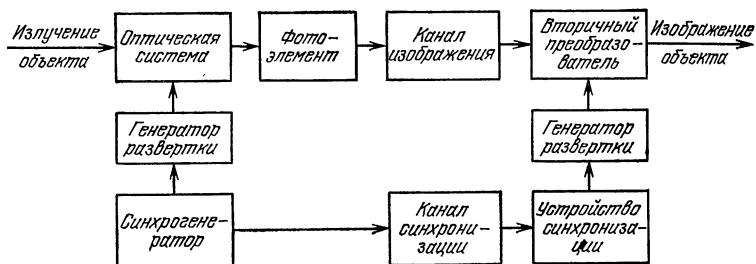


Рис. 2.2. Структурная схема пассивной системы со световой разверткой.

На приемной стороне системы сила света генератора светового луча изменяется пропорционально сигналу изображения. Луч перемещается по экрану под действием генератора развертки, и на экране создается изображение объекта, которое можно наблюдать визуально или фиксировать на фотопленке.

В качестве генераторов светового луча могут использоваться лазеры, источники света с оптическими формирователями луча, проекционные электронно-лучевые трубки. Для отклонения луча могут использоваться вращающиеся призмы или зеркала.

Структурная схема пассивной ТВ системы со световой разверткой показана на рис. 2.2. На передающей стороне оптическая система пропускает на фотоэлемент излучение одного элемента объекта. С помощью вращающихся призм или зеркал производится развертка изображения. Наиболее широко пассивные ТВ системы применяются при работе в инфракрасном диапазоне.

Совокупность траекторий развертывающего луча на кадре образует растр. ТВ развертки изображения различаются по способам построения раstra. В ТВ системах наиболее часто применяются следующие виды развертки: однострочная, однокадровая многострочная, много-

кадровая построочная и многокадровая чересстрочная. При однострочной и однокадровой развертке изображение передается только один раз. При многокадровых развертках развертка кадра периодически повторяется. Это техническое различие видов развертки обуславливает различие в характеристиках систем. Однострочная и однокадровая развертки обеспечивают передачу только не-

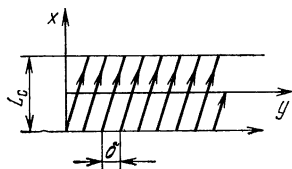


Рис. 2.3. Образование ТВ раstra при однострочной развертке.

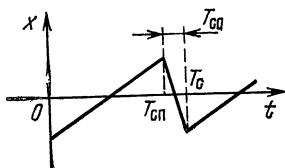


Рис. 2.4. Закон отклонения луча при линейной однострочной развертке.

подвижных изображений, а многокадровые развертки отражают движение объектов. Кроме того, ввиду повторения кадров в системах с многокадровой разверткой в сигнал вводится информационная избыточность, что расширяет спектр ТВ сигналов.

Однострочная развертка. Телевизионный растр, созданный путем однострочной развертки, изображен на рис. 2.3. Он представляет собой изображение полосы местности, развернутое по строкам, расположенным поперек этой полосы. Ширина полосы примерно равна длине строки L_c , расстояние между строками, измеренное на местности, равно δ . Такой растр образуется при полете самолета-носителя ТВ оборудования со скоростью v и развертке по строкам, перпендикулярным направлению полета. Развертка по направлению полета происходит благодаря движению самолета.

При расчете ТВ системы с однострочной разверткой задаются величинами L_c , δ и v , по которым рассчитывается период развертки по строкам $T_c = \delta/v$. Расстояние между строками δ берется равным апертуре системы. Эти величины выбираются исходя из требования обнаружения или опознавания объектов минимального размера.

Закон отклонения развертывающего луча при линейной однострочной развертке показан на рис. 2.4, где обозначено: T_c — период развертки по строкам; $T_{сп}$ — время прямого хода луча; $T_{со}$ — время обратного хода луча.

Обычно $T_{сп} = (0,9—0,95) T_c$; $T_{co} = (0,05—0,1) T_c$. Развертка кадра производится только во время прямого хода. Во время обратного хода передаются различная дополнительная информация и сигналы синхронизации.

Многострочная однокадровая развертка. Телевизионный растр, полученный путем многострочной однокадровой развертки, показан на рис. 2.5. Это кадр, развернутый по строкам. Развертка начинается в левом верхнем углу и заканчивается в правом нижнем.

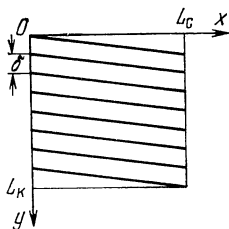


Рис. 2.5. Телевизионный растр при однокадровой и многокадровой построочной развертках.

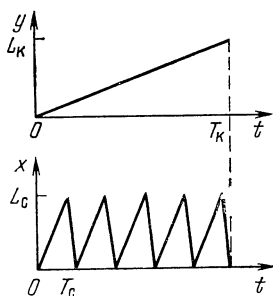


Рис. 2.6. Законы отклонения развертывающего луча при многострочной однокадровой развертке.

При расчете многострочной однокадровой развертки задаются величинами L_c , L_k , δ и T_k . Размеры кадра L_c и L_k выбираются так, чтобы на кадре помещалось изображение объекта. Обычно L_c и L_k составляют несколько километров. Отношение $L_c/L_k = k_f$ называется коэффициентом формы кадра. В вещательном телевидении $k_f = 4/3$, в ТВ системах летательных аппаратов обычно выбирают $k_f = 1$. Величина δ , как и в предыдущем случае, характеризует разрешающую способность. Она выбирается исходя из требований обнаружения или опознавания объектов определенного размера. Время передачи кадра T_k выбирается с учетом многих факторов: расстояния между объектами по маршруту полета и скорости полета, загрузки канала связи, допустимой продолжительности работы на передачу и др.

После выбора указанных величин определяется число строк в кадре Z , в данном случае равное числу активных строк разложения изображения $Z_a: Z = Z_a = L_k/\delta$. (Эта

величина должна быть целой.) Затем определяется период развертки по строкам $T_c = T_K/Z$.

Законы отклонения развертывающего луча при многострочной однокадровой развертке показаны на рис. 2.6. В направлении оси y развертка по кадру осуществляется по линейному закону однократно. В направлении оси x развертка по строкам осуществляется периодически.

Многокадровая построчная развертка. Растр многокадровой построчной развертки такой же, как растр многострочной однокадровой развертки (рис. 2.5), однако развертка по кадру (в направлении оси y) производится не один раз, а повторяется с периодом T_K . Если период развертки по кадрам T_K выбран малым по сравнению с временем перемещения объекта изображения на элементарное расстояние δ , то многокадровая развертка позволяет передавать эффект движения объектов, что и предопределило ее применение в авиационных ТВ системах летательных аппаратов, предназначенных для наблюдения за подвижными объектами, а также в системах наведения и прицеливания.

Выбор параметров ТВ системы L_c , L_K и δ при многокадровой развертке производится так же, как при однокадровой. Период развертки по кадрам T_K рассчитывают исходя из двух требований: отсутствие мерцания экрана и отсутствие скоростного сдвига изображения.

Многокадровая развертка применяется в ТВ системах, на выходе которых изображение на экране приемного устройства наблюдает человек. Если частота развертки по кадрам $f_K = 1/T_K$ небольшая, то человек различает мерцание экрана, мешающее наблюдению и утомляющее его.

Чтобы мерцание экрана не было заметным, следует увеличить частоту развертки по кадрам до некоторой величины, зависящей от средней (по времени) яркости экрана B_{cp} . Эта зависимость выражается эмпирической формулой

$$f_K \geq 9,6 \lg B_{cp} + 26,6. \quad (2.1)$$

Например, если принять характерную для кинескопов величину $B_{cp} = 30$ кд/м², то по формуле (2.1) получим $f_K \geq 41$ Гц. С учетом этого результата в вещательном телевидении берется $f_K = 50$ Гц. В специальных ТВ системах иногда допускают мерцание экрана и выбирают несколько меньшее значение f_K . Такие системы называют малокадровыми.

Если объект движется с большой скоростью, то его перемещение за период кадровой развертки T_K может превышать размер элемента изображения δ . В этом случае очертание объекта будет размытым и разрешающая способность ухудшится. Такое искажение изображения называется скоростным сдвигом изображения.

Ввиду больших скоростей полета современных самолетов v скоростной сдвиг в ТВ системах летательных аппаратов может возникать при сравнительно большой частоте развертки по кадрам. Поэтому, определяя частоту развертки по кадрам, необходимо проверить выполнение условия отсутствия скоростного сдвига изображения:

$$f_K \geq 2v/\delta. \quad (2.2)$$

Произведя расчет частоты развертки по кадрам по формулам (2.1) и (2.2), следует выбрать наибольшую величину. При многокадровой развертке число строк в кадре $Z = T_K/T_C$. Эта величина должна быть целой.

Рис. 2.7. Законы отклонения развертывающего луча при многокадровой построчной развертке.

Законы отклонения луча по строкам и кадрам приведены на рис. 2.7, из которого видно, что часть строк приходится на время обратного хода развертки по кадрам. Эти строки не участвуют в развертке изображений. Поэтому число активных строк разложения изображения $Z_a < Z$.

В приемном устройстве во время обратного хода развертки по кадрам луч гасится специальным гасящим импульсом, длительность которого $T_{KT} \geq T_K - T_{KP}$. С учетом этого число активных строк разложения изображения $Z_a = Z(T_K - T_{KT})/T_K$. Величина Z_a определяется исходя из заданного размера кадра L_K и разрешающей способности δ по формуле

$$Z_a = L_K/\delta. \quad (2.3)$$

Число строк в кадре можно определить, округлив до целого значения величину $Z = Z_a T_K / (T_K - T_{KT})$.

При определении величины Z необходимо учитывать также одно техническое требование. На передающей стороне телевизионной системы импульсы, следующие

с частотой кадров, получаются из импульсов, следующих с частотой строк, путем деления частоты в Z раз. Известно, что делители работают устойчиво при коэффициенте деления не более 10—12. Следовательно, величину Z надо выбирать такой, чтобы это число можно было представить в виде произведения сомножителей, каждый из которых не должен превышать 10—12. Например, $625=5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5$.

Определив T_K и Z , можно рассчитать период развертки изображения по строкам $T_c = T_K / Z$.

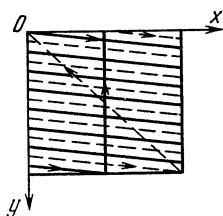


Рис. 2.8. Телевизионный растр при многокадровой чересстрочной развертке.

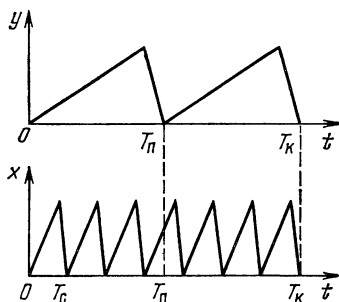


Рис. 2.9. Законы отклонения развертывающего луча при многокадровой чересстрочной развертке.

Многокадровая чересстрочная развертка. В дальнейшем будет показано, что ширина спектра ТВ сигнала пропорциональна частоте развертки по кадрам. Стремление сузить спектр ТВ сигнала приводит к уменьшению частоты развертки по кадрам.

Как уже отмечалось, при многокадровой построчной развертке минимальная частота развертки по кадрам определяется отсутствием мерцания экрана и отсутствием скоростного сдвига изображения. Если частота развертки по кадрам определяется условием отсутствия мерцания, то ее можно снизить в два раза, используя чересстрочную развертку. Чересстрочный растр показан на рис. 2.8. Он состоит из двух полей (полукадров). Строки первого поля показаны сплошными линиями, а строки второго — штриховыми и расположены между строками первого поля. Общее количество строк в растре равно сумме количеств строк в двух полях. Рис. 2.8 построен

в предположении, что обратный ход развертки по кадрам происходит мгновенно.

При чересстрочной развертке исходя из условия отсутствия мерцания надо выбирать не частоту кадров f_k , а частоту полей по формуле $f_{\Pi} \geq 9,6 \lg B_{\text{ср}} + 26,6$. При этом частота кадров $f_k = 0,5 f_{\Pi}$ оказывается в два раза меньше, чем при построочной развертке.

Число активных строк разложения изображения Z_a , как и в предыдущем случае, определяется требуемой разрешающей способностью системы по формуле (2.3).

Число строк в кадре Z определяется по формуле

$$Z = Z_a T_{\Pi} / (T_{\Pi} - T_{\text{шт}}). \quad (2.4)$$

Здесь T_{Π} — длительность поля; $T_{\text{шт}}$ — длительность гасящего импульса поля. Величина Z округляется до ближайшего целого нечетного числа. Это необходимо для того, чтобы первое поле закончилось посередине строки, а второе — в ее конце. Частота строк $f_c = 0,5 f_{\Pi} Z$.

Законы отклонения луча по осям y и x при чересстрочной развертке показаны на рис. 2.9. Видно, что каждое поле содержит целое число строк и еще половину строки.

Чересстрочная развертка применяется в вещательном телевидении, где основным ограничением является требование отсутствия мерцания. В качестве примера укажем параметры ТВ стандарта ГОСТ 7845—72: число строк в кадре $Z = 625$; частота полей $f_{\Pi} = 50$ Гц; частота кадров $f_k = 25$ Гц; частота строк $f_c = 15\,625$ Гц; число строк в поле 312,5.

Применение чересстрочной развертки не уменьшает скоростного сдвига изображения. Поэтому в тех случаях, когда параметры кадровой развертки определяются условием отсутствия скоростного сдвига, чересстрочная развертка не применяется.

Многокадровая спиральная развертка. Уже были рассмотрены различные варианты линейных разверток. Из нелинейных разверток чаще всего применяется спиральная, при которой образуется растр, показанный на

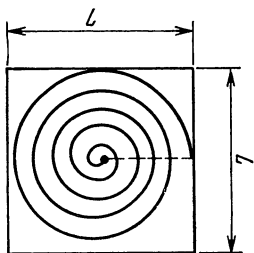


Рис. 2.10. Телевизионный растр при спиральной развертке.

рис. 2.10. Развертка начинается в центре кадра, луч по спирали перемещается к краю кадра, затем быстро возвращается в центр, и развертка повторяется. Таким образом, это многокадровая развертка. Частота смены кадров должна выбираться по формулам (2.1) и (2.2) с учетом требований отсутствия мерцания экрана и скоростного сдвига изображения.

Число активных витков спирали в изображении определяется необходимой радиальной разрешающей способностью по формуле $Z_a = L/2\delta$.

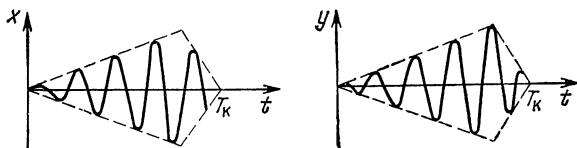


Рис. 2.11. Законы отклонения развертывающего луча при спиральной развертке.

Число витков спирали в кадре $Z = Z_a T_k / (T_k - T_{кг})$. Эта величина должна быть целой.

Частота вращения луча по спирали $f_{сп} = Z f_k$.

Известно, что для получения развертки по окружности отклонение луча по осям x и y должно подчиняться закону

$$x(t) = k \sin 2\pi f_{сп} t, \quad y(t) = k \cos 2\pi f_{сп} t.$$

Если эти процессы дополнительно промодулировать по амплитуде линейной функцией времени, то вместо окружностей получатся витки расходящейся спирали. При этом развертка луча по осям x и y происходит по закону (рис. 2.11)

$$x(t) = kt \sin 2\pi f_{сп} t, \quad y(t) = kt \cos 2\pi f_{сп} t.$$

По спиральной развертке кадра радиальная разрешающая способность, определяемая расстоянием между витками спирали δ , по всему кадру одинакова. Разрешающая способность вдоль витков в центре больше, чем по краям.

Шаговая развертка. При шаговой развертке происходит дискретное изменение отклоняющего магнитного либо электрического поля передающей или приемной труб-

ки, при этом анализирующий луч в передающей трубке и синтезирующий луч в приемной перемещаются скачкообразно как в направлении строк, так и в направлении кадров (рис. 2.12,а). Расстояние между соседними положениями развертываемого луча (шаг развертки) выбирается равным его апертуре.

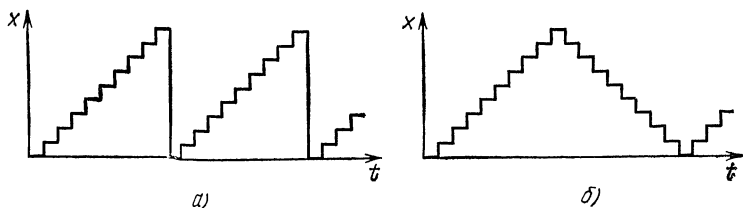


Рис. 2.12. Законы отклонения развертываемого луча при шаговой развертке.

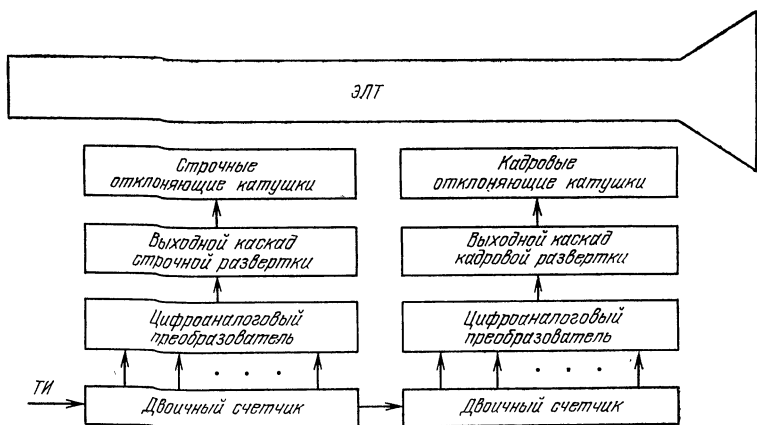


Рис. 2.13. Структурная схема устройства шаговой развертки.

Структурная схема генератора шаговой развертки по строкам и кадрам приведена на рис. 2.13. Рассмотрим работу схемы. Тактовые импульсы (ТИ), следующие с частотой развертки луча по строке, поступают на вход двоичного счетчика. На выходе счетчика образуется двоичное число (код), обозначающее номер последнего поступившего на вход тактового импульса. Этот код преобразуется цифроаналоговым преобразователем в управляющий аналоговый сигнал. Выходной каскад строчной

развертки под действием управляющего сигнала обеспечивает прохождение через строчную отклоняющую систему тока, при котором электронный луч трубки перемещается по строке на позицию, соответствующую номеру последнего входного тактового импульса.

После заполнения всех разрядов счетчика блока строчной развертки развертываемый луч оказывается в конце строки. При поступлении очередного тактового импульса после заполнения этот счетчик возвращается в исходное состояние и с его выхода на вход счетчика блока кадровой развертки поступает импульсный сигнал. Шаговая развертка по кадрам осуществляется аналогично развертке по строкам. Когда оба счетчика заполнены, весь кадр оказывается развернутым. Очередной тактовый импульс после заполнения обоих счетчиков возвращает развертывающие лучи в исходное положение.

Отклоняющие катушки имеют значительную постоянную времени, что не позволяет резко изменять ток в катушках, особенно во время обратного хода развертки, и приводит к искажению закона развертки. Шаговую развертку проще реализовать в трубках с электростатическим отклонением.

В устройствах шаговой развертки счетчики могут работать в режиме реверсивного счета, при котором каждый из них после заполнения возвращается в исходное (нулевое) состояние не сразу, а шагами, как и при прямом ходе развертки. При этом число поступающих после заполнения счетчика импульсов вычитается из числа записанных в процессе заполнения. При таком законе развертки нет резкого перепада тока в отклоняющих катушках во время обратного хода (рис. 2.12,б), поэтому постоянная времени катушек оказывает меньшее влияние на закон развертки.

При использовании в устройствах шаговой развертки двоичных счетчиков число элементов разложения в строке $kZ=2^N$ и число строк в растре $Z=2^M$, где k — коэффициент формы кадра; N и M — количество используемых двоичных разрядов соответственно в счетчиках строк и счетчиках кадров. Из приведенных соотношений следует, что коэффициент k также должен быть кратен числу два: $k=2^{N-M}$. При $N=M$ $k=1$ и кадр имеет квадратную форму, а число разрядов в счетчиках строк и кадров одинаково.

Могут применяться комбинированные устройства развертки, в которых, например, развертка по строкам выполняется линейной, а по кадрам — дискретной.

Шаговые развертки облегчают связь ТВ устройств с цифровыми вычислительно-управляющими комплексами, позволяют использовать при синтезе схем унифицированные узлы, облегчают решение некоторых задач статистически оптимального и помехоустойчивого кодирования изображений, а также облегчают обработку изображений с помощью устройств цифровой вычислительной техники.

2.2. СТРУКТУРА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

В § 1.3 указывалось, что ТВ сигнал несет информацию об изображении, фазе развертки и различную телеметрическую информацию. Поэтому ТВ сигнал имеет сложную структуру, которая зависит от вида развертки. Наиболее простым является сигнал при однострочной развертке. Его структура показана на рис. 2.14. В состав полного ТВ сигнала входят синхронизирующие импульсы развертки по строкам (1), гасящие импульсы, предназначенные для гашения луча вторичного преобразователя во время обратного хода развертки по строкам (2), и сигнал изображения (видеосигнал) (3).

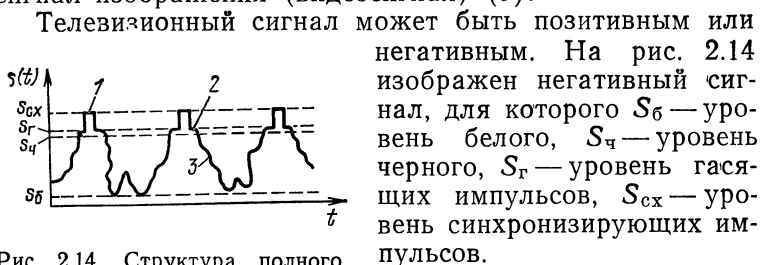


Рис. 2.14. Структура полного ТВ сигнала при однострочной развертке

Телевизионный сигнал может быть позитивным или негативным. На рис. 2.14 изображен негативный сигнал, для которого S_b — уровень белого, $S_{\text{ч}}$ — уровень черного, $S_{\text{г}}$ — уровень гасящих импульсов, $S_{\text{сх}}$ — уровень синхронизирующих импульсов.

Негативный сигнал, подобный изображенному на рис. 2.14, применяется чаще, чем позитивный. Это прежде всего связано с тем, что при амплитудной модуляции, которая пока наиболее широко применяется в ТВ системах, в случае негативного сигнала средняя глубина модуляции оказывается больше и, следовательно, лучше используется мощность передатчика. Имеет значение также и то, что при передаче негативного сигнала и ампли-

гудной модуляции импульсные помехи на экране приемного устройства проявляются преимущественно в виде темных точек на более светлом фоне и в этом случае они менее заметны. Указанные соображения не являются решающими, и в некоторых случаях с учетом других факторов целесообразно применять позитивную передачу.

Характерным режимом работы однокадровой ТВ системы (например, фототелеграфной) является режим передачи только одного кадра. При таком режиме работы используется сигнал, структура которого показана на рис. 2.15. В состав полного ТВ сигнала входят импульсы синхронизации, используемые для предварительной синхронизации генератора строчной развертки приемника и тактового генератора декодирующего устройства фазового пуска (1), сигнал фазового пуска, после декодирования которого начинается развертка кадра (2), ТВ сигнал изображения, подобный изображенному на рис. 2.14 (3), сигнал конца передачи, после декодирования которого аппаратура синтеза изображения на приемной стороне выключается (4).

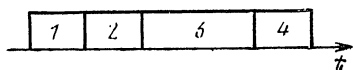


Рис. 2.15. Последовательность сигналов однокадровой ТВ системы.

При многокадровой построчной развертке помимо периодической развертки по строкам происходит периодическая развертка по кадрам. Во время обратного хода развертки по кадрам передаются кадровые гасящие и синхронизирующие импульсы. В промежутке между кадровыми гасящими импульсами структура ТВ сигнала подобна изображенной на рис. 2.14. Возможный вариант кадрового гасящего и синхронизирующего импульсов показан на рис. 2.16. На этом рисунке обозначено: 1 — кадровый гасящий импульс; 2 — кадровый синхронизирующий импульс; 3 — строчные синхронизирующие импульсы.

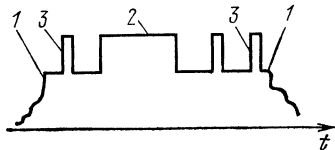


Рис. 2.16. Кадровый ТВ сигнал.

Особенностью сигнала, изображенного на рис. 2.16, является то, что во время кадрового синхронизирующего импульса строчные синхронизирующие импульсы не пе-

редаются. Это может привести к ухудшению синхронизации по строкам в начале кадра.

При многокадровой чересстрочной развертке по кадрам развертка повторяется периодически; но кадр делится на два поля и передаются гасящие и синхронизирующие импульсы полей.

На рис. 2.17 изображены сигналы нечетного и четного полей, соответствующие ТВ стандарту ГОСТ 7845—72.

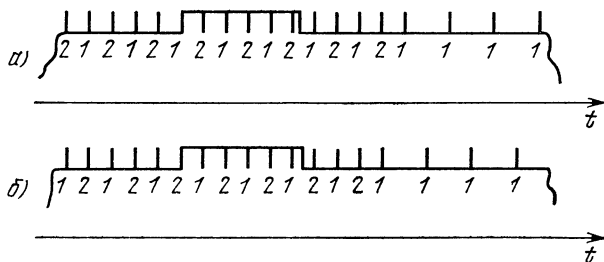


Рис. 2.17. Гасящие и синхронизирующие импульсы нечетного (а) и четного (б) полей при чересстрочной развертке с синхронизирующими импульсами строк (1) и уравнивающими импульсами (2).

Эти сигналы имеют три особенности. Первая заключается в том, что в синхронизирующих импульсах полей имеются вырезки строчных импульсов. Моментам начала строк соответствуют моменты окончания импульсов вырезок. На приемной стороне системы строчные синхронизирующие импульсы отделяются от импульсов полей дифференцированием. Передача строчных синхронизирующих импульсов полей с помощью вырезок делает синхронизацию по строкам непрерывной и более устойчивой.

Вторая особенность заключается в том, что положение строчных синхронизирующих импульсов относительно синхронизирующих импульсов полей у двух сигналов полей различается на половину времени строки. Как отмечалось в § 2.1, это необходимо для того, чтобы строки одного поля размещались между строками второго.

Третья особенность сигналов, изображенных на рис. 2.17, состоит в том, что между строчными синхронизирующими импульсами (1) размещены уравнивающие импульсы (2). Они не влияют на работу системы синхронизации строчной развертки, но уравнивают по

форме (делают одинаковыми) синхронизирующие импульсы полей, что улучшает работу системы синхронизации по полям.

Таким образом, в общем случае полный ТВ сигнал состоит из сигнала изображения, строчных и кадровых синхронизирующих импульсов, строчных и кадровых гасящих импульсов и сигналов телеметрии.

В соответствии с ГОСТ 7845—72 уровни ТВ сигнала таковы: уровень синхронизирующих импульсов ($S_{сх}$) 100%; уровень гасящих импульсов ($S_{г}$) $(75 \pm 2,5) \%$; уровень белого ($S_{б}$) $(10 \pm 15) \%$.

2.3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Плотность вероятности ТВ сигналов. В ТВ системах первичные преобразователи стремятся сделать так, чтобы сигнал на их выходе $s(t)$ (ток или напряжение) был линейной функцией яркости B . При позитивной передаче $s = \varphi B$, при негативной $s = \varphi_0 - \varphi B$. Здесь φ_0 и φ — постоянные коэффициенты.

При линейных преобразованиях нормальных функций плотность вероятности остается нормальной, а меняются только ее числовые характеристики. При позитивной передаче математическое ожидание и дисперсия сигнала соответственно равны $m_s = \varphi m_B$ и $\sigma_s^2 = \varphi^2 \sigma_B^2$, при негативной передаче $m_s = \varphi_0 - \varphi m_B$ и $\sigma_s^2 = \varphi^2 \sigma_B^2$.

Таким образом, в линейном ТВ тракте плотность вероятности сигналов изображения $W_{из}(s)$ подчиняется нормальному закону [14]. Если ТВ тракт нелинейный, то плотность вероятности будет другой.

Полный ТВ сигнал, подробно рассмотренный в предыдущем параграфе, помимо сигнала изображения содержит гасящие и синхронизирующие импульсы. Предположим, что за время передачи кадра T_K сигнал изображения передавался в течение времени $T_{из}$, гасящие импульсы — $T_{гн}$ и синхронизирующие импульсы — в течение $T_{сн}$. Ввиду того, что эти составляющие полного ТВ сигнала передаются поочередно, плотность вероятности полного ТВ сигнала равна

$$W_{п}(s) = \frac{T_{из}}{T_K} W_{из}(s) + \frac{T_{гн}}{T_K} W_{гн}(s) + \frac{T_{сн}}{T_K} W_{сн}(s). \quad (2.5)$$

Здесь $W_{из}(s)$, $W_{гн}(s)$ и $W_{сн}(s)$ — плотности вероятности сигнала изображения, гасящих и синхронизирующих импульсов.

Плотность вероятности полного ТВ сигнала, соответствующая негативному сигналу (2.5), показана на рис. 2.18. Первый подъем

функции $W_{\Pi}(s)$ обусловлен сигналом изображения, второй — гасящими импульсами, третий — синхронизирующими. Следует отметить, что если бы максимальные значения гасящих и синхронизирующих импульсов были совершенно стабильными (постоянными), то их плотности вероятности представляли собой дельта-функции. Однако на практике импульсы всегда флуктуируют, и поэтому их плотности вероятности близки к нормальным с малой дисперсией, определяемой интенсивностью флуктуаций.

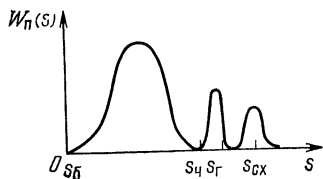


Рис. 2.18. Плотность вероятности полного ТВ сигнала.

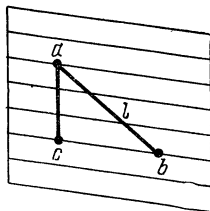


Рис. 2.19. К рассмотрению корреляционной функции сигнала изображения.

Корреляционная функция ТВ сигналов. Рассмотрим корреляционную функцию сигнала изображения. Предположим, что производится однострочная развертка, растр которой показан на рис. 2.19. Скорость развертки по строкам v_c , перпендикулярно строкам v_k , период развертки по строкам T_c , время обратного хода развертки по строкам T_{co} .

Определим условную нормированную корреляционную функцию сигнала изображения $R_{\text{из}n}(\tau)$ при условии, что точки a и b разделены n строками. Треугольник abc можно считать прямоугольным. Тогда, учитывая формулу корреляционной функции изображения (1.14), получаем

$$\begin{aligned} R_{\text{из}n}(\tau) &= \exp \left[-\alpha \sqrt{(ac)^2 + (cb)^2} \right] = \\ &= \exp \left[-\alpha \sqrt{v_k^2 n^2 T_c^2 + v_c^2 (\tau - nT_c)^2} \right]. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Корреляционную функцию изображения (безусловную) определим, усреднив (2.6) по всем возможным значениям n при данном τ :

$$R_{\text{из}}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n(\tau) R_{\text{из}n}(\tau). \quad (2.7)$$

Здесь отрицательные значения n соответствуют случаям, когда точка a оказывается ниже точки b . Функция $P_n(\tau)$ (рис. 2.20) пред-

ставляет собой вероятность того, что точки a и b разделены n строками при данном значении τ .

Используя (2.6) и (2.7), можно записать окончательное выражение нормированной корреляционной функции сигнала изображения при однострочной развертке

$$R_{из}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n(\tau) \exp \left[-\alpha \sqrt{v_k^2 n^2 T_c^2 + v_c^2 (\tau - nT_c)^2} \right]. \quad (2.8)$$

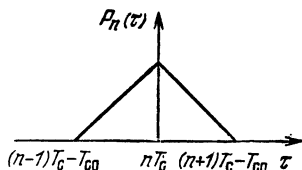


Рис. 2.20. График функции $P_n(\tau)$.

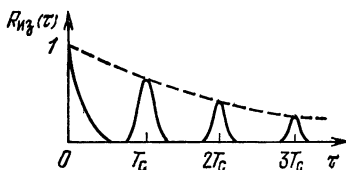


Рис. 2.21. Нормированная корреляционная функция сигналов изображения при однострочной развертке.

График корреляционной функции сигнала изображения при положительных значениях τ , построенный по формуле (2.8) (рис. 2.21), имеет вид последовательности всплесков, разделенных интервалами, кратными периоду развертки по строкам T_c , вызванных корреляцией между соседними элементами разных строк. Длительность всплесков значительно меньше интервала между ними, так как в авиационных системах длина строки на местности всегда значительно больше интервала корреляции местности. В вещательных системах это условие не выполняется и всплески корреляции сливаются.

Из формулы (2.6) следует, что с увеличением τ амплитуда всплесков корреляции убывает по закону $\exp(-\alpha v_k |\tau|)$ (штриховая линия на рис. 2.21).

Корреляционную функцию сигнала изображения при многокадровой развертке рассмотрим только качественно. Следует обратить внимание на то, что в этом случае имеется корреляция между сигналами различных кадров. Закон изменения корреляции кадров применительно к системам авиационного телевидения неизвестен, и это препятствует детальному анализу. Можно только предположить, что по мере увеличения числа кадров m , разделяющих два данных изображения, корреляция уменьшается.

Примерный вид графика корреляционной функции сигнала изображения при многокадровой построочной развертке показан на рис. 2.22. Выбросы корреляционной функций (частые линии на

рис. 2.22) расположены через интервал времени, равный T_0 . Они обусловлены связью между соседними строками. Максимумы огибающей корреляционной функции расположены через интервал времени, равный T_K , и вызваны связью изображений различных кадров. При чересстрочной развертке эти подъемы расположены через время поля.

До сих пор мы рассматривали только сигнал изображения. Помимо него, в полный ТВ сигнал входят гасящие и синхронизирующие

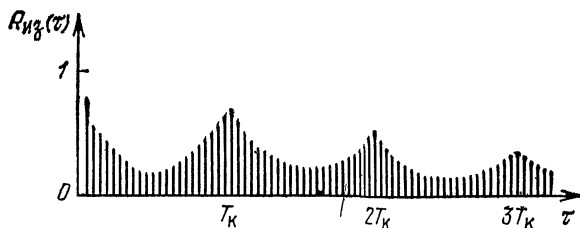


Рис. 2.22. Нормированная корреляционная функция сигналов изображения при многокадровой развертке.

щие импульсы, а иногда и телеметрические сигналы, которые следуют через постоянные интервалы времени. Сигнал изображения является случайным и, как видно из рис. 2.21 и 2.22, с увеличением τ его корреляция уменьшается до нуля. Гасящие, синхронизирующие и телеметрические импульсы являются периодическими или содержат значительную периодическую составляющую, поэтому корреляционная функция этих импульсов $R_{из}(\tau)$ с увеличением τ до нуля не уменьшается. График зависимости корреляционной функции импульсов от τ имеет вид последовательности всплесков, форма которых зависит от формы импульсов, а длительность не превышает удвоенного времени обратного хода развертки. Амплитуда всплесков с увеличением τ сначала убывает из-за наличия в них случайной телеметрической информации, а затем становится постоянной.

Сигнал изображения и последовательность импульсов между собой независимы. Поэтому корреляционная функция полного ТВ сигнала равна взвешенной сумме корреляционных функций этих процессов

$$R(\tau) = \alpha_1 R_{из}(\tau) + \alpha_2 R_{из}(\tau).$$

Здесь α_1 и α_2 — весовые коэффициенты, зависящие от энергии, затрачиваемой на передачу изображения и импульсов.

Энергетический спектр ТВ сигналов. Как и в предыдущем пункте, сначала рассмотрим энергетический спектр сигналов изображе-

пия при однострочной развертке. Из курса статистической радиотехники известно, что энергетический спектр случайного процесса, нормированный относительно его дисперсии, равен [13]

$$G_{из}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{из}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (2.9)$$

Если в эту формулу подставить выражение корреляционной функции сигнала изображения (2.8), то дальнейшие точные вычисления

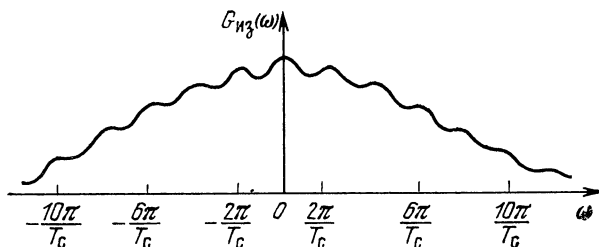


Рис. 2.23. Огибающая спектра сигналов изображения при однострочной развертке.

будут затруднены. Поэтому будем искать приближенное решение задачи. С этой целью представим (2.8) в виде

$$R_{из}(\tau) \approx \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-\alpha v_K n T_c} e^{-\alpha v_c |\tau - n T_c|}. \quad (2.10)$$

При написании этой формулы было принято $P_n(\tau) = 1$. Это справедливо в случае мелкого масштаба изображения (что характерно для систем авиационного телевидения), когда интервал корреляции на местности (15 м) значительно меньше длины строки. Кроме того, форма всплесков корреляции изменена по сравнению с приведенными на рис. 2.21 и принята экспоненциальной.

Подставив (2.10) в (2.9), получим

$$G_{из}(\omega) = \frac{2\alpha v_c}{T_c (\alpha^2 v_c^2 + \omega^2)} \sum_{v=-\infty}^{\infty} \frac{\alpha v_K}{\alpha^2 v_K^2 + (\omega + 2\pi v/T_c)^2}. \quad (2.11)$$

Проанализируем спектр сигнала изображения, соответствующий формуле (2.11). Выражение (2.11) состоит из двух сомножителей. Второй сомножитель описывает всплески спектра колоколообразной формы, расположенные на оси ω через интервалы $2\pi/T_c$. Первый сомножитель также описывает кривую колоколообразной формы, но значительно более широкую. Он определяет огибающую спектра. График спектра (2.11) построен на рис. 2.23.

При крупном масштабе изображения ($\alpha v_k < 2\pi/T_c$), что характерно для вещательного телевидения, всплески спектра узкие, они мало перекрываются и изрезанность результирующего спектра большая. При мелком масштабе изображения ($\alpha v_k \approx 2\pi/T_c$), что характерно для систем авиационного телевидения, всплески спектра широкие, они сильно перекрываются и изрезанность результирующего спектра небольшая.

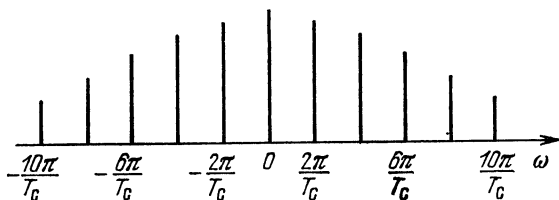


Рис. 2.24. Спектр гасящих и синхронизирующих импульсов при однострочной развертке.

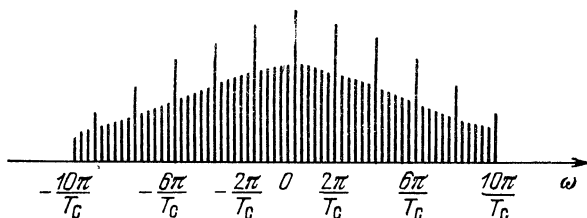


Рис. 2.25. Спектр полного ТВ сигнала при многокадровой развертке и передаче неподвижного изображения.

При однострочной развертке в состав полного ТВ сигнала входят также гасящие и синхронизирующие импульсы, имеющие линейчатый спектр (рис. 2.24). Линии спектра расположены на расстояниях $2\pi/T_c$, равных частоте развертки по строкам. Огибающая спектра определяется формой импульсов.

Результирующий спектр полного ТВ сигнала равен сумме спектров, изображенных на рис. 2.23 и 2.24.

При многокадровой развертке в связи с тем, что максимумы корреляционной функции (см. рис. 2.22) повторяются как через время кадра T_k , так и через время строки T_c , энергетический спектр сигналов изображения состоит из всплесков, расположенных на частотах, кратных частотам развертки по строкам и кадрам. Если изображение не меняется от кадра к кадру, то спектр линейчатый, причем линии спектра расположены на частотах, кратных

частоте развертки по кадрам. В реальных условиях многокадровые системы применяются для передачи подвижных изображений и от кадра к кадру изображение несколько меняется. В этом случае линии спектра расплываются и превращаются в короткие всплески, ширина которых обычно меньше частоты развертки по кадрам.

Спектр гасящих и синхронизирующих импульсов, как и в предыдущем случае, линейчатый. Линии спектра расположены на частотах, кратных частоте развертки по кадрам, и группируются вблизи частот, кратных частоте развертки по строкам. Результирующий спектр полного ТВ сигнала при многокадровой развертке и передаче неподвижного изображения показан на рис. 2.25.

В заключение отметим, что все рассмотренные частотные спектры расположены в области как положительных, так и отрицательных частот. Отрицательные частоты являются математической абстракцией и реально не существуют. Для расчета реального спектра на положительных частотах надо определенные составляющие спектра на этих частотах (за исключением $\omega=0$) удвоить.

2.4. ШИРИНА СПЕКТРА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

С увеличением частоты спектральная плотность мощности ТВ сигналов уменьшается, но на любой частоте, как бы велика она ни была, спектральная плотность отлична от нуля, т. е. спектр ТВ сигналов, полученных при развертке изображений, бесконечно широкий.

В реальных условиях для ТВ передачи отводят некоторую полосу частот от 0 до f_v и спектр сигнала ограничивают по частоте с помощью фильтра. В связи с этим возникает задача определения высшей частоты спектра. Значение f_v влияет на характеристики ТВ системы. С уменьшением f_v , с одной стороны, удлиняются переходные процессы в системе и ухудшается разрешающая способность, а с другой — улучшается фильтрация шума и растет световая чувствительность системы. Произвести расчет величины f_v с учетом этих противоречивых факторов очень трудно. Поэтому обычно при определении f_v ограничиваются приближенным рассмотрением процессов, протекающих в системе.

Предположим, что передается насыщенное мелкими деталями изображение, подобное шахматной доске (рис. 2.26,а). Чередующиеся черные и белые квадраты представляют собой элементы изображения. Сторона

квадрата равна δ и характеризует разрешающую способность системы. Пусть развертка изображения производится бесконечно тонким лучом (апертура первичного преобразователя равна нулю). Тогда ТВ сигнал будет иметь форму прямоугольных импульсов (рис. 2.22,б).

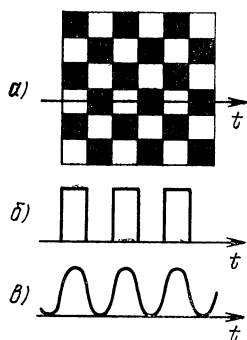


Рис. 2.26. Изображение и его развертка при определении ширины спектра ТВ сигналов.

Ограничимся передачей первой гармонической составляющей этих импульсов, которая показана на рис. 2.26,в. Частота первой гармоники при передаче изображения чередующихся темных и светлых элементов изображения принимается за высшую частоту спектра ТВ сигналов.

Высшая частота спектра определяется по-разному при различных видах развертки изображения.

Однорочная развертка. Число элементов изображения в строке длиной L_c при однорочной развертке равно L_c/δ . Эти элементы развертываются за время прямого хода развертки по строкам, равное $T_c - T_{co}$. Число элементов изображения, передаваемых в единицу времени, равно $L_c/[\delta(T_c - T_{co})]$. В соответствии с рис. 2.26 высшая частота спектра ТВ сигналов

$$f_v = \frac{1}{2} \frac{L_c}{\delta} f_c \frac{T_c}{T_c - T_{co}} \approx \frac{1}{2} \frac{L_c}{\delta} f_c. \quad (2.12)$$

При однорочной развертке величина $f_c = 1/T_c$ выбирается исходя из требования, чтобы самолет за период развертки по строкам T_c пролетал расстояние δ . В этом случае элемент разложения изображения будет квадратным, что обеспечивает одинаковую разрешающую способность в направлении полета самолета и в перпендикулярном ему направлении (по строке). Учитывая это, формулу (2.12) можно представить в виде

$$f_v = 0,5 L_c v / \delta^2. \quad (2.13)$$

Формула (2.13) позволяет рассчитать высшую частоту спектра ТВ сигнала по заданным характеристикам системы: скорости полета самолета v , ширине полосы местности L_c и разрешающей способности δ . На-

пример, при $\delta=0,3$ м, $L_c=1000$ м, $v=300$ м/с по формуле (2.16) получим $f_v=1,7$ МГц.

Многострочная однокадровая развертка. Пусть задано число строк в изображении Z_a . Если элемент разложения изображения квадратный, то число элементов в строке равно $Z_a k_\Phi$. Полное число элементов в изображении равно $Z_a^2 k_\Phi$.

Изображение передается за время

$$T_K - Z_a T_{co} = T_K (1 - T_{co}/T_c),$$

равное времени развертки кадра за вычетом суммарного времени обратного хода развертки по строкам.

Разделив число элементов в изображении на время их передачи и учтя, что на период высшей частоты приходится два элемента изображения, получим

$$f_v = Z_a^2 k_\Phi / 2T_K (1 - T_{co}/T_c) \approx Z_a^2 k_\Phi / 2T_K. \quad (2.14)$$

В качестве примера рассчитаем высшую частоту спектра сигнала фототелеграфного аппарата «Нева», у которого $f_c=2$ Гц, $k_\Phi=2/3$, $Z_a=1500$, $T_K=750$ с. По формуле (2.17) получим $f_v=1000$ Гц. Узкий спектр, обусловленный большим временем передачи кадра, позволяет передавать фототелеграфные сигналы по проводным телефонным каналам связи и коротковолновым радиоканалам.

Многокадровая развертка. При определении ширины спектра сигнала системы с многокадровой разверткой необходимо из времени кадра T_K вычесть не только суммарное время обратного хода развертки по строкам, но и время обратного хода развертки по кадру. С учетом этого время передачи изображения равно

$$T_K - T_{ko} - Z_a T_{co} = T_K (1 - T_{ko}/T_K) (1 - T_{co}/T_c).$$

Высшая частота спектра изображения при многокадровой развертке

$$f_v = \frac{Z_a^2 k_\Phi}{2T_K (1 - T_{ko}/T_K) (1 - T_{co}/T_c)}. \quad (2.15)$$

Учитывая, что

$$Z = \frac{Z_a}{1 - T_{ko}/T_K} \approx \frac{Z_a}{1 - T_{co}/T_c}, \quad f_K = \frac{1}{T_K},$$

вместо (2.15) можно записать

$$f_v = 0,5 Z k_\Phi f_K. \quad (2.16)$$

Формулы (2.15), (2.16) справедливы как для почерочной, так и для чересстрочной развертки.

Как уже отмечалось, если частота кадров ограничивается только мерцанием экрана, то применение чересстрочной развертки позволяет уменьшить ее в два раза. Из формул (2.15), (2.16) видно, что уменьшение частоты кадров приводит к пропорциональному уменьшению ширины спектра сигнала. Например, при $Z=1000$, $k_{\phi}=1$, $f_k=50$ Гц по формуле (2.16) получим $f_v=25$ МГц. Сравнив этот результат с результатом расчета ширины спектра при однострочной развертке, можно убедиться, что многокадровая система требует значительно более широкой полосы частот.

Анализируя полученные формулы, можно заметить, что во всех случаях высшая частота спектра ТВ сигналов пропорциональна числу элементов разложения изображения $Z_{\text{а}k_{\phi}}$. Следовательно, снизить высшую частоту спектра можно, уменьшив детальность изображения.

Из трех рассмотренных видов развертки наименьшую ширину спектра может обеспечить однокладовая развертка в результате увеличения времени передачи кадра T_k . ТВ система с однострочной разверткой работает в реальном масштабе времени. В ней нет возможности уменьшить скорость передачи информации, и высшая частота спектра однозначно определяется захватом на местности L , апертурой системы δ и скоростью полета самолета v . При многокадровой развертке спектр ТВ сигнала наиболее широкий. Из формулы (2.16) видно, что его ширина пропорциональна частоте кадров f_k . Из этого следует, что в многокадровой системе для снижения высшей частоты спектра надо уменьшать частоту кадров.

Расширение спектра ТВ сигнала в многокадровой системе позволяет передавать дополнительную информацию об изменении изображения. Помимо этого, в ТВ сигналы вводится информационная избыточность, вызванная корреляцией соседних кадров. Эта избыточность повышает помехоустойчивость ТВ системы. С другой стороны, расширение спектра ТВ сигналов требует увеличения полосы пропускания канала, что приводит к увеличению интенсивности помех в канале. Эти два противоречивых явления в линейных системах компенсируют друг друга.

ОСНОВНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПЕРВИЧНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Телевизионными преобразователями мы называем устройства, преобразующие световую энергию в электрические сигналы на входе системы (первичные преобразователи) и электрические сигналы в ТВ изображения на выходе системы (вторичные преобразователи). Наиболее часто в качестве преобразователей используются передающие и приемные электронно-лучевые приборы (трубки). Рассмотрим основные физические явления, происходящие в электронно-лучевых трубках.

Фотоэффект. Важным элементом электронно-лучевых трубок, в котором происходит преобразование световой энергии в электрические сигналы, является фотокатод. Работа фотокатодов большинства ТВ первичных преобразователей основана на явлении внешнего или внутреннего фотоэффекта. Внешний фотоэффект заключается в том, что под действием света электроны вылетают из вещества во внешнее пространство (фотоэмиссия электронов). При внутреннем фотоэффекте свободные электроны появляются в толще вещества и в результате меняется его электрическое сопротивление. Применяются два вида фотокатодов, работа которых основана на внешнем фотоэффекте: непрозрачные и прозрачные. У непрозрачного фотокатода фотоэмиссия происходит с освещенной стороны, а в прозрачных фотокатодах — со стороны, противоположной той, на которую падает свет. В передающих трубках, применяемых в системах авиационного телевидения, чаще всего используются прозрачные фотокатоды. Они выполняются в виде тонких пленок, наносимых на полированную внутреннюю поверхность торца стеклянной трубки.

Чтобы в приборе с внешним фотоэффектом между фотокатодом и анодом протекал ток, к нему прикладывается постоянное напряжение. Между фототоком i и световым потоком F , падающим на фотокатод, существует установленная А. Г. Столетовым зависимость $i = \varepsilon F$, где ε — коэффициент пропорциональности, называемый интегральной чувствительностью прибора, А/лм.

Важной характеристикой фотокатода является также его спектральная чувствительность $\varepsilon(\lambda)$, равная отношению величины фот-

тотока к мощности потока лучистой энергии монохроматического источника с длиной волны λ .

Каждый квант света может выбивать из фотокатода один электрон. В действительности не все электроны, получившие квант энергии, вылетают за пределы фотокатода: некоторые из них теряют полученную энергию при соударении с атомами и другими электронами, движение других электронов может быть направлено не к поверхности, а в глубину фотокатода. В результате количество вылетевших электронов всегда меньше количества квантов падающего света. Поэтому чувствительность фотокатода может характеризоваться квантовым выходом, под которым понимают отношение числа вылетевших электронов к количеству квантов световой энергии, измеренное в процентах.

В табл. 3.1 приведены некоторые типы используемых в телевидении фотокатодов и их краткая характеристика. Фотокатоды передающих трубок условно обозначаются цифровыми индексами, а фотокатоды фотоэлектронных умножителей — цифровыми индексами с буквой С. На рис. 3.1 в относительных единицах даны кривые спектральной чувствительности фотокатодов, приведенных в таблице.

Т а б л и ц а 3.1

Тип фотокатода	Номер фотокатода	ϵ , мкА/мм	Квантовый выход, %
1. Сурьмяно-цезиевый	1, С-4	100—150	25—30
2. Серебряно-оксидно-цезиевый	2	50	1
3. Висмута-серебряно-цезиевый	3, 5, 9, С-5	50—80	6—8
4. Сурьмяно-калиево-натриево-цезиевый	7, 10, С-8	200—300	—

Из приведенных данных следует, что наибольшей чувствительностью обладает сурьмяно-калиево-цезиевый фотокатод. Для черно-белого вещательного телевидения наилучшим является висмута-серебряно-цезиевый фотокатод, спектральная характеристика которого близка к кривой видности, что обеспечивает правильную передачу яркости цветов.

При внутреннем фотоэффекте под действием света уменьшаетс я электрическое сопротивление полупроводника. Материалы, обладающие свойством внутреннего фотоэффекта, используются при изготовлении фоторезисторов. Генерация электронов в полупроводнике происходит обычно так, что один квант света образует один

свободный электрон. Квантовый выход фотосопротивлений близок к 100%. Одновременно с генерацией свободных электронов происходит их поглощение атомами вещества (рекомбинация). Между процессами генерации и рекомбинации устанавливается равновесие, и число свободных электронов в каждый момент времени зависит от освещенности. С увеличением освещенности число свободных электронов растет, но эта зависимость не является линейной.

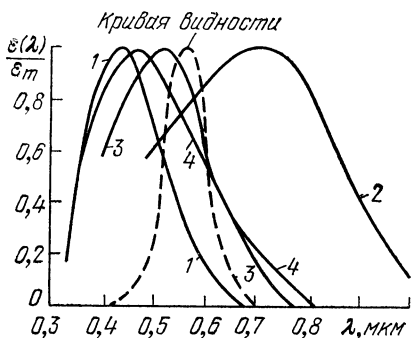


Рис. 3.1. Зависимость относительной спектральной чувствительности некоторых фотокатодов с внешним фотоэффектом от длины волны.

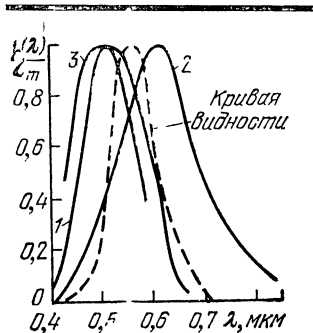


Рис. 3.2. Зависимость относительной спектральной чувствительности некоторых фотокатодов с внутренним фотоэффектом от длины волны.

Число свободных электронов увеличивается с увеличением массы вещества. Следовательно, увеличение толщины фотокатода с внутренним фотоэффектом приводит к увеличению световой чувствительности преобразователя. С другой стороны, рекомбинация происходит не мгновенно и ее запаздывание относительно генерации возрастает с увеличением объема вещества. Поэтому чувствительные фотокатоды с большой толщиной обладают повышенной инерционностью и непригодны для передачи подвижных изображений.

Чувствительность фоторезистора зависит от длины волны излучения. На рис. 3.2 в относительных единицах приведены кривые спектральной чувствительности некоторых фотокатодов с внутренним фотоэффектом. Кривая 1 относится к стандартному фотокатоду № 6, кривая 2 — к фотокатоду № 8, а кривая 3 — к фотокатоду из PbO [2].

Вторичной эмиссией называется излучение вторичных электронов веществом при падении на его поверхность первичных электро-

НОВ. Схематически вторичная эмиссия иллюстрируется рис. 3.3, на котором 1 — катод, испускающий поток электронов i_1 , 2 — мишень, в которую ударяют первичные электроны, в результате чего выбиваются вторичные электроны i_2 ; 3 — коллектор, собирающий вторичные электроны. В некоторых случаях устройство может быть многокаскадным и вместо коллектора 3 может быть установлена вторая мишень и т. д. Таким многокаскадным устройством обычно является электронный умножитель.

Вторичная эмиссия характеризуется коэффициентом вторичной эмиссии σ , который равен отношению числа вторичных электронов n_2 к числу первичных электронов n_1 или отношению токов i_2 и i_1 . Коэффициент вторичной эмиссии может быть как больше, так и

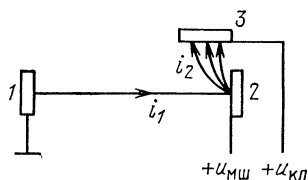


Рис. 3.3. К пояснению вторичной электронной эмиссии.

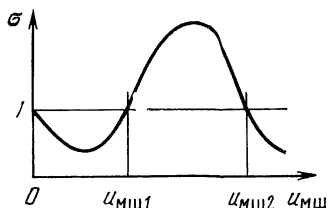


Рис. 3.4. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от потенциала мишени.

меньше единицы. Его значение зависит от энергии первичных электронов, угла падения на мишень, материала мишени и ряда других факторов.

На рис. 3.4 изображена зависимость коэффициента вторичной эмиссии σ от напряжения на мишени $U_{мш}$. С увеличением $U_{мш}$ кинетическая энергия первичных электронов растет. При малых значениях $U_{мш}$ первичные электроны поглощаются мишенью, а число вторичных электронов мало. Поэтому при малом напряжении на мишени (режим медленных электронов) $\sigma < 1$. С увеличением $U_{мш}$ число электронов растет и при $U_{мш} > U_{мш1}$ значение σ становится больше единицы (режим быстрых электронов). При дальнейшем увеличении $U_{мш}$ число вторичных электронов начинает уменьшаться, что связано с увеличением глубины проникновения первичных электронов в мишень, и, начиная с $U_{мш} = U_{мш2}$, значение $\sigma < 1$ (режим вторичной электронной проводимости).

3.2. ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ БЕЗ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Простейшими преобразователями, применяемыми в ТВ системах, являются фотоэлектронный умножитель и диссектор. По своей конструкции эти преобразователи имеют много общего: их работа основана на одинаковых физических процессах (внешний фотоэффект, вторичная эмиссия электронов); оба преобразователя относятся к классу преобразователей без накопления энергии. Преобразование световой энергии в электрическую без накопления заключается в том, что с элемента изображения «считывается» сигнал, энергия которого накапливается за очень малое время прохождения развертывающего луча по этому элементу. Все остальное время периода развертки световая энергия в электрическую не преобразуется.

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Схематически конструкция ФЭУ показана на рис. 3.5. Он представляет собой

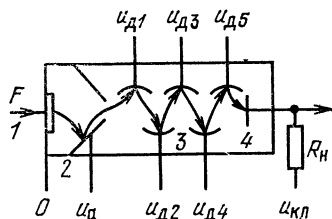


Рис. 3.5. Фотоэлектронный умножитель.

стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого с торца нанесен фотокатод с внешним фотоэффектом (1). На анод (2) подается положительное напряжение для создания ускоряющего электрического поля и для получения вторичных электронов. За анодом установлены диноды (3), с поверхности которых также происходит вторичная эмиссия электронов. Последним электродом является коллектор (4), на который подается положительное напряжение, большее по сравнению с напряжением на динодах. На резисторе нагрузки R_H выделяется напряжение видеосигнала.

Благодаря использованию нескольких динодов в ФЭУ, помимо преобразования светового потока в электрические сигналы, происходит усиление сигналов. Каждый каскад умножителя обеспечивает коэффициент вторичной эмиссии $\sigma=3-4$. Число каскадов обычно около 10. Общий коэффициент усиления ФЭУ составляет 10^4-10^6 . Благодаря усилению сигналов ФЭУ обладают высокой чувствительностью! Достоинствами их также являются линейность зависимости тока коллектора от

светового потока, падающего на фотокатод, отсутствие регулировок и высокая надежность.

В фотоэлектронном умножителе происходит только преобразование светового потока в электрический ток и не производится развертки изображения. Поэтому фотоэлектронные умножители применяются в ТВ системах с внешней световой разверткой. Принципы работы таких систем рассмотрены в § 1.1. Примером ТВ устройства со световой разверткой является фототелеграфный

аппарат. В нем луч света перемещается по изображению, а отраженный свет воспринимается ФЭУ. В результате этого происходит световая развертка изображения в электрический сигнал.

Диссектор представляет собой ТВ передающую трубку без накопления энергии, в которой одновременно происходит преоб-

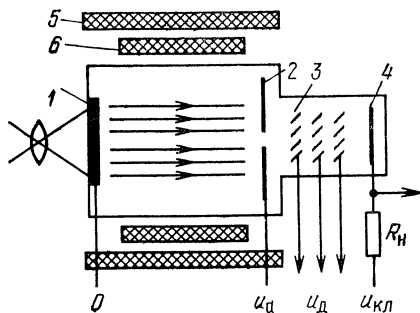


Рис. 3.6. Диссектор.

разование светового излучения в поток электронов и электронная развертка изображения. Схематически конструкция диссектора показана на рис. 3.6. Диссектор выполнен в виде стеклянного баллона, на внутреннюю поверхность которого с торца нанесен фотокатод (1), далее установлен анод (2) с отверстием посередине, за анодом установлены диоды фотоэлектронного умножителя (3) и коллектор (4). Диссектор окружен цилиндрической фокусирующей катушкой (5) и отклоняющими катушками (6).

Диссектор состоит из двух частей: секции переноса и фотоэлектронного умножителя. Секция переноса заключена между фотокатодом 1 и анодом 2. Под действием светового потока электроны вылетают из фотокатода, а под действием электрического поля анода и магнитного поля фокусирующей катушки они направляются к аноду. При этом большая часть электронов захватывается анодом, а часть из них через отверстие (диафрагму), расположенную в центре анода, приходит к ФЭУ. Поле отклоняющих катушек смещает траектории полета электронов в соответствии с законами раз-

вертки изображения по строкам и по кадрам. В результате этого через отверстие анода проходят электроны, соответствующие различным элементам изображения. Так происходит развертка изображения в диссекторе.

В фотоэлектронном умножителе электрический сигнал усиливается. Резистор R_n включен в цепь коллектора. При увеличении освещенности фотокатода электрический ток коллектора возрастает и потенциал коллектора падает. Белым элементам изображения соответствует минимальный потенциал коллектора, а черным — максимальный. Следовательно, диссектор дает ТВ сигнал негативной полярности.

Разрешающая способность диссектора определяется размером отверстия анода: чем меньше диаметр отверстия, тем она выше. Но с уменьшением диаметра отверстия уменьшается поток электронов, проходящих из секции переноса в секцию ФЭУ, и, следовательно, уменьшается чувствительность ТВ системы. Таким образом, имеется противоречие между важнейшими требованиями, предъявляемыми к ТВ системе: требованиям по разрешающей способности и световой чувствительности.

Недостатком диссектора является низкая световая чувствительность. Достоинства диссектора: простота конструкции, дешевизна, простота регулировки, линейность световой характеристики. Достоинства и недостатки диссектора определяют область его применения. Он используется в ТВ устройствах летательных аппаратов для передачи изображений ярких объектов при невысокой разрешающей способности.

3.3. ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С НАКОПЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ

Суперортикон является одной из наиболее чувствительных передающих ТВ трубок. Он широко применяется в ТВ системах, предназначенных для работы в условиях слабой освещенности. Суперортикон и все трубки, рассматриваемые в данном параграфе, относятся к классу преобразователей с накоплением энергии. Преобразование с накоплением заключается в том, что световая энергия накапливается за весь период развертки, а во время прохождения развертывающего луча по элементу быстро считывается. Благодаря накоплению энергии

увеличивается световая чувствительность преобразователя.

Конструкция суперортикона упрощенно показана на рис. 3.7. Суперортикон выполнен в стеклянном баллоне (трубке), на торцевую поверхность которого изнутри нанесен полупрозрачный фотокатод (1). Далее установлен кольцевой анод (2). Мишень (3) выполнена в виде

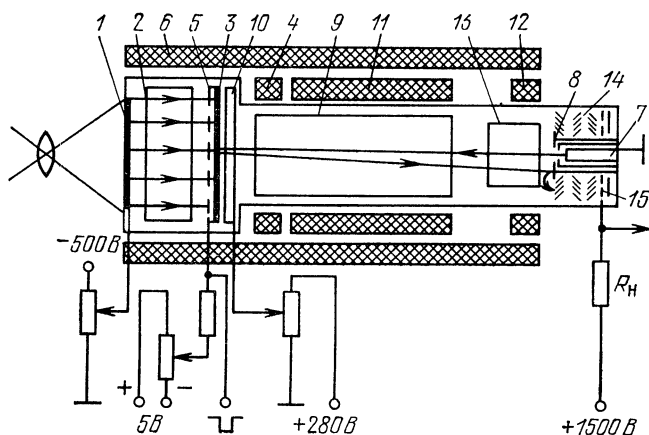


Рис. 3.7. Суперортикон.

пластинки из стекла толщиной 3—5 мкм, имеющей определенную проводимость. Для фиксации проводимости мишени, которая может меняться с изменением температуры, на трубку вблизи мишени надета нагревательная катушка (4), с помощью которой поддерживается постоянная температура мишени, равная нескольким десяткам градусов. На расстоянии примерно 50 мкм перед стеклянной мишенью расположена сетка мишени (5). Она изготавливается электролитическим способом из меди, имеет толщину около 10 мкм и содержит от 400 до 900 отверстий на 1 мм². Сетка мишени однородная и прозрачная, для электронов ее коэффициент пропускания составляет около 60%.

Фотокатод, анод, мишень и сетка мишени являются основными элементами первой секции суперортикона, которая называется секцией переноса. Рассматривая процессы, протекающие в секции переноса, необходимо иметь в виду, что весь суперортикон помещен в цилин-

дрическую фокусирующую катушку (6), создающую продольное магнитное поле. Под действием светового потока электроны эмитируют из фотокатода и под действием электрического поля сетки мишени и анода, а также магнитного поля фокусирующей катушки направляются к мишени. Так осуществляется электронный перенос изображения с фотокатода на мишень. Электрическое поле секции переноса является ускоряющим для электронов и при движении от фотокатода к мишени их кинетическая энергия увеличивается, при этом происходит усиление изображения.

Процессы, протекающие в мишени, рассмотрим несколько упрощенно, не учитывая влияния на них емкости различных элементов конструкции. Большая часть электронов (около 60%) проникает через сетку к мишени. Их энергия достаточно большая (около 300 эВ). Коэффициент вторичной эмиссии $\sigma \approx 5$. Следовательно, мишень со стороны секции переноса работает в режиме быстрых электронов.

Вторичные электроны, выбитые из мишени, попадают на сетку. При отсутствии сетки эти электроны создавали бы тормозящее облако перед мишенью и это облако могло бы исказить изображение. Таким образом, сетка мишени является важным элементом конструкции суперортикона.

Из-за ухода вторичных элементов с мишени она заряжается положительно, пропорционально числу первичных электронов и, следовательно, освещенности фотокатода. Если на фотокатод спроектировано оптическое изображение, то распределение потенциала на мишени воспроизводит это изображение. Так создается потенциальный рельеф мишени. Важно отметить, что большей освещенности фотокатода соответствует больший потенциал мишени. Процесс создания потенциального рельефа мишени может происходить при кратковременном освещении фотокатода. При длительном освещении потенциал мишени не может расти беспредельно и должно наступить насыщение. При правильно выбранном режиме работы суперортикона насыщение не наступает благодаря периодическому снятию зарядов с мишени в секции развертки.

Секция развертки расположена правее мишени. В нее входят электронный прожектор трубки с подогревным катодом (7) и анодом (8), фокусирующий электрод (9) и тормозящий электрод (10). Электронный прожектор,

в аноде которого имеется выходное отверстие (размером около 50 мкм), формирует тонкий электронный луч, который фокусируется магнитным полем фокусирующей катушки (6) и электрическим полем фокусирующего электрода. Рядом с мишенью расположен тормозящий электрод (10), выполненный в виде кольца. На него подается потенциал, примерно равный потенциалу катода прожектора. Под действием поля мишени и тормозящего электрода электроны луча, формируемого прожектором, тормозятся и подлетают к мишени со скоростью, почти равной нулю. Часть электронов луча захватывается мишенью, а часть поворачивает обратно к прожектору.

Электронный луч перемещается по поверхности мишени под действием магнитного поля отклоняющих катушек (11), и ток луча обратных электронов $i_{обр}$ изменяется в соответствии с изменением потенциального рельефа мишени. Так осуществляется развертка изображения в суперортиконе. Можно отметить, что со стороны секции развертки мишень работает в режиме медленных электронов. Корректирующие катушки (12) служат для центровки луча электронного прожектора в поле фокусирующей катушки.

Потенциальный рельеф мишени накапливается за весь период развертки и считается за время прохождения луча по элементу рельефа. Время накопления значительно больше времени считывания. В суперортиконе накопление происходит практически непрерывно, чем он принципиально отличается от диссектора, у которого накопление энергии изображения производится только во время считывания.

Для того чтобы во время обратного хода развертки луч не «портит» потенциальный рельеф мишени, на мишень подаются отрицательные импульсы, длительность которых несколько превышает время обратного хода. Этим импульсы уменьшают потенциал мишени и создают тормозящее поле, под действием которого электроны развертывающего луча возвращаются назад ($i_{обр} = i_{пр}$), не долетая до мишени.

Рассмотрим процессы, протекающие в секции, называемой секцией электронного умножения. В эту секцию входят цилиндр умножителя (13), анод прожектора (8), диоды электронного умножителя (14) и коллектор умножителя (15). Возвращающиеся от мишени электроны попадают в ускоряющее электрическое поле, созда-

ваемое фокусирующим электродом (9), цилиндром умножителя и анодом прожектора. Потенциалы этих электродов возрастают в направлении движения обратных электронов. Под действием ускоряющего поля обратные электроны приобретают большую кинетическую энергию и, ударясь о поверхность анода прожектора, выбивают вторичные электроны. Те, в свою очередь, попадают на первый динод электронного умножителя и выбивают из него вторичные электроны и т. д.

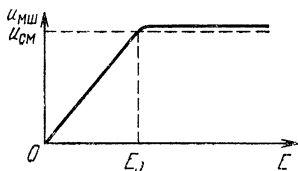


Рис. 3.8. Зависимость потенциала мишени суперорбитрона от освещенности фотокатода.

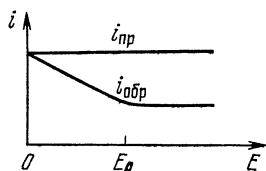


Рис. 3.9. Зависимости прямого и обратного тока развертывающего луча суперорбитрона от освещенности фотокатода.

Электроны, выбитые из последнего динода, поглощаются коллектором. В типовом суперорбитроне обычно имеется пять каскадов электронного умножителя, обеспечивающих усиление тока обратного луча примерно в 500 раз.

Предположим, что фотокатод суперорбитрона освещен равномерно. В этом случае зависимость потенциала мишени от освещенности фотокатода E имеет вид, показанный на рис. 3.8. С увеличением освещенности потенциал сначала растет по линейному закону, а затем наступает насыщение и потенциал остается неизменным. Явление насыщения объясняется тем, что при некоторой освещенности фотокатода E_0 потенциал мишени $U_{мш}$ достигает потенциала сетки мишени и при дальнейшем увеличении освещенности фотокатода между сеткой и мишенью возникает тормозящее электрическое поле, препятствующее переходу вторичных электронов на сетку мишени. Они возвращаются обратно на мишень, и рост потенциала мишени прекращается.

На рис. 3.9 показана зависимость прямого $i_{пр}$ и обратного $i_{обр}$ токов развертывающего луча. Прямой ток не зависит от освещенности фотокатода. Обратный ток с увеличением освещенности сначала уменьшается по линейному закону в результате увеличения количества

электронов, захватываемых мишенью, а затем при насыщении он становится постоянным.

Постоянная составляющая тока (или напряжения) на выходе суперортика всегда компенсируется. Полезный сигнал $i_s = k(i_{\text{пр}} - i_{\text{обр}})$, вызванный изменением освещенности фотокатода, пропорционален разности токов прямого и обратного лучей. Коэффициент пропорциональности k равен коэффициенту усиления электронного умножителя.

В статическом режиме (при равномерной освещенности фотокатода) суперортик может работать при изменении освещенности от 0 до некоторого значения E_0 . Зависимость тока сигнала i_s от освещенности E , называемая статической световой характеристикой суперортика, приведена на рис. 3.10 (кривая 1). В справочниках приводятся значения E_0 и i_0 , характеризующие световую чувствительность суперортика. Например, у суперортика ЛИ-218 $E_0 = 0,1$ лк при $i_0 = 2$ мкА.

В динамическом режиме (при неравномерной освещенности фотокатода) суперортик может работать при больших пределах изменения E . Динамические световые характеристики также приведены на рис. 3.10 (кривые 2 и 3).

В динамическом режиме работы суперортика происходит перераспределение вторичных электронов, возвращающихся на мишень: вторичные электроны, выбитые с участков мишени, соответствующих светлым местам изображения, возвращаясь, попадают на участки мишени, соответствующие темным местам изображения, и понижают их потенциал. В результате этого световая характеристика смещается вправо. Динамические режимы 2 и 3 на рис. 3.10 различаются средней освещенностью фотокатода (в режиме 2 средняя освещенность меньше, чем в режиме 3).

Важной характеристикой суперортика является его апертурная характеристика (рис. 3.11), представляющая собой зависимость перепада токов, соответствующих черным и белым линиям изображения, от числа линий Z , равномерно расположенных поперек строки. С увеличением Z (уменьшением размера линий) перепад тока уменьшается. Разрешающую способность передающей трубки принято характеризовать числом линий, при котором перепад токов уменьшается до 20%, у суперортика эта величина равна 600—1000. Основной причиной уменьшения тока при передаче мелких деталей изобра-

жения является растекание зарядов по мишени. Кроме того, на разрешающую способность суперортикона влияет расфокусировка развертывающего луча вблизи мишени.

Основным достоинством суперортикона является его высокая световая чувствительность, что объясняется усилением изображения в секции переноса и накоплением энергии изображения в мишени, а также тем, что

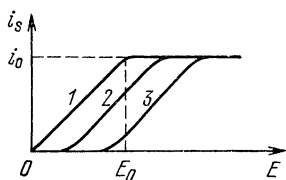


Рис. 3.10. Статическая (1) и динамические (2 и 3) световые характеристики суперортикона.

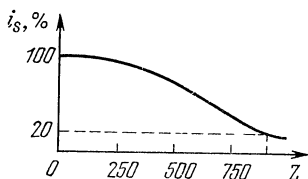


Рис. 3.11. Апертурная характеристика суперортикона.

ввиду усиления тока на выходе суперортикона в электронном умножителе шумы последующих каскадов практически не влияют на изображение.

Суперортикон имеет и ряд недостатков. Главный из них — плохое качество изображения из-за низкого отношения сигнал/шум на выходе трубки. В суперортиконе возникает дробовой шум потока электронов в секции переноса, дробовой шум развертывающего луча и шум электронного умножителя. Шум, возникающий в секции переноса, ослабляется в процессе накопления зарядов мишени, и основную роль играют шум развертывающего луча и шум умножителя. Мощность этих шумов пропорциональна $i_{2\text{обр}}^2$. Обратный ток максимален на темных местах изображения. Поэтому при использовании суперортикона шум максимален на темном фоне. Другим недостатком является необходимость длительного прогрева суперортикона перед началом работы с помощью специальной катушки подогрева для установления теплового режима мишени. На прогрев затрачивается 10—30 мин.

Видикон представляет собой передающую ТВ трубку, работа которой основана на использовании внутреннего фотоэффекта. Устройство видикона поясняется рис. 3.12. Фотокатод (1) нанесен на внутреннюю торцевую поверх-

ность баллона. Он состоит из тонкой, прозрачной металлической пленки, нанесенной на стеклянную поверхность баллона и покрытой слоем фотопроводящего вещества толщиной в несколько микрометров. Внутри баллона установлены катод прожектора (2), управляющий электрод прожектора (3), первый анод (6) и цилиндрический второй анод (7), закрытый со стороны фотокатода выравнивающей сеткой. Снаружи вокруг баллона размещены отклоняющие катушки (8) и фокусирующая катушка (9).

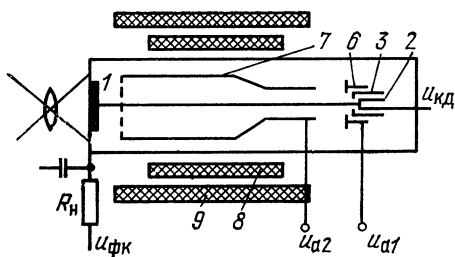


Рис. 3.12. Видикон.

Видикон может работать как в режиме медленных, так и в режиме быстрых электронов. Режим работы определяется потенциалами на электродах трубки. Наиболее часто используется режим медленных электронов.

В режиме медленных электронов $U_{фк} > U_{а2}$. Свободные электроны, образующиеся в фотопроводящем слое под действием света, попадают в электрическое поле между фотокатодом и выравнивающей сеткой и движутся к металлической токоотводящей пленке. В результате этого на поверхности фотокатода, обращенной к выравнивающей сетке, создается положительный потенциальный рельеф.

В этом режиме напряжение на электродах видеонаблюдения регулируется так, чтобы электроны развертывающего луча подходили к фотокатоду с нулевой скоростью. Часть электронов захватывается фотокатодом, в результате компенсируется положительный заряд фотопроводящего слоя, а остальные электроны возвращаются к первому аноду. Через нагрузочное сопротивление R_n протекает ток, пропорциональный освещенности фотокатода. Во время обратного хода развертывающего луча

он гасится при подаче отрицательного напряжения на управляющий электрод.

В режиме быстрых электронов $u_{фк} < u_{a2}$ и на поверхности фотокатода, обращенной внутрь трубки, создается отрицательный потенциальный рельеф. Вторичные электроны, выбитые развертывающим лучом из фотокатода, перемещаются ко второму аноду. Число их увеличивается с ростом освещенности фотокатода, и ток через нагрузочное сопротивление растет. Направление тока в режиме быстрых электронов противоположно направлению тока в режиме медленных электронов, поэтому при смене режима меняется и полярность сигнала.

В режиме медленных электронов обеспечивается более высокая световая чувствительность видикона, а в режиме быстрых электронов — более широкий динамический диапазон. В авиационных системах чаще используется видикон в режиме медленных электронов.

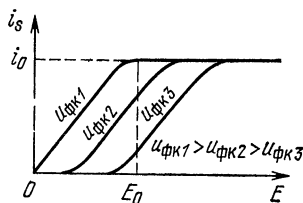


Рис. 3.13. Световые характеристики видикона при разном напряжении на фотокатоде.

Световые характеристики видикона, работающего в режиме медленных электронов (рис. 3.13), зависят от напряжения на фотокатоде $u_{фк}$. С увеличением этого напряжения усиливается потенциальный рельеф фотокатода и растет световая чувствительность видикона. Вместе с этим уменьшается его динамический диапазон и появляется опасность перехода в режим быстрых электронов в темных местах изображения.

В качестве примера приведем данные видикона ЛИ-23: $i_0 = 0,1$ мкА, $E_0 = 10$ лк. Сравнив эти данные с данными суперортикона ЛИ-218, приведенными в предыдущем параграфе, можно отметить, что видикон имеет меньшую световую чувствительность, чем суперортикон. Вместе с тем ток видикона i_0 меньше, чем обеспечивается меньшая мощность дробового шума и лучшее качество неподвижного изображения.

Можно отметить следующие достоинства видикона: простота конструкции, дешевизна, высокая надежность, малые размеры, простота регулировки. Основным недостатком видикона — большая инерционность, которая увеличивается при повышении световой чувствительности.

Поэтому видикон непригоден для высококачественной передачи подвижных изображений.

Основная область применения видикона — малогабаритные ТВ устройства, промышленные ТВ установки.

3.4. НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Трубки с внешним электронно-оптическим преобразователем. Наиболее простым способом повышения световой чувствительности передающей ТВ трубки является установка перед фотокатодом трубки дополнительного электронно-оптического преобразователя (ЭОП) (рис. 3.14). На рис. 3.14 I — ЭОП, II — передающая трубка. Изображение проектируется на фотокатод ЭОП.

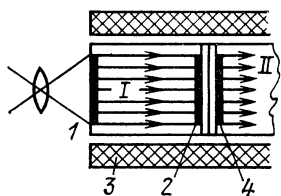


Рис. 3.14. Электронно-оптический преобразователь, установленный перед передающей трубкой.

Электроны, эмитированные из фотокатода (I) под действием падающего излучения, ускоряются статическим электрическим полем люминесцирующего экрана (2) и в магнитном поле фокусирующей катушки (3) и летят к экрану (2). Ударяясь о поверхность экрана, они вызывают его свечение, которое через прозрачную стеклянную перегородку передается на фотокатод передающей трубки (4).

Этот способ позволяет повысить световую чувствительность первичного преобразователя благодаря усилению в ЭОП. Кроме того, он позволяет преобразовывать спектр изображения. Например, фотокатод ЭОП может быть чувствительным к ИК излучению, а люминесцирующий экран ЭОП и фотокатод трубки могут работать в любой области длин волн излучения.

Недостаток описанного способа повышения световой чувствительности заключается в ухудшении разрешающей способности ТВ системы из-за рассеяния света в стеклянной перегородке, разделяющей экран ЭОП (2) и фотокатод передающей трубки.

ВЭП — видикон (эйбикон) — так называется передающая трубка, представляющая собой видикон с секцией переноса. Схематически конструкция трубки показана на рис. 3.15. На торцевую поверхность трубки нанесен

фотокатод (1). Вылетающие из него электроны под действием электрического и магнитного полей движутся к мишени (2). Этот процесс аналогичен процессу в ЭОП и в секции переноса суперорбитрона. Мишень эйбикона работает в режиме вторичной электронной проводимости (см. рис. 3.4). В этом режиме фотоэлектроны и выбитые ими вторичные электроны остаются в толще мишени ($\sigma < 1$) и увеличивают проводимость участков мишени, соответствующих светлым местам изображения. Секция развертки работает так же, как у видикона.

Эйбикон обладает теми же достоинствами, что и видикон: простотой конструкции, надежностью, простотой регулировки. Его световая чувствительность выше чувствительности видикона и составляет $10^{-3}—10^{-4}$ лк [11].

Главным недостатком эйбикона является высокая инерционность, вызванная длительными процессами в мишени.

Секон. Схематическое изображение конструкции секона такое же, как у ВЭП — видикона (рис. 3.15). Принципиальное отличие секона от ВЭП — видикона заключается в режиме работы мишени (2). У ВЭП — видикона мишень работает в режиме вторичной электронной проводимости, а у секона — в режиме «на прострел».

Сущность этого режима состоит в том, что фотоэлектроны продолжают разгоняться и в толще мишени. Появляются вторичные электроны, и число их в мишени лавинообразно нарастает. Для возникновения такого режима в качестве мишени используется так называемая микроканальная пластина толщиной 10—25 мкм. Процесс лавинообразного увеличения числа электронов заканчивается вылетом электронов из мишени в секцию развертки, где они собираются и отводятся специальной сеткой. Число электронов, вылетевших из мишени в секцию развертки, значительно больше числа электронов, попавших на мишень со стороны секции переноса. Таким образом, в мишени секона происходит усиление, что

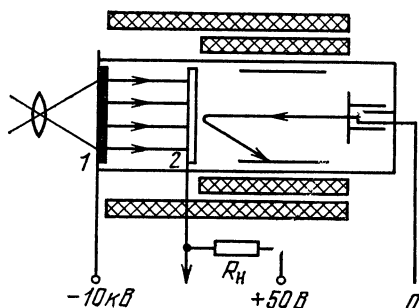


Рис. 3.15. ВЭП — видикон.

обуславливает повышение световой чувствительности этой трубки.

В результате вылета электронов на поверхности мишени, обращенной к секции развертки, создается положительный потенциальный рельеф. Перепад напряжения может достигать 8—15 В (вместо 1 В у суперортикона). Считывание рельефа производится в режиме медленных электронов (как в суперортиконе). Нагрузочный резистор обычно устанавливается в цепи мишени.

Световая чувствительность типового секона характеризуется величиной освещенности фотокатода порядка 10^{-3} лк [12]. Может быть получена и более высокая чувствительность у экземпляров с хорошей мишенью. Инерционность секона небольшая. Потенциальный рельеф мишени при запертом луче может сохраняться длительное время, поэтому секон может использоваться для запоминания информации.

3.5. УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ

Для реализации метода поочередной передачи элементов ТВ изображения необходимо, чтобы развертывающие устройства передающей и приемной частей ТВ системы работали синхронно (с одинаковой частотой следования циклов развертки) и синфазно (одновременное начало циклов). Выполнение условий синхронности и синфазности может обеспечиваться с помощью автономной или принудительной синхронизации.

При автономной синхронизации какая-либо связь между генераторами разверток передающей и приемной частей отсутствует. Необходимая синфазность достигается исключительно благодаря высокой стабильности частоты генераторов развертки. Стабильность генераторов развертки настолько высока, что ее реализация в большинстве практических случаев оказывается невозможной. Кроме того, при использовании ТВ систем на летательных аппаратах, в особенности на космических, допустимое повышение стабильности генераторов разверток ограничивается эффектом Доплера, из-за которого возникают значительные уходы частоты (фазы) при относительном радиальном перемещении передающей и приемной частей открытой (с радиолинией связи) системы. Таким образом, возможности автономной синхронизации весьма ограничены.

Преимущественное применение в ТВ системах находит принудительная синхронизация, при которой по каналу связи на приемную сторону передаются специальные сигналы (сигналы синхронизации), содержащие информацию о фазе развертки. В большинстве случаев канал передачи синхронизирующих сигналов (рис. 1.4) совмещается с каналом передачи ТВ сигналов. Такое совмещение производится с использованием метода вре-

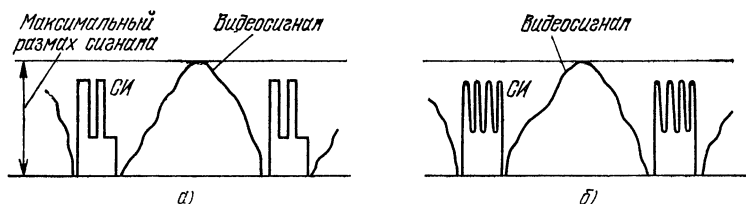


Рис. 3.16. К пояснению способов передачи синхросигналов.

менного уплотнения, при котором синхронизирующие сигналы передаются во время обратного хода развертки.

На рис. 2.14 показана наиболее распространенная форма полного вещательного ТВ сигнала. Синхроимпульсы (строчные и кадровые) отличаются от видеосигнала по амплитуде, что позволяет отделить их на приемной стороне от видеосигнала методом амплитудной селекции. В ТВ системах летательных аппаратов для экономии энергии бортового радиопередатчика используются способы синхронизации, при которых амплитуда синхросигналов (СИ) не превышает амплитуды видеосигналов (рис. 3.16). При этом синхросигналы передаются в виде кодовых групп из n импульсов каждая (на рис. 3.16,а показаны двухимпульсные кодовые группы), размещаемых в интервале обратного хода развертки или в виде «пакетов» синусоидальных колебаний (рис. 3.16,б) определенной частоты. Эти способы синхронизации позволяют использовать полностью динамический диапазон допустимого изменения интенсивности сигналов в канале связи для передачи видеосигналов.

На рис. 1.4 приведена общая схема ТВ системы с совмещенным каналом передачи ТВ сигналов. Хронизирующим устройством, определяющим цикличность работы генератора строчной и кадровой развертки, явля-

ется синхрогенератор. Его сигналы подаются непосредственно на генераторы развертки передающей трубки, обеспечивая их синхронизацию, и «замешиваются» в видеосигнал для передачи на приемную сторону. В блоке синхронизации приемной части системы из принятого общего ТВ сигнала выделяются синхронизирующие сигналы, которые затем используются для синхронизации генераторов разверток кинескопа.

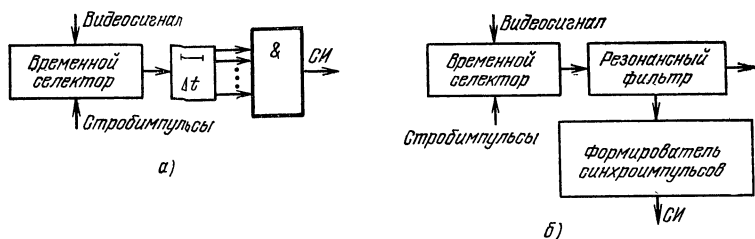


Рис. 3.17. К пояснению способов выделения синхросигналов.

Если синхроимпульсы отличаются по амплитуде, то их выделение из полного видеосигнала производится с помощью амплитудного селектора. При передаче же синхросигналов в виде кодовых групп импульсов или «пакетов» синусоидальных колебаний их выделение из видеосигнала производится с помощью временного и специальных селекторов (рис. 3.17).

Временной селектор (рис. 3.17) обеспечивает прохождение сигналов в последующие каскады устройств во время обратного хода развертки. Кодовые группы импульсов, прошедшие временной селектор (рис. 3.17,а), преобразуются логическим фильтром, состоящим из устройства задержки и схемы совпадения (элементы И), в периодическую последовательность импульсов синхронизации. Пакеты синусоидальных колебаний, прошедшие временной селектор (рис. 3.17,б), подаются на резонансный фильтр. На выходе фильтра выделяется синусоидальный сигнал, который преобразуется формирующим каскадом в периодическую последовательность синхроимпульсов.

Важной функцией устройства синхронизации приемной части ТВ системы является разделение синхросмеси на строчные и кадровые синхросигналы, обычно отличающиеся по длительности. Такое разделение осуществ-

вляется с помощью интегрирующих и дифференцирующих RC -цепей (рис. 3.18). В ТВ системах летательных аппаратов часто передаются только строчные синхроимпульсы. Кадровые синхроимпульсы получаются на приемной стороне путем деления частоты следования строчных синхроимпульсов в Z раз.

На работу ТВ системы влияют помехи, проникающие и в канал синхронизации. Это приводит к сдвигу начала

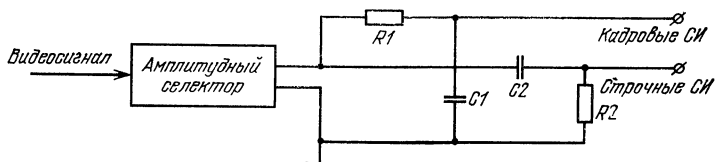


Рис. 3.18. К пояснению разделения синхросигналов.

разверток по строкам (и по кадрам) и к нарушению четкости изображения. Поэтому важнейшим требованием, предъявляемым к устройствам синхронизации, является требование высокой помехоустойчивости. Кроме того, требуется, чтобы всякие нестационарные процессы в устройствах синхронизации заканчивались достаточно быстро. Эти два требования противоречивы. Поэтому при практической реализации устройств синхронизации находят компромиссные решения с учетом условий работы канала синхронизации и свойств сигналов синхронизации.

При принудительной синхронизации в приемной части ТВ систем применяются безынерционные и инерционные устройства синхронизации. Безынерционными принято называть устройства, в которых принятыми сигналами осуществляется непосредственная синхронизация релаксационного задающего генератора устройства развертки. При этом время вхождения в синхронизм при достаточной амплитуде синхросигналов соизмеримо с периодом колебаний генератора. Процесс синхронизации блокинг-генератора положительными импульсами синхронизации иллюстрируется рис. 3.19,а. (В других типах релаксационных генераторов происходят аналогичные процессы.) При положительном синхроимпульсе период собственных колебаний блокинг-генератора $T_{бг}$ должен быть больше периода следования синхроимпульса $T_{сх}$.

Основной недостаток безынерционных устройств син-

хронизации связан с их низкой помехоустойчивостью. Любой достаточно интенсивный выброс помехи, опережающий импульс синхронизации (рис. 3.19,б), вызовет срыв синхронизации. Кроме того, флуктуационные шумы вызывают изменение момента запуска развертки синхроимпульсами, что приводит к случайному взаимному сдвигу строк и кадров на экране приемной трубки.

Дисперсия моментов запуска электронного реле при воздействии синхроимпульсов и флуктуационных помех определяется соотношением [18]

$$\sigma_{\varphi}^2 = \sigma_{\text{ш}}^2 / S^2,$$

где S — крутизна фронта импульса синхронизации; $\sigma_{\text{ш}}^2$ — дисперсия аддитивного шума.

Обычно требуется, чтобы величина σ_{φ} не превышала половины длительности одного элемента изображения, т. е. $\sigma_{\varphi} < T\delta/L$. Тогда действующее значение шума должно удовлетворять неравенству $\sigma_{\text{ш}} < ST\delta/L$.

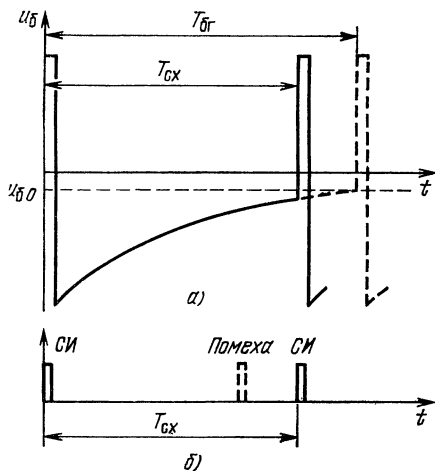


Рис. 3.19. К пояснению процесса синхронизации блокинг-генератора.

Для повышения помехоустойчивости канала синхронизации в него включают инерционные устройства, поскольку ширина спектра сигналов синхронизации определяется нестабильностью задающего генератора устройства развертки передающей части ТВ системы и составляет доли герца. При импульсном методе передачи синхросигналов, который в настоящее время широко применяется в ТВ системах, требуется значительное расширение полосы пропускания канала для того, чтобы обеспечивалось прохождение всех гармонических составляющих спектра периодической последовательности синхроимпульсов. Так, например, в вещательной ТВ системе требуемая полоса пропускания канала строчной синхронизации

$f_c \approx 0,5$ МГц. Передаются же сигналы синхронизации по общему ТВ каналу с полосой пропускания $f_{\text{в}} \approx 6$ МГц. С расширением полосы пропускания канала увеличивается и интенсивность помех, проникающих на выход канала синхронизации. В связи с этим при импульсном методе передачи синхросигналов для сужения полосы пропускания канала синхронизации на его выходе устанавливается устройство с узкой полосой пропускания, которое часто называют инерционным, а систему синхронизации — инерционной системой. Таким инерционным устройством в канале передачи кадровых синхроимпульсов является интегрирующая RC -цепочка, используемая одновременно для выделения кадровых синхроимпульсов из общей их смеси. В канал синхронизации строчной развертки в качестве инерционных (узкополосных) устройств включаются: резонансные фильтры LC в виде одиночного колебательного контура, генераторы с захватыванием и устройства фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

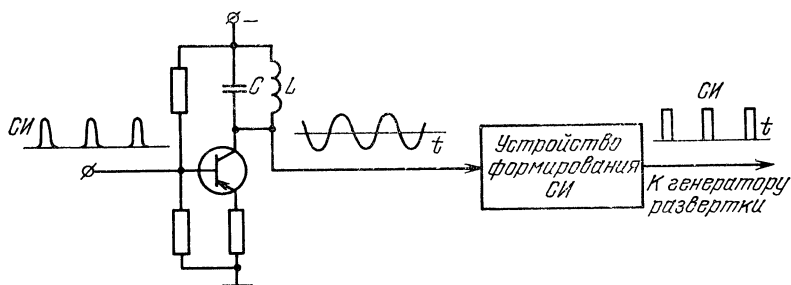


Рис. 3.20. Схема выделения синхросигналов с колебательным контуром.

Резонансный усилитель с узкополосным колебательным контуром, включенный в канал синхронизации (рис. 3.20) для выделения синхросигналов из шумов, является простейшей пассивной инерционной цепью. Контур настраивается на частоту синхронизирующих сигналов, а в случае импульсного сигнала — на частоту следования импульсов.

Как известно [18], дисперсия флуктуаций фазы колебаний на выходе резонансного усилителя

$$\sigma^2_1 = \pi N_0 \Delta f / u^2_{\text{вых}}, \quad (3.1)$$

где N_0 — энергетический спектр белого шума на входе резонансного усилителя; Δf — половина полосы пропускания контура; $u_{\text{вых}}$ — амплитуда синхросигнала на выходе резонансного усилителя. Из соотношения (3.1) следует, что для уменьшения дисперсии выходных флуктуаций необходимо уменьшить полосу пропускания контура. Однако при этом надо учитывать случайные фазовые сдвиги выходного сигнала при расстройке контура под действием дестабилизирующих факторов, неточной его настройки и неустойчивости частоты приходящих синхросигналов. Фазовый сдвиг сигнала в контуре, определяемый расстройкой, $\Delta\varphi = \arctg(\Delta f_p/\Delta f)$, где Δf_p — расстройка контура по отношению к частоте приходящего сигнала. Если предположить, что $\Delta f_p \ll \Delta f$, то $\Delta\varphi \approx \Delta f_p/\Delta f$. В этом случае дисперсия сигнала синхронизации на выходе селектирующего устройства, определяемая неустойчивостью настройки контура, определяется из соотношения [18] $\sigma_{2\varphi}^2 = \sigma_f^2/(\Delta f)^2$, где σ_f^2 — дисперсия расстройки контура.

Суммарная дисперсия изменения фазы сигнала

$$\sigma_{\varphi}^2 = \pi \Delta f N_0 / u_{\text{вых}}^2 + \sigma_f^2 / \Delta f^2. \quad (3.2)$$

Из выражения (3.2) следует, что суммарная ошибка с увеличением полосы пропускания растет за счет первого члена правой части и уменьшается за счет второго. Оптимальное значение полосы пропускания $\Delta f_{\text{опт}}$, при котором суммарная ошибка минимальна, определяется соотношением [18]

$$\Delta f_{\text{опт}} = \sigma_f \left(\frac{2}{\pi} \frac{u_{\text{вх}}^2}{\sigma_f N_0} \right)^{1/3}.$$

При этом суммарная дисперсия фазы выходного сигнала составит

$$\sigma_{\varphi}^2 = 3 \left(\frac{5 N_0 \sigma_f}{2 u_{\text{вх}}^2} \right)^{2/3}.$$

Генератор с захватыванием представляет собой автоколебательную систему обычно с LC-контуром (рис. 3.21), находящуюся в режиме вынужденной синхронизации (в режиме «захватывания») поступающими сигналами. Сущность процесса «захватывание» состоит в том, что при наличии внешнего сигнала в генераторе изменяются первоначальные соотношения между токами и напряжениями, что сопровождается изменением фазы генерируемых колебаний.

Автоколебательные устройства, работающие в режиме синхронизации внешними сигналами, характеризуются полосой схватывания ($2\Delta f_{\text{схв}}$) и полосой удержания ($2\Delta f_{\text{уд}}$). Полосой схватывания называют область начальных отклонений частоты синхронизирующего сигнала, соответствующих режиму синхронизации генератора развертки, если вначале этот генератор не был синхронизирован. Полоса схватывания характеризует способность

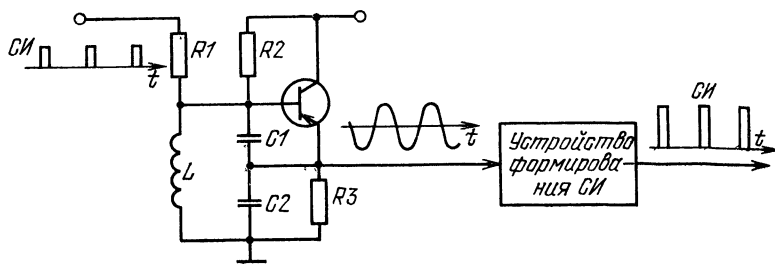


Рис. 3.21. Устройство синхронизации, использующее генератор с захватыванием.

устройства входить в синхронизм под действием внешнего сигнала при сближении частот этого сигнала (как со стороны верхних, так и нижних частот) с частотой колебаний генератора. Полосой удержания называют область отклонений частоты синхронизирующего сигнала, соответствующих режиму синхронизации генератора, если вначале этот генератор был синхронизирован.

В системах ФАПЧ стремятся расширить полосу схватывания для обеспечения ввода системы в режим синхронизации при значительной разности частот входного сигнала и управляемого генератора. Вместе с тем расширение полосы схватывания усиливает влияние входных помеховых сигналов. Полоса удержания характеризует способность устройства синхронизации удерживать генератор в режиме синхронизации с увеличением разности частот входного сигнала и сигнала генератора. В генераторе с захватыванием полосы схватывания и удержания равны друг другу и могут быть определены из соотношения [18]

$$2\Delta f_{\text{схв}} = 2\Delta f_{\text{уд}} = \omega_1 \tau_1 u_1 / T u_T, \quad (3.3)$$

где u_1 , τ_1 , ω_1 , T — соответственно амплитуда, длительность, круговая частота и период следования импульсов синхронизации; u_T — амплитуда сигналов генератора.

Генератор с захватыванием в первом приближении можно рассматривать как некоторый фильтр с полосой пропускания, равной полосе захватывания, который включен в канал синхронизации так же, как резонансный LC -фильтр. Однако полоса такого фильтра, как это следует из выражения (3.3), зависит от параметров полезного сигнала и помех на его входе. Для уменьшения воздействий флюктуаций на систему синхронизации при использовании генератора с захватыванием необходимо увеличивать амплитуду колебаний генератора по отношению к амплитуде синхронизирующих сигналов.

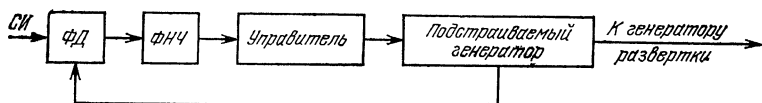


Рис. 3.22. Функциональная схема устройства синхронизации с ФАПЧ.

Устройство синхронизации с ФАПЧ обеспечивает автоматическое слежение за фазой синхронизирующего сигнала. Функциональная схема устройства синхронизации в общем виде приведена на рис. 3.22. На фазовый дискриминатор (ФД) поступают синхросигналы синусоидальной или импульсной формы частотой $f_{сх}$ и сигналы подстраиваемого генератора частотой $f_{пг}$. Выходное напряжение фазового дискриминатора проходит через фильтр низкой частоты и затем поступает на управитель, который воздействует на следящий генератор так, чтобы выполнялось условие $f_{сх} = f_{пг}$. При этом устройство ФАПЧ обеспечивает слежение за фазой синхросигнала. Колебания генератора устройства ФАПЧ используются далее для формирования синхросигналов. Инерционным устройство ФАПЧ называется потому, что в цепь управления частотой местного генератора включается фильтр, постоянная времени которого обычно во много раз больше периода следования синхронизирующих сигналов. При этом сигналы рассогласования усредняются, что приводит к повышению помехоустойчивости, поскольку при усреднении влияние случайных помех уменьшается. Однако инерционность устройства не должна быть слишком большой, так как тогда уменьшается быстродействие устройства ФАПЧ и сужается полоса схватывания,

Для устройства ФАПЧ с однозвенным RC -фильтром существуют два значения постоянной времени T_0 , определяющих два режима работы. Например, для косинусоидальной аппроксимации характеристики фазового дискриминатора $T_0 = 0,75 T_{сх} (2\pi k_{фд} k_y)$, где $T_{сх}$ — период следования синхросигналов; $k_{фд}$ — коэффициент передачи фазового дискриминатора; k_y — коэффициент передачи управителя.

Если постоянная времени фильтра $T_{ф} < T_0$, то полоса схватывания $2\Delta f_{схв}$ устройства ФАПЧ равна полосе удержания $2\Delta f_{уд}$ и определяется соотношением $2\Delta f_{схв} = 2\Delta f_{уд} = 2k_{фд} k_y$.

При $T_{ф} > T_0$ полоса схватывания меньше полосы удержания. В этом случае указанные полосы оказываются соответственно равными

$$2\Delta f_{уд} = 2k_{фд} k_y; \quad 2\Delta f_{схв} = 2,55 \sqrt{2k_{фд} k_y / T_{ф}}.$$

По точности слежения за фазой устройство ФАПЧ заметно превосходит генератор с захватыванием и тем более резонансный усилитель с колебательным LC -контуром. Однако в зависимости от условий работы и требований к точности синхронизации применяются все виды инерционных устройств синхронизации.

Следует отметить, что с включением любого инерционного устройства в канал синхронизации необходимо скомпенсировать начальный фазовый сдвиг входного сигнала, который вносится инерционным устройством.

3.6. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Приемные электронно-лучевые трубки. Основным прибором, обеспечивающим визуальное воспроизведение ТВ изображений, является приемная ТВ трубка — кинескоп. В ТВ устройствах обычно применяются кинескопы с электромагнитным отклонением. Работу кинескопа поясняет рис. 3.23. Пучок электронов, вышедший из электронного прожектора, фокусируется на экране кинескопа с помощью магнитной фокусирующей катушки и системы анодов. Отклонение луча по экрану в соответствии с законом развертки обеспечивается отклоняющими катушками седлообразной формы, надеваемыми на горловину трубки. Катушки питаются током от генератора развертки, создающим перпендикулярное оси трубки

магнитное поле. Две пары катушек, расположенные во взаимно перпендикулярных плоскостях, обеспечивают отклонение луча по строкам и кадру. В вещательном телевидении применяются кинескопы с электростатической фокусировкой.

Экран кинескопа светится в месте попадания на него луча электронов. Яркость этого свечения пропорциональна току луча, который зависит от напряжения, приложенного между катодом и

управляющим электродом (модулятором) трубки. Поэтому, подавая на модулятор трубки видеосигнал, можно управлять яркостью свечения раstra, развертываемого по экрану кинескопа в соответствии с изменением интенсивности видеосигнала.

Основными характеристиками кинескопа являются:

— световая характеристика трубки — зависимость

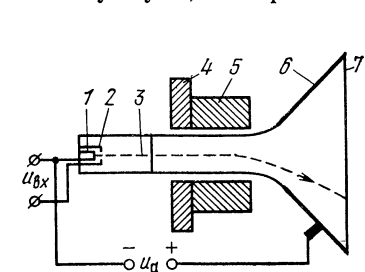


Рис. 3.23. Устройство кинескопа:

1 — катод, 2 — модулятор; 3 — электронный луч; 4 — фокусирующая катушка; 5 — отклоняющие катушки; 6 — анод; 7 — экран.

яркости свечения экрана от напряжения на модуляторе (она обычно имеет вид степенной зависимости с показателем степени $\gamma = 1,5-2,5$);

— размах модуляционной характеристики, показывающий пределы допустимых изменений интенсивности видеосигнала;

— разрешающая способность — максимальное количество черно-белых линий, различаемых на экране кинескопа;

— цвет свечения экрана, зависящий от химического состава материала экрана (люминофора);

— время послесвечения;

— размер экрана кинескопа (обычно указывается размер диагонали прямоугольника, соответствующего рабочему участку экрана);

— максимальный угол отклонения луча (чем больше максимальный угол отклонения луча, тем короче сам кинескоп при тех же размерах экрана).

Яркость свечения экранов обычных кинескопов, используемых в вещательных ТВ приемниках, составляет 30—50 кд/м², а яркость свечения проекционных кинескопов — 100—200 кд/м².

скопов достигает 5000 кд/м² и более. У большинства кинескопов белый цвет свечения экранов, однако применяются кинескопы с голубовато-зеленым, синим и синевато-фиолетовым свечением экрана. Экраны приемных трубок ТВ систем с многокадровой разверткой, предназначенных для передачи быстроменяющихся во времени изображений, имеют малое послесвечение, измеряемое единицами миллисекунд. В тех случаях, когда длительно наблюдается однократно принятое ТВ изображение, применяются люминофоры с большим послесвечением.

Разрешающая способность у обычных кинескопов составляет 500—1000 линий в центре экрана и уменьшается к его краям. В кинескопах специального назначения разрешающая способность может составлять 3000 линий и более. Относительное уменьшение разрешающей способности и четкости изображений по краям раstra объясняется расфокусировкой луча при его отклонении от оси кинескопа. Чем больше угол отклонения луча, тем хуже его разрешающая способность по краям. Неравномерность разрешающей способности по полю экрана можно уменьшить путем совершенствования конструкции кинескопа, подбора режима работы и применения динамической фокусировки, при которой периодически, в такт с разверткой, изменяется фокусное расстояние одной из электростатических линз электронного прожектора с расчетом, чтобы луч при любом угле отклонения был сфокусирован на поверхности экрана.

В настоящее время в вещательных ТВ приемниках, а также в видеоконтрольных устройствах специальных ТВ систем преимущественно применяются трубки с максимальным углом отклонения луча 110°.

Устройства воспроизведения ТВ изображения на большом экране. В ряде случаев необходимо иметь ТВ изображение значительно больших размеров, чем это позволяют сделать кинескопы с самым большим экраном. Известно несколько способов увеличения размера (формата) ТВ изображений. Наиболее широкое применение находят способы:

- с оптическим увеличением полученного на экране кинескопа ТВ изображения;
- с использованием светоклапанных устройств;
- с использованием электронно-оптических модуляторов света.

Рассмотрим примеры реализации указанных способов увеличения ТВ изображений.

Оптическое увеличение (проецирование на большой экран) ТВ изображения, полученного на экране кинескопа, возможно при достаточно большой яркости свечения экрана. Для повышения яркости свечения экрана применяются специальные так называемые проекционные кинескопы, яркость свечения экрана которых превышает яркость свечения экрана обычных кинескопов в сотни раз. Для более эффективного использования светового потока, создаваемого экраном проекционного кинескопа, применяют зеркально-линзовые объективы (рис. 3.24).

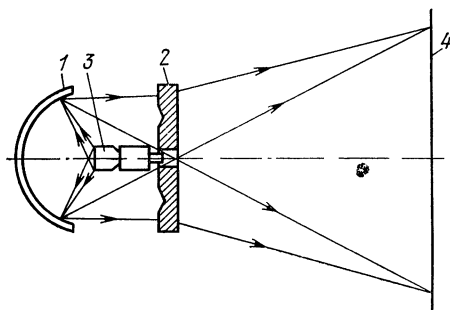


Рис. 3.24. Система оптического увеличения изображения с зеркально-линзовым объективом:
1 — сферическое зеркало; 2 — корректирующая линза; 3 — проекционный кинескоп; 4 — большой экран.

Экран кинескопа находится в фокусе зеркала, от экрана световой поток направляется на сферическое зеркало и, отражаясь от него, проходит через корректирующую линзу к экрану, на котором воспроизводится сфокусированное увеличенное изображение.

Диаметр сферического зеркала выбирается таким, чтобы большая часть светового потока, идущего от экрана кинескопа, отражалась на большой экран. В зеркально-линзовом объективе реализуется светосила, эквивалентная светосиле линзового объектива с относительным отверстием $1:0,7—1:0,6$. Конструирование такого линзового объектива связано со значительными трудностями, в то время как практическая реализация зеркально-линзового объектива не вызывает особых затруднений.

Так как экран кинескопа не является точечным источником света, то фокусировка светового пятна в разных участках большого экрана оказывается неодинаковой, что приводит к ухудшению качества воспроизводимого ТВ изображения. Для устранения неравномерности фокусировки светового пятна в зеркально-линзовом объективе применяется корректирующая линза. Размеры

проекционных ТВ экранов соизмеримы с размерами киноэкранов.

Светоклапанные устройства применяются не только для воспроизведения, но и для длительного сохранения ТВ изображения на большом экране. Принцип работы светоклапанных систем основан на том, что ТВ изображение предварительно записывается электронным лучом на некотором накопителе. Затем это изображение просвечивается мощным источником света. С помощью объектива световой поток с накопителя проецируется на

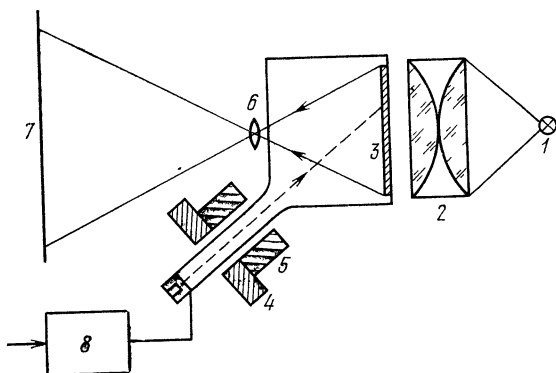


Рис. 3.25. Электронно-лучевая трубка скиатрон:

1 — источник света; 2 — конденсор; 3 — экран скиатрона; 4 — фокусирующая катушка; 5 — отклоняющие катушки; 6 — объектив; 7 — экран; 8 — усилитель видеосигналов

экран, на котором при этом получается увеличенное изображение.

Для первоначальной записи ТВ изображения в светоклапанных системах часто используют электронно-лучевую трубку, называемую скиатроном или трубкой с темновой записью. Схема устройства получения большого изображения с использованием скиатрона приведена на рис. 3.25. Важнейшей частью скиатрона является его экран, покрытый слоем вещества, прозрачность которого уменьшается при увеличении интенсивности падающего на него пучка электронов. Электронный луч скиатрона, модулируемый по интенсивности видеосигналом, разворачивается по строкам и кадру, бомбардируя при этом отдельные точки экрана. В результате на экране образуются участки различной прозрачности в соответствии с распределением лучистого потока, идущего

от сюжета передачи. В этом случае экран играет роль диапозитива. Световой поток от источника света, прошедший через экран скиатрона, проецируется объективом на большой экран. Темновое изображение (распределение уровней прозрачности) на экране скиатрона может быть сохранено в течение нескольких часов. Светоклапанная система со скиатроном использовалась, в частности, при наблюдении изображений, передаваемых ТВ системой автоматической лунной станцией [3].

Рассмотрим принцип действия электронно-оптического модулятора света. Тонкий слой масла (масляная пленка) наносится на металлическую пластинку, заряженную положительно. Если какому-нибудь участку поверхности пленки под действием электронного пучка сообщить отрицательный заряд, то последний, взаимодействуя с положительным зарядом металлической пластины, будет деформировать поверхность пленки (поверхностное натяжение пленки препятствует компенсации зарядов). Таким образом, под действием электронного луча, промодулированного видеосигналом, участки поверхности масляной пленки деформируются (в соответствии с изменением интенсивности видеосигнала во времени). Если на деформированную поверхность пленки направить световой луч, то направление луча, отраженного от нее, будет отличаться от его направления в отсутствие деформации. При наличии деформации отраженный луч проходит через секцию непрозрачных пластин и попадает на экран. Чем больше деформация пленки, тем больший световой поток проходит между пластинами и тем ярче свечение экрана. При недеформированной пленке отраженный луч через пластины не проходит и экран не светится.

Следовательно, распределение деформаций на пленке преобразуется в распределение яркостей участков экрана, которое и будет ТВ изображением. Ввиду сложности конструкции и неудобства эксплуатации устройства с электронно-оптическим модулятором применяются довольно редко.

Электронно-оптические модуляторы обеспечивают получение ТВ изображений больших размеров и более высокой яркости, чем при оптическом увеличении с использованием светоклапанных устройств.

3.7. УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Устройства фоторегистрации. Регистрация (запись) ТВ информации осуществляется в тех случаях, когда возникает необходимость в длительном ее хранении или последующей специальной обработке

Телевизионная информация может быть представлена в виде электрических сигналов (видеосигналов) или же видимых ТВ изображений. Регистрация ТВ изображений производится путем их непосредственного фотографирования с экранов воспроизводящих кинескопов на обычную фотобумагу (фотопленку) или на специальную фотоэлектрическую бумагу. Видеосигналы регистрируются с помощью различных устройств записи электрических сигналов. Наиболее широкое применение при этом находит магнитная запись видеосигналов.

При фотографировании с экрана кинескопа тип фотопленки выбирается с учетом яркости свечения кинескопа, спектральной характеристики его излучения и времени послесвечения люминофора. Кадры ТВ изображения обычно имеют те или иные отличия в сюжете передачи. Во избежание наложения несовпадающих изображений и потери четкости производят покадровое фотографирование, при котором экспозиция изображения на фотопленке осуществляется лишь в течение времени передачи одного кадра. Для этого можно, например, производить отпирание («подсвечивание») предварительно запертого кинескопа импульсом, длительность которого равна периоду кадра, с последующей протяжкой экспонированной фотопленки на один кадр.

При однострочной развертке изображение на экране кинескопа развертывается только по одной строке, а фотографирование производится на непрерывно движущуюся фотопленку. При этом для неискаженной записи изображения необходимо обеспечить определенное соответствие между скоростью перемещения передающей камеры в направлении, перпендикулярном направлению развертки по строке, и скоростью движения фотопленки на приемной стороне ТВ системы.

Для быстрого получения фотоснимков с экрана кинескопа используют различные способы быстрой обработки фотопленки, позволяющие получить изображение через несколько секунд (или несколько десятков секунд).

Химическая обработка фотопленки требует применения дополнительных проявочных и фиксирующих устройств, что усложняет конструкцию аппаратуры. Поэтому в настоящее время получают развитие новые способы регистрации изображений, не связанные

с фотохимическими процессами. К их числу относится, например, электрофотографическая запись, основанная на использовании внутреннего фотоэффекта. На поверхность фотоэлектрической бумаги наносится полупроводниковый слой, обладающий хорошо выраженными свойствами фотопроводимости. В темноте полупроводниковый слой обладает высоким внутренним сопротивлением. Если на полупроводниковый слой, поверхность которого предварительно наэлектризована, спроецировать регистрируемое изображение, то внутри слоя образуются проводящие каналы. При этом уменьшение сопротивления на отдельных участках фотослоя определяется освещенностью этих участков. Появление проводящих каналов по толщине слоя приводит к нейтрализации накопленных на поверхности зарядов. Уменьшение потенциала участков поверхности полупроводникового слоя зависит от их освещенности. Таким образом, после проецирования изображения на поверхности фотослоя образуется потенциальный рельеф, соответствующий распределению освещенности отдельных участков изображения. Если на поверхность фотослоя с потенциальным рельефом нанести порошкообразный краситель с отрицательно заряженными частицами, то скрытое электрическое изображение станет видимым. Разрешающая способность обычной фотопленки составляет 40—500 лин./мм, а фотоэлектрической бумаги 15—50 лин./мм.

В настоящее время применяется контактная печать (перенос) ТВ изображения с экранов специальных трубок [11]. На рис. 3.26 приведена схема устройства контактной печати с экрана такой трубки. Формирование и отклонение электронного луча в трубке ничем не отличается от таких же процессов в обычном кинескопе. На внутреннюю поверхность экрана (1) трубки нанесено флюоресцирующее покрытие (2). Внешняя поверхность экрана покрыта слоем прозрачного токопроводящего материала (3), на который нанесено фотопроводящее покрытие (4), к которому с помощью контактной пластины (6) прижимают потенциалочувствительный материал (5).

Слой токопроводящего материала и контактную пластину подключают к источнику постоянного напряжения так, что фотопроводящий слой, потенциалочувствительный материал и пластина образуют последовательную электрическую цепь. Если на флюоресцирующем слое трубки имеется ТВ изображение, то отдельные участки фотопроводящего слоя подсвечиваются и сопротивление этих участков падает в зависимости от их освещенности, а ток через них и прилегающие к ним области потенциалочувствительного материала возрастает.

Изображение светящихся участков экрана на потенциалочувствительном материале в зависимости от типа материала получается сразу либо после обработки. Обычно используется потенциа-

чувствительный материал в виде ленты, которая скачкообразно или плавно протягивается перед экраном трубки.

Потенциалоскопом называют электронно-лучевую трубку, обеспечивающую регистрацию видеосигналов в виде потенциального рельефа, хранение записанной информации и воспроизведение этой информации в виде видеосигналов или видимого изображения. Известно много различных типов потенциалоскопов. Наиболее распространенными являются вычитающий и интегрирующий потен-

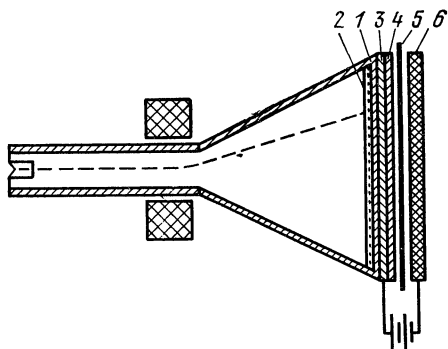


Рис. 3.26. Схема устройства контактной печати.

циалоскопы, графekon и потенциалоскоп с видимым изображением. Основными элементами всех этих потенциалоскопов являются устройства для формирования и отклонения электронного луча, а также диэлектрическая мишень, на которой производится запись сигналов в результате накопления зарядов.

В потенциалоскопах применяется такая же развертка луча, как и в обычных кинескопах. Для примера кратко рассмотрим работу графekonа — потенциалоскопа для перезаписи электрических сигналов (рис. 3.27). В состав графekonа входят два электронных прожектора: записывающий (1) и считывающий (2), а также диэлектрическая мишень (3), подобная мишени видикона. Но в отличие от видикона потенциальный рельеф образуется в результате бомбардировки ее развертывающим электронным лучом, а не световым потоком.

Электронный луч секции записи модулируется по интенсивности видеосигналом $u_{свх}$ и развертывается по поверхности мишени с помощью отклоняющих катушек (4). Закон развертки луча с записывающей стороны обычно идентичен закону, принятому при формировании видеосигнала. При сканировании электронного луча

на стороне мишени, обращенной к считывающему прожектору, образуется весьма глубокий потенциальный рельеф. Электронный луч секции считывания развертывается отклоняющими катушками считывания (5). Закон развертки считывающего луча обычно отличается от закона развертки луча секции записи. При значительной глубине потенциального рельефа на мишени и малом токе считывающего луча накопленный потенциальный рельеф может считываться многократно. Стирание потенциального рельефа осуществляется при значительном увеличении тока считывающего луча.

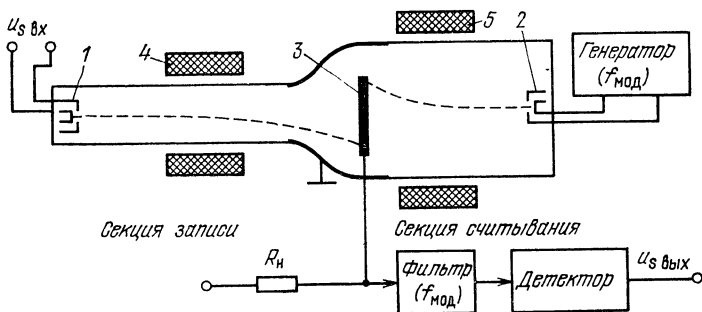


Рис. 3.27. Графekon.

Через нагрузочное сопротивление трубки $R_{\text{н}}$ протекает ток как записывающего, так и считывающего луча. При этом записывающий ток искажает форму выходного сигнала. Для устранения влияния этого тока на выходной сигнал на управляющий электрод электронного прожектора (2) подают модулирующее напряжение частотой $f_{\text{мод}}$ несколько десятков мегагерц. В результате на нагрузочном сопротивлении появится переменная составляющая тока частотой $f_{\text{мод}}$, промодулированная по амплитуде считанным видеосигналом. Так как спектр записываемого видеосигнала располагается в области видеочастот, то на выходе он может быть подавлен с помощью полосового фильтра, настроенного на частоту $f_{\text{мод}}$. В результате детектирования выходного сигнала полосового фильтра выделяется видеосигнал секции считывания.

Графekon часто используется для перезаписи сигнала при переходе от одного телевизионного стандарта к другому, а также в устройствах сжатия спектра сигнала с изменением масштаба времени.

Устройства магнитной записи видеосигналов. Наиболее распространенным способом регистрации видеосигналов является магнит-

ная запись. Преимуществами магнитного метода записи сигналов являются: непосредственная регистрация электрических сигналов, относительная простота и компактность элементов устройства записи и воспроизведения, универсальность устройства в смысле регистрации различного вида сигналов, возможность многократного использования одного и того же носителя информации.

При магнитной записи электрических сигналов носителем информации является ферромагнитный материал (магнитная лента), а регистрирующим органом — электромагнитная записывающая го-

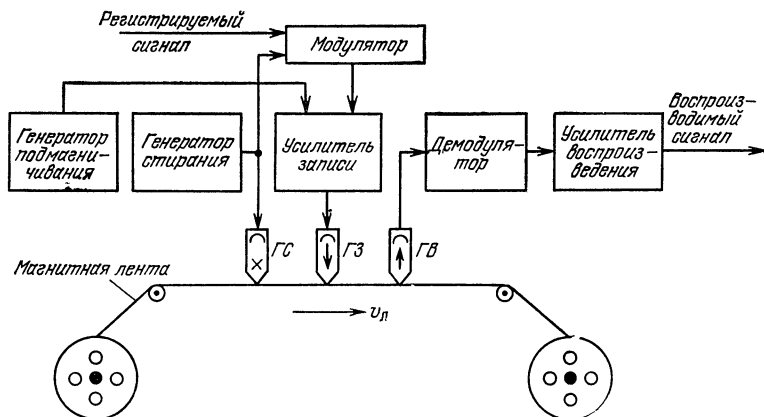


Рис. 3.28. Схема устройства магнитной записи.

ловка [19]. На рис. 3.28 приведена наиболее распространенная схема устройства магнитной записи электрических сигналов. Магнитная лента проходит через магнитное поле записывающей головки (ГЗ), на которую подается регистрируемый сигнал. Напряженность поля в зазоре магнитной головки, перед которой перемещается магнитная лента, пропорциональна величине сигнала. Остаточное намагничивание ленты сохраняется после ее выхода из зоны действия головки. Распределение остаточного намагничивания пропорционально значениям записываемого сигнала.

Процесс воспроизведения электрических сигналов с магнитной ленты является обратным процессу записи. Каждый из намагниченных участков носителя, взаимодействуя с магнитным полем сердечника воспроизводящей головки (ГВ), возбуждает в нем магнитный поток. Изменение потока через сердечник головки вызывает появление э. д. с. в обмотке, охватывающей сердечник.

Ненужная магнитная запись может быть стерта головкой стирания (ГС), которая питается от специального генератора сигнала-

ми синусоидального напряжения частоты, значительно более высокой, чем частота записываемого сигнала.

Записывающая, воспроизводящая и стирающая электромагнитные головки по конструкции схожи и отличаются только своими параметрами. На рис. 3.29 показано устройство магнитной головки. Магнитопровод (1) набирается из тонких листов ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью. В магнитопроводе имеется два воздушных зазора — рабочий (2) и вспомогательный (3). Наконечники магнитопровода (4), образующие рабочий

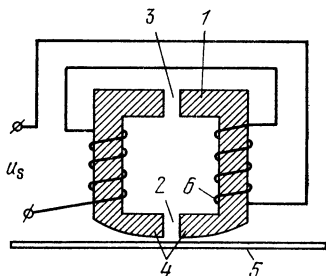


Рис. 3.29 Устройство магнитной головки.

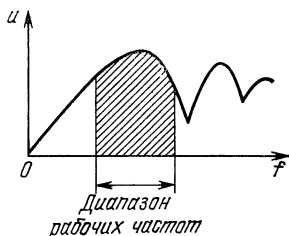


Рис. 3.30. Частотная характеристика магнитной головки.

зазор, тщательно шлифуются для того, чтобы перемещаемая по ним магнитная лента (5) меньше изнашивалась. На магнитопроводе размещается обмотка (6) из двух секций, по которой пропускается записываемый сигнал. Вспомогательный зазор (3) делается для уменьшения остаточного намагничивания магнитопровода и стабилизации его свойств.

Примерный вид частотной характеристики магнитной головки приведен на рис. 3.30. Для повышения усиления на крайних частотах полосы пропускания в усилителях записи и воспроизведения вводится коррекция по низким и высоким частотам. Сдвиг границы частотной характеристики в сторону более высоких частот достигается подбором параметров системы так, чтобы выполнялось соотношение

$$f\Delta/v_{\text{л}} \leq 1, \quad (3.4)$$

где f — частота записываемого сигнала; Δ — размер рабочего зазора в магнитопроводе головки; $v_{\text{л}}$ — скорость движения магнитной ленты относительно неподвижной головки. Выполнить условие (3.4) при высокой частоте f записываемого сигнала можно, увеличив скорость движения магнитной ленты и уменьшив зазор в магнитопроводах записывающей и воспроизводящей головок. Практически

удается уменьшить зазор в магнитопроводе головок до 0,1—0,5 мкм. а скорость движения магнитной ленты довести до 5 м/с. При этом наивысшая частота, которая может быть записана такой системой в соответствии с выражением (3.4), составляет 3—4 МГц. Дальнейшее уменьшение величины зазора ограничено конструктивными трудностями. Кроме того, при малом зазоре затрудняется коррекция частотной характеристики в области низких частот. Значительное увеличение скорости движения магнитной ленты приводит к значительному увеличению расхода пленки, быстрому износу головок и уменьшению надежности аппаратуры регистрации.

При широком спектре видеосигнала затруднены запись и воспроизведение низких и высоких частот спектра. Затруднение усиливается тем, что э. д. с. головки считывания примерно пропорциональна производной напряженности магнитного поля. Частотные искажения при непосредственной записи видеосигналов с широким спектром оказываются очень большими, а их коррекция практически неосуществима. Поэтому во всех устройствах магнитной видеозаписи для улучшения воспроизведения низких пространственных частот на ТВ изображении вместо прямой записи применяют модуляционную. При модуляционной записи используется поднесущее гармоническое колебание, которое модулируется по частоте или амплитуде регистрируемым сигналом и далее производится запись модулированного сигнала. В результате модуляции низкочастотные составляющие записываемого сигнала переносятся в область более высоких частот, благодаря чему создаются условия для их лучшего воспроизведения.

В процессе воспроизведения после демодуляции поднесущего колебания вновь выделяется первоначальный ТВ сигнал. Однако при модуляционном способе записи верхняя граница частот спектра записываемого сигнала еще больше сдвигается в сторону высших частот.

Для того чтобы удовлетворялось условие (3.4) обеспечения записи и воспроизведения верхних частот спектра, в устройствах видеозаписи применяется не продольная запись (дорожка записи сигнала проходит вдоль магнитной ленты), а поперечно-строчная. Рис. 3.31 поясняет процесс поперечно-строчной записи широкополосных ТВ видеосигналов. Запись по ширине ленты осуществляется с помощью нескольких головок, укрепленных на одинаковом угловом расстоянии друг от друга на вращающемся диске. Когда первая головка сходит с ленты, производя запись, следующая головка начинает запись с противоположного края ленты и т. д. Воспроизведение записи производится аналогично. Необходимая скорость перемещения головок относительно носителя, удовлетворяющая условию (3.4) при заданных Δ и f , достигается подбором скорости вращения диска, на котором укреплены магнитные головки.

перемещения носителя 40 см/с, катушка с лентой длиной 1100 м обеспечивает запись в течение 45 мин, отношение сигнал/шум 50 дБ.

Для специальных целей используются магнитозаписывающие устройства с одной или двумя вращающимися магнитными головками. В тех случаях, когда видеосигнал имеет узкий спектр (в однокадровых и однострочных ТВ системах), могут использоваться магнитозаписывающие устройства с неподвижными головками.

В ТВ системах космических аппаратов используется цифровая магнитная запись, при которой записываемый сигнал предварительно преобразуется в серии кодовых групп импульсов, отображающих числа (уровни сигнала) в двоичной системе счисления. При такой записи ошибка может возникнуть только в случае пропадания одного из импульсов кодовой группы или возникновения ложного импульса. Форма и величина воспроизводимых импульсных сигналов при этом не имеют значения и не обязательно должны быть точно воспроизведены. Важно лишь правильно передать информацию о наличии или отсутствии импульса (да — нет) и в некоторых случаях информацию о временном интервале между ними. Для записи импульсных кодов на магнитном носителе часто применяется так называемая запись по двум уровням. Поскольку при записи и воспроизведении кодов нелинейные искажения не имеют существенного значения, то в этом случае схема устройства записи может быть более простой. Для записи символов «0» и «1» используются два магнитных состояния носителя. Одно из них характеризуется магнитной индукцией положительного знака, другое — отрицательного.

Важнейшим параметром цифровой магнитной записи является плотность записи, которая складывается из плотности по длине одной дорожки (продольная плотность записи) и плотности дорожек по ширине магнитной ленты (поперечная плотность записи). Под продольной плотностью записи понимается число импульсов, приходящихся на 1 мм длины носителя. Критическое число импульсов $n_{икр}$, записываемых на 1 мм дорожки носителя, при котором наложение соседних импульсов при воспроизведении будет допустимым, может быть приблизительно определено как $n_{икр} = f_{\max}/v_d$, где $f_{\max}$ — частота следования импульсов, при которой э. д. с. воспроизводящей головки максимальна; v_d — скорость носителя (при неподвижной головке). Величина $f_{\max}$ определяется магнитными свойствами магнитного носителя и параметрами записывающей и воспроизводящей головок. Теоретически предельное значение $n_{икр}$, обусловленное структурой магнитных носителей, приблизительно равно 10^4 имп./мм. Максимальная продольная плотность записи в установках, находящихся в промышленной эксплуатации, состав-

ляет всего 40—50 имп./мм, а в лабораторных условиях доходит до 500.

В современных устройствах магнитной записи поперечная плотность записи обычно составляет 1—3,5 записывающих дорожек на 1 мм.

Глава 4

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

4.1. ПОМЕХИ В ТЕЛЕВИЗИОННОМ КАНАЛЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В соответствии с рис. 1.4 канал изображения представляет собой часть ТВ системы, служащую для передачи ТВ сигналов с выхода первичного преобразователя на вход вторичного преобразователя. Более подробно структура канала изображения показана на рис. 4.1.

Предварительный усилитель располагается в ТВ камере непосредственно около передающей трубки. Его

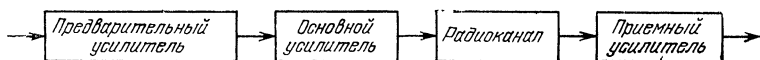


Рис. 4.1. Структурная схема канала изображения.

основное назначение — усиление сигнала до долей вольта, чтобы шум основного усилителя, несмотря на ослабления сигнала в кабеле, не влиял на качество изображения. Кроме того, в предварительном усилителе осуществляется противозумовая коррекция, принципы которой будут рассмотрены в конце параграфа.

В основном усилителе, связанном с предварительным усилителем кабелем и входящим в состав основных блоков аппаратуры, формируется полный ТВ сигнал и осуществляется его усиление до значения, необходимого для работы модуляционных устройств радиопередатчика. В вещательном телевидении основной усилитель разбивается на ряд блоков: промежуточный усилитель, микшерно-коммутаторное устройство, линейный усили-

тель и т. д. В авиационных ТВ устройствах такого разбегания обычно нет.

Радиоканал служит для передачи ТВ радиосигналов на расстояние. В приемном усилителе производятся усиление ТВ сигнала до значения, необходимого для работы вторичного преобразователя, и коррекция его искажений.

Основными источниками шума, действующего в ТВ системе, являются первичный преобразователь и предварительный усилитель. Шумом основного усилителя при наличии предварительного усилителя можно пренебречь.

В качестве первичного преобразователя используются передающие ТВ трубки или фотоэлементы. Шум в этих устройствах является дробовым. Мощность дробового шума, выделяемая на нагрузочном резисторе R_H , равна

$$P_{\text{пр}} = 2ef_{\text{в}}i_{\text{пр}}R_H, \quad (4.1)$$

где $i_{\text{пр}}$ — ток эмиссии преобразователя; $e = 1,6009 \times 10^{-19}$ Кл — заряд электрона; $f_{\text{в}}$ — высшая частота спектра ТВ сигнала.

При использовании в передающей трубке электронного умножителя к дробовому шуму тока эмиссии добавляется шум умножителя, вызванный флуктуацией тока вторичной эмиссии динодов. Этот процесс характеризуется коэффициентом шума умножителя $k_{\text{ш}} = (\sigma - 1)/\sigma$, который равен отношению сигнал/шум по мощности на выходе умножителя, деленному на это же отношение на входе. При реальных значениях коэффициента вторичной эмиссии ($\sigma = 3-5$) шумом электронного умножителя (по сравнению с дробовым шумом трубки) можно пренебречь.

В предварительном усилителе возникает дробовой шум электронной лампы и тепловой шум резисторов. Мощность результирующего шума пересчитывается на вход усилителя и определяется по формуле

$$P_y = kTf_{\text{в}}, \quad (4.2)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град — постоянная Больцмана; T — шумовая температура усилителя, К.

Результирующая мощность шума, пересчитанная на вход предварительного усилителя, с учетом формул (4.1) и (4.2) равна

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{пр}} + P_y = 2ef_{\text{в}}i_{\text{пр}}R_H + kTf_{\text{в}}. \quad (4.3)$$

Как дробовой, так и тепловой шум характеризуется равномерной спектральной плотностью. Шум ухудшает качество восстановленного изображения. В табл. 4.1 приведена субъективная оценка наблюдателем влияния шума с равномерным спектром на изображение в зависимости от отношения сигнал/шум ψ [2]. В телевидении при определении этого отношения делят размах сигнала от черного до белого на эффективное значение шума. Из табл. 4.1 видно, что минимально допустимое отношение сигнал/шум составляет около 30 дБ.

Таблица 4.1

Влияние шума	ψ , дБ
Не влияет	≥ 50
Едва заметен	41—49
Еще допустим	30—40

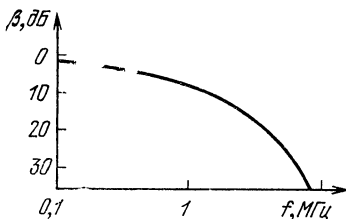


Рис. 4.2. График видимости частотных составляющих шума.

Маскировка изображения шумом зависит не только от мощности шума, но и от его спектра. Установлено, что для достижения одинакового (оцениваемого субъективно) маскирующего эффекта мощность шума с равномерным спектром должна быть больше, чем мощность шума с низкочастотным спектром, а мощность высокочастотного шума больше мощности шума с равномерным спектром. Это явление иллюстрирует кривая видности частотных составляющих шума $\beta(f)$ (рис. 4.2), снятая экспериментально для вещательной ТВ системы. При сравнении различных шумов по маскирующему действию рекомендуется включать в линию измерения мощности шума взвешивающий фильтр с частотной характеристикой, изображенной на рис. 4.2. Кривая рис. 4.2 подобна огибающей спектра ТВ сигнала, изображенной на рис. 2.23. Можно предположить, что зрение человека фильтрует изображение, причем частотная характеристика фильтра согласована со спектром изображения. При этом предположении применение взвешивающего фильтра является обоснованным.

Явление разной маскировки изображения шумами с различными спектрами используется для противошумовой коррекции сигнала в предварительном усилителе.

Функциональная схема предварительного усилителя с противошумовой коррекцией изображена на рис. 4.3. На входе усилителя устанавливается фильтр низких частот. Он вносит искажение в сигнал, делая его спектр низкочастотным. Далее включаются первые каскады усилителя, являющиеся источниками шума. После них включается фильтр высоких частот, корректирующий частотную характеристику усилителя и устраняющий искажения, внесенные в телевизионный сигнал первым фильтром.

Телевизионный сигнал и шум первичного преобразователя проходят оба фильтра и не искажаются. Шум первых каскадов предварительного усилителя проходит только фильтр высоких частот и становится высокочастотным. При использовании фильтров противошумовой коррекции меняется спектр шума. Он становится высокочастотным и его маскирующее действие ослабевает. Одновременно уменьшается мощность шума ввиду ослабления его низкочастотных составляющих.

Принципиальные схемы фильтров могут быть разными. При простой противошумовой коррекции в качестве фильтра низких частот используется интегрирующая RC -цепочка. Более эффективной является сложная противошумовая коррекция, при которой используют LC -фильтр низких частот.

Установим, в каких случаях целесообразно применять противошумовую коррекцию. Как видно из (4.3), шум в предварительном усилителе складывается из шума преобразователя и шума самого усилителя. Противошумовая коррекция влияет только на шум усилителя. Если шум усилителя преобладает над шумом преобразователя ($P_y > P_{\text{пр}}$), то применение противошумовой коррекции целесообразно. Если шум преобразователя преобладает над шумом усилителя ($P_{\text{пр}} > P_y$), то противошумовая коррекция не даст заметного положительного эффекта.

Среди первичных преобразователей суперортикон характеризуется сильным током $i_{\text{пр}}$ и большой мощностью шума $P_{\text{пр}}$, поэтому в устройствах с суперортиконами противошумовую коррекцию применяют редко. Видикон

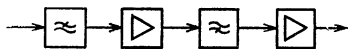


Рис. 4.3. Функциональная схема предварительного усилителя с противошумовой коррекцией.

характеризуется малым током и слабым шумом, и в устройствах с видеоканалами обычно применяют противозумовую коррекцию.

4.2. АНАЛОГОВЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ РАДИОКАНАЛЫ

В каналах изображения наиболее часто применяется аналоговая (непрерывная) модуляция высокочастотных колебаний сигналами изображения. Находят применение такие виды модуляции, как амплитудная (АМ), однополосная (ОМ) и частотная (ЧМ). Эти виды модуляции подробно анализируются в курсах радиосвязи. Поэтому ограничимся специфическими вопросами применения различных видов непрерывной модуляции в авиационных ТВ системах.

Прием ТВ радиосигналов всегда происходит на фоне помех. В ТВ системах летательных аппаратов наиболее часто могут действовать такие помехи, как шум приемного устройства, станционные помехи, организованные помехи и сигналы, отраженные от поверхности земли. Рассмотрим их более подробно.

Шум приемного устройства складывается из теплового шума антенны и резисторов, а также дробового шума радиоламп и полупроводниковых приборов. Спектры всех этих шумов близки к равномерным и могут считаться белыми. Суммарная спектральная плотность шума на входе приемника, определенная при положительных частотах, в соответствии с (4.2) равна $N_0 = kT$. Шумовая температура T является характеристикой приемника. У наиболее совершенных приемников при искусственном охлаждении антенны она составляет десятки градусов. Такие приемники применяются в системе «Орбита» для приема ТВ сигналов с космических ретрансляторов «Молния» [20]. При использовании параметрических усилителей на входе шумовая температура составляет несколько сотен градусов. Обычные приемники обладают шумовой температурой, составляющей несколько тысяч градусов.

Станционные помехи создаются радиоаппаратурой, работающей в одинаковом диапазоне частот с ТВ системой. Такой аппаратурой могут быть другие ТВ системы, устройства связи, радиолокации или радионавигации, промышленные радиоустановки и т. д. При проектирова-

нии ТВ радиоаппаратуры ей отводится отдельный диапазон частот, но полностью избежать станционных помех не удастся. Спектр станционной помехи чаще всего более узкий, чем спектр ТВ сигнала, и ее можно охарактеризовать вероятностью попадания в полосу пропускания приемника.

Вероятность подавления ТВ системы станционной помехой пропорциональна ширине полосы пропускания приемника $\Delta\omega$. Для повышения помехозащищенности ТВ систем надо уменьшать полосу пропускания приемника $\Delta\omega$, что требует уменьшения ширины спектра ТВ сигналов и повышения стабильности частоты.

Из-за широкого спектра сигналов передача телевизионных сигналов с самолета возможна только в диапазоне ультракоротких волн, в котором напряженность поля передающей станции резко уменьшается за пределами дальности прямой видимости. С учетом нормальной рефракции радиоволн дальность прямой передачи сигналов

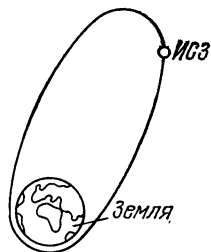


Рис. 4.4. Орбита спутников связи «Молния».

$$D = 4,12 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})_r [\text{км}], \quad (4.4)$$

где H_1 и H_2 — высоты приемной и передающей антенн (м), например, при $H_1=4000$ м, $H_2=10$ м $D=270$ км.

При полете самолета на большой высоте дальность прямой связи составляет несколько сотен километров. При уменьшении высоты полета дальность прямой связи уменьшается и для передачи ТВ сигналов необходимо использовать ретрансляторы, устанавливаемые на искусственных спутниках Земли или самолетах.

Спутниковые ретрансляторы широко применяются в вещательном телевидении. В Советском Союзе для ретрансляции ТВ сигналов используется система связи, включающая ИСЗ «Молния-1» или «Молния-2» и сеть наземных станций «Орбита». Основные характеристики этой системы следующие [3, 20]. ИСЗ «Молния» обращаются, как показано на рис. 4.4, вокруг Земли по эллиптическим орбитам. Параметры орбит: перигей 500 км над южным полушарием, апогей 40 000 км над северным полушарием, плоскость орбиты наклонена

к плоскости экватора на 65° , период обращения спутника вокруг Земли 12 ч. При таких параметрах орбит длительность сеанса связи между любыми точками на территории СССР составляет около 8 ч. Ретранслятор «Молния-1» работает в дециметровом диапазоне (800—1000 МГц), а «Молния-2» в сантиметровом (3,4—3,9 ГГц).

В авиационной ТВ системе со спутниковым ретранслятором наименьшим энергетическим потенциалом обладает линия «самолет — ИСЗ», а наибольшим «ИСЗ — Земля», что связано с трудностями использования на самолете высоконаправленной антенны и мощного передатчика, а на ИСЗ — маломощного приемника. Могут использоваться три типа линии связи «самолет — ИСЗ». К первому типу отнесем линию, например оптическую, с высокой направленностью излучения. По такой радиолинии можно было бы передавать большой объем информации, однако при ее создании возникает сложная задача построения эффективной замкнутой системы ориентации излучения самолетного передатчика.

В радиолинии второго типа на самолете используется направленная антенна, ориентируемая на ИСЗ по данным вычислений, производимых в бортовой ЭВМ. В данном случае применяется разомкнутая система управления, точность которой определяется точностью определения координат ИСЗ и самолета. В настоящее время эта точность такова, что можно использовать направленную самолетную антенну с шириной диаграммы направленности в несколько градусов.

Радиолинии третьего типа самые простые. В них используются слабонаправленные самолетные антенны с неподвижной (относительно самолета) диаграммой направленности. Самолетная антенна в такой радиолинии ориентируется вверх относительно самолета и может иметь ширину диаграммы направленности $150\text{—}180^\circ$.

Мощность принимаемого радиосигнала на входе приемника ретранслятора

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} \frac{G_{\text{прм}} G_{\text{прд}} \lambda^2}{(4\pi D)^2}, \quad (4.5)$$

В этой формуле $P_{\text{прд}}$ — мощность самолетного передатчика; $G_{\text{прд}}$ и $G_{\text{прм}}$ — коэффициенты усиления антенн; λ — длина волны.

Мощность шума на входе приемника ретранслятора

$$P_{\text{ш}} = kT\Delta f. \quad (4.6)$$

Разделив (4.5) на (4.6), получим формулу отношения мощности сигнала к мощности шума на входе приемника ретранслятора

$$\frac{P_{\text{прм}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{kT\Delta f (4\pi D)^2}. \quad (4.7)$$

Предположим, что в радиолинии используется одноположенная модуляция. Тогда $\Delta f \approx f_{\text{в}}$, а отношение сигнал/шум на входе и выходе приемника одинаково. Потребуем, чтобы $P_{\text{прм}}/P_{\text{ш}} = 10^4$, что по данным табл. 4.1 соответствует хорошему качеству изображения. Тогда для радиолинии второго типа, приняв $P_{\text{прд}} = 500$ Вт, $G_{\text{прд}} = 3600$, $G_{\text{прм}} = 324$, $\lambda = 0,1$ м, $D = 4 \cdot 10^7$ м, $T = 10^3$ К, получим $f_{\text{в}} = 152 \cdot 10^3$ Гц. Для радиолинии третьего типа, приняв $P_{\text{прд}} = 500$ Вт, $G_{\text{прд}} = 4$, $G_{\text{прм}} = 324$, $\lambda = 0,1$ м, $D = 4 \cdot 10^7$ м, $T = 10^3$ К, получим $f_{\text{в}} = 168$ Гц.

Из полученных результатов следует, что из-за низкого энергетического потенциала радиолиний «самолет — ИСЗ» второго и третьего типов по таким радиолиниям можно передавать только ТВ сигналы с узким спектром. При узком спектре вести маршрутную ТВ передачу изображения местности с помощью однострочной или многокадровой системы нельзя. В данном случае можно применять только однокладовый режим работы при использовании радиолинии второго типа. Радиолинии третьего типа при непрерывной модуляции в авиационных ТВ системах использовать нельзя из-за низкого энергетического потенциала и обусловленной этим малой скорости передачи информации.

Оценим эффективность ретрансляторов, устанавливаемых на самолетах для увеличения дальности передачи ТВ информации, на следующем примере. Предположим, что самолет-носитель ТВ оборудования летит на высоте $H_1 = 4000$ м, а высота самолета-ретранслятора $H_2 = 10\,000$ м, причем самолет-ретранслятор летает над наземным приемным пунктом. Тогда дальность передачи информации, рассчитанная по формуле (4.4), $D = 670$ км.

Прохождение радиоволн в ТВ радиоканале с самолетной ретрансляцией показано на рис. 4.5. Видно, что радиосигналы с самолета-носителя к ретранслятору при-

ходят по разным путям. Один луч (прямой) идет по направлению, соединяющему два самолета, а другие — с отражением от «блестящих» точек на поверхности земли. При облучении земной поверхности происходит полурассеянное отражение, направление максимума которого совпадает с направлением зеркального отражения. Фазы и амплитуды колебаний, отраженных от каждой точки, случайны. В этих условиях в соответствии с центральной предельной теоремой А. М. Ляпунова [13] сумма отраженных от земли сигналов представляет собой случайный квазигармонический процесс с нормальной плотностью вероятности мгновенных значений, релеевской плотностью вероятности амплитуд и равномерной (в пределах

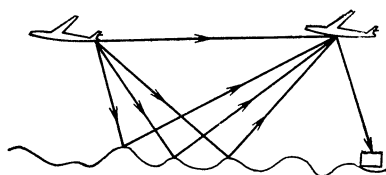


Рис. 4.5. Прохождение радиоволн в ТВ радиоканале с самолетной ретрансляцией.

от 0 до 2π) плотностью вероятности фазы. Мгновенная частота суммарного отраженного сигнала также является случайной из-за эффекта Доплера, вызванного изменением длины пути отраженного радиосигнала, что обусловлено полетом самолетов над неровной поверхностью.

Отношение средней мощности отраженных сигналов к мощности прямого сигнала на входе приемника ретранслятора зависит от характера земной поверхности и меняется в пределах от 0,1 до 0,5. Таким образом, на входе приемника ретранслятора помимо полезного прямого сигнала действуют сигналы, отраженные от поверхности земли, которые эквивалентны прицельной помехе, причем интенсивность этой помехи большая. В таких условиях можно использовать только наиболее помехоустойчивые виды модуляции.

В линиях связи с амплитудной модуляцией при детектировании радиосигналов в приемнике происходит некоторое подавление более сильным прямым сигналом отраженного сигнала. В результате этого отношение мощности прямого сигнала к мощности мешающего отраженного сигнала несколько увеличивается, но оно все равно остается недостаточным для удовлетворительной передачи изображения. В радиолиниях с однопольной модуляцией отношение мощностей прямого и отра-

женного сигналов в процессе детектирования не меняется. Таким образом, амплитудная и однополосная модуляции для ТВ радиоканалов с самолетной ретрансляцией непригодны.

Рассмотрим работу радиолинии с частотной модуляцией при приеме сигналов, отраженных от поверхности земли. Прежде всего отметим, что в соответствии с теорией нелинейной фильтрации [13] демодулятор должен представлять собой кольцо фазовой автоподстройки частоты. Исследование такого приемника показало, что он обладает ярко выраженным пороговым свойством: при действии на ФАПЧ нескольких радиосигналов с разными частотами происходит слежение за частотой того радиосигнала, который больше. В данном случае слежение осуществляется за мгновенной частотой прямого сигнала.

Мешающие отраженные сигналы взаимодействуют с опорными колебаниями в перемножителе ФАПЧ. В результате образуются колебания разностной частоты, которые искажают изображение. Разность мгновенных частот прямого и отраженного сигналов зависит от запаздывания отраженных сигналов и индекса частотной модуляции. С увеличением запаздывания и индекса модуляции спектр биений расширяется. Составляющие биений, частоты которых превышают f_b , устраняются фильтрами приемного видеоусилителя, а высокочастотные составляющие, попадающие в полосу видеоусилителей, обладают слабым маскирующим действием. Поэтому в радиолинии с частотной модуляцией и оптимальным приемником, увеличив индекс модуляции, можно ослабить мешающее действие отраженных сигналов. Ввиду этого в ТВ системах с самолетной ретрансляцией целесообразно использовать частотную модуляцию.

4.3. ДИСКРЕТНЫЕ (ЦИФРОВЫЕ) ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ РАДИОКАНАЛЫ

Наибольший интерес представляют дискретные (цифровые) ТВ радиоканалы, в которых аналоговые ТВ сообщения передаются с помощью двоичных сигналов. Обобщенная структурная схема таких каналов изображена на рис. 4.6.

На вход канала поступает аналоговый телевизионный сигнал $s(t)$. В аналого-цифровом преобразователе он подвергается дискретизации по времени, квантова-

нию по уровню и кодированию. В результате этих преобразований образуется последовательность двоичных сигналов x , которая передается по двоичному радиоканалу. Принятые двоичные сигналы y (которые из-за действия помех могут не совпадать с переданными сигналами x) поступают на цифроаналоговый преобразователь, в котором восстанавливается переданное аналоговое сообщение. Восстановленный ТВ сигнал $s^*(t)$ отличается от переданного $s(t)$ ввиду искажений, вызванных дискретизацией по времени, квантованием по

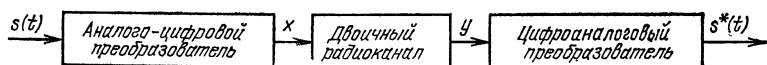


Рис. 4.6. Структурная схема радиоканала дискретной передачи непрерывных сигналов изображения.

уровням и действием помех в канале. Разность $s(t) - s^*(t)$ представляет собой ошибку передачи сообщения.

Дискретные ТВ радиоканалы обладают следующими преимуществами перед аналоговыми радиоканалами:

- возможность цифровой обработки сигналов в двоичном канале;

- простота согласования с цифровой ЭВМ, в которой могут решаться задачи обнаружения объектов или определения их координат;

- возможность использования унифицированных двоичных радиоканалов, пригодных для передачи различных сообщений;

- возможность повышения помехоустойчивости путем применения корректирующих кодов.

Можно указать также следующие недостатки дискретных ТВ каналов:

- технические трудности создания аппаратуры, работающей с высоким быстродействием, необходимым для передачи широкополосных ТВ сигналов в дискретной форме;

- расширение спектра сигналов в процессе аналого-цифрового преобразования.

Первый недостаток с развитием техники ослабевает. Значительные преимущества дискретных радиоканалов перед аналоговыми делают их более перспективными.

Из рис. 4.6 видно, что дискретный радиоканал со-

стоит из аналого-цифрового и цифроаналогового преобразователей и из двоичного радиоканала связи.

Аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователи должны соответствовать друг другу, чтобы ошибка передачи сообщения была наименьшей. В аналого-цифровом преобразователе осуществляются следующие операции.

1. Дискретизация ТВ сигнала $s(t)$ по времени. Различают равномерную и неравномерную дискретизацию. При равномерной дискретизации отсчеты $s_i = s(t_i)$ процесса $s(t)$ берутся через одинаковые интервалы времени T_d (называемые шагом дискретизации) ($t_i = iT_d$). При неравномерной дискретизации шаг дискретизации T_d меняется во времени. Неравномерная дискретизация не применяется на практике. Поэтому далее рассматривается только равномерная дискретизация.

2. Квантование по уровням. Оно заключается в том, что отсчеты ТВ сигнала s_i сравниваются с порогами квантования $h_i^{(k)}$, и если $h_i^{(k-1)} < s_i < h_i^{(k)}$, то вырабатывается дискретный двоичный сигнал (кодовая комбинация) $x_i^{(k)}$, который и поступает на вход двоичного радиоканала. Здесь k — номер области квантования. При использовании двоичных кодов число областей (уровней) квантования $L = 2^m$, где m — значность кода (число информационных двоичных посылок в кодовой комбинации).

На практике применяется как равномерное, так и неравномерное квантование по уровням. При равномерном квантовании шаг квантования по уровням $\delta = h^{(k)} - h^{(k-1)} = \text{const}$ и не зависит от номера области квантования k . При неравномерном квантовании шаг квантования $h^{(k)} - h^{(k-1)}$ зависит от номера области. Равномерное квантование осуществляется проще, но характеризуется бóльшим значением среднего квадрата ошибки квантования. Неравномерное квантование реализуется сложнее [21], однако оно обеспечивает меньшее значение среднего квадрата ошибки передачи сообщения.

Пороги квантования $h_i^{(k)}$ могут быть постоянными или меняющимися во времени. Возможные варианты квантователей показаны на рис. 4.7. Квантователь с постоянными порогами квантования (рис. 4.7,а) применяется в каналах связи с кодово-импульсной модуляцией. Квантователь с переменными порогами квантования, ме-

няющимися в соответствии с предсказанными значениями сообщения, вырабатываемыми с использованием предыдущих дискретных сигналов, — так называемый дельта-модулятор (рис. 4.7,б) применяется в каналах связи с дельта-модуляцией. Квантователь с переменными порогами квантования, меняющимися по закону предсказываемых значений сообщения, вырабатываемых с использованием предыдущих значений сообщения (рис. 4.7,в), — это квантователь с предсказанием.

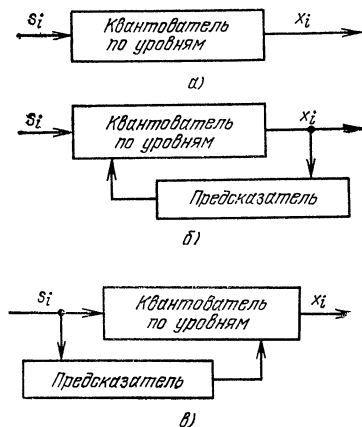


Рис. 4.7. Возможные варианты квантователей.

В принципе может существовать еще один вариант, в котором для управления порогами квантования используются как дискретные сигналы, так и предыдущие отсчеты сообщения. Однако он не обладает достоинствами по сравнению с перечисленными и не применяется. На практике для передачи непрерывных сообщений в дискретной форме наиболее часто применяются кодово-импульсная модуляция и дельта-модуляция. Рас-

смотрим особенности применения этих двух видов модуляции для передачи ТВ сигналов.

Кодово-импульсная модуляция. Преобразования ТВ сигнала в канале с кодово-импульсной модуляцией показаны на рис. 4.8. На рис. 4.8,а $s(t)$ — непрерывный ТВ сигнал, s_i — отсчеты сигнала, которые берутся через одинаковые интервалы времени, равные T_d . Отсчеты сравниваются с порогами квантования $h^{(k)}$, в результате чего в аналого-цифровом преобразователе вырабатываются дискретные двоичные сигналы $x_i^{(k)}$, показанные на рис. 4.8,б. Последовательность этих сигналов $x(t)$ передается на приемную сторону по двоичному радиоканалу и поступает в цифроаналоговый преобразователь, где сигналы декодируются. В результате декодирования образуются импульсы с дискретными значениями амплитуды $s_i^{*(k)}$ (соответствующими сигналам $x_i^{(k)}$) и длительностью T_d . Последовательность этих импульсов образует восстановленный ТВ сигнал $s^*(t)$ (рис. 4.8,в). Иногда

производят дополнительное сглаживание восстановленного сигнала, пропуская его через фильтр низких частот с верхней граничной частотой f_B .

Технические вопросы создания аппаратуры канала с кодово-импульсной модуляцией изложены в специальной литературе [21—23]. В связи с этим ограничимся рассмотрением параметров ТВ канала с кодово-импульсной модуляцией. Основные параметры его следующие: шаг дискретизации по времени, значения порогов квантования и уровней восстановленного сообщения, число уровней квантования.

Шаг дискретизации по времени T_d выбирается так, чтобы на каждый элемент изображения приходился один отсчет. При этом условии $T_d = 1/2f_B$. Полученный результат согласуется с теоремой отсчетов (теоремой Котельникова), в соответствии с которой непрерывное сообщение со спектром, ограниченным в полосе $0—f_B$, может быть передано безошибочно с помощью $2f_B$ чисел в единицу времени.

Пороги квантования $h^{(k)}$ и уровни восстановленного сигнала изображения $s^{*(k)}$ должны выбираться совместно исходя из условия минимальных искажений сигналов изображения в процессе передачи. При нормальной плотности вероятности сигналов для расчета оптимальных значений порогов квантования и уровней сигналов можно воспользоваться данными, приведенными в [21].

Средний квадрат ошибки передачи сигналов изображения (нормированный относительно σ_s^2) методом кодово-импульсной модуляции без учета помех двоичного канала связи равен

$$\varepsilon_1 = 1 - [1 - \varepsilon_0(L)] [1 - \exp(-2\beta T_d)] / 2\beta T_d. \quad (4.8)$$

Здесь $\varepsilon_0(L)$ — нормированный средний квадрат ошибки квантования случайных величин s_i , зависящий от числа

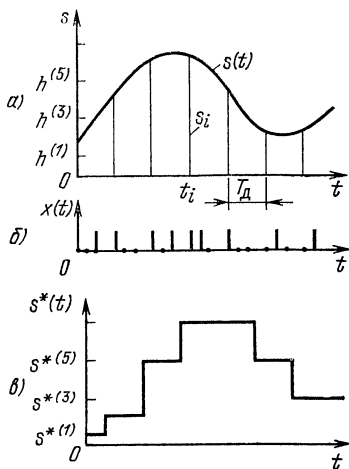


Рис. 4.8. Преобразования ТВ сигнала при кодово-импульсной модуляции.

уровней квантования L . Значения $\varepsilon_0^2(L)$ для случаев равномерного и неравномерного квантования нормальных величин приведены в табл. 4.2.

При выводе формулы (4.8) предполагалось, что $R_s(\tau) = \exp(-\beta|\tau|)$, т. е. учитывался только первый всплеск корреляционной функции сигналов изображения (см. рис. 2.21). Величина $\beta = \alpha v_c$ характеризует ширину

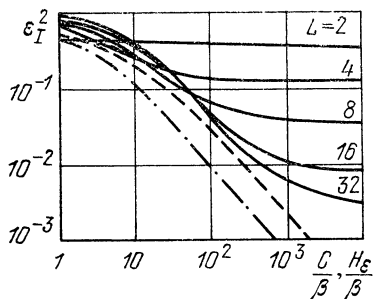


Рис. 4.9. Зависимость нормированного среднего квадрата ошибки передачи ТВ сигналов от относительной скорости передачи двоичных сигналов для кодово-импульсной модуляции при разном числе уровней квантования (—), дельта-модуляции (— — —) и идеальной системы (· · · · ·).

спектра сигналов изображения (α — величина, обратная интервалу корреляции изображения (1.14); v_c — скорость развертки по строкам).

Зависимость нормированного среднего квадрата ошибки передачи ТВ сигналов от относительной скорости передачи двоичных сигналов C/β показана на рис. 4.9. При расчете этих графиков по формуле (4.8) было использовано равенство $T_d = (\log_2 L)/C$, справедливое при кодировании без избыточным двоичным кодом. Из графиков видно, что при каждом значении отношения C/β существует оптимальное число уровней

квантования L , соответствующее минимальной ошибке передачи.

Таблица 4.2

Характер квантования	L				
	8	16	32	64	128
Равномерное	0,037	0,012	0,0035	0,0010	0,00031
Неравномерное	0,035	0,0095	0,0025	0,00065	0,00017

Влияние числа уровней квантования на качество изображения оценивалось экспериментально [16]. В табл. 4.3 приведены значения числа уровней квантования, соответствующие разным оценкам качества. Из данных таблицы видно, что переход от равномерного квантования к неравномерному (в соответствии с дан-

ными табл. 4.2) позволяет в два раза снизить число уровней квантования.

Квантование ТВ сигнала по уровням приводит к появлению резких контуров на восстановленном изображении, что снижает его качество. Для сглаживания этих контуров предложено [24, 25] перед квантованием добавлять к ТВ сигналу шумоподобный процесс, а на приемной стороне его вычитать, что позволяет еще в два раза уменьшить число уровней квантования.

Таблица 4.3

Характер квантования	Оценка качества квантования		
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
Равномерное	128	64	32
Неравномерное	64	32	16
Неравномерное с добавлением шума	32	16	8

Дельта-модуляция. В ТВ каналах с дельта-модуляцией квантование сообщения может производиться на разное число уровней. Многоуровневую ($L > 2$) дельта-модуляцию иногда называют разностной или дифференциальной кодово-импульсной модуляцией. Наибольший интерес представляют каналы с квантованием на два уровня. Это обусловлено простотой аппаратуры при квантовании на два уровня и минимумом ошибки передачи сообщения при ограничении скорости передачи двоичных сигналов [21].

Структурная схема ТВ канала с дельта-модуляцией приведена на рис. 4.10. На входе канала из передаваемого сообщения вычитается его математическое ожидание m_s , на выходе канала оно снова вводится в сообщение. Таким образом, математическое ожидание ТВ сигнала, известное на приемной стороне, по каналу с дельта-модуляцией не передается.

В аналого-цифровом преобразователе (дельта-модуляторе) подвергается дискретизации (по времени) и квантованию (по уровням) процесс $z(t) = s(t) - s_{\text{пред}}(t)$, равный разности действительных и предсказанных значений сообщения. Это эквивалентно смещению порога квантования на величину $s_{\text{пред}}(t)$. Дисперсия ошибки предсказания

$$\sigma_z^2 = \sigma_s^2 [1 - \exp(-2\beta T_d)] / [1 - \exp(-2\beta T_d) (1 - 2/\pi)].$$

Дискретизация и квантование осуществляются в пороговом устройстве, которое может быть выполнено на базе усилителя-ограничителя, ждущего мультивибратора или триггера. Разработаны очень простые пороговые устройства на туннельных диодах, которые работают при частоте дискретизации $f_d = 1/T_d$, достигающей до 10^8 Гц. Пороговое устройство управляется импульсами тактового генератора, следующими с частотой f_d .

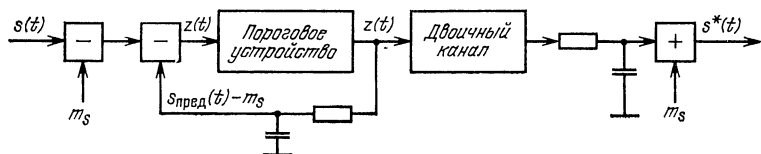


Рис. 4 10. Структурная схема ТВ канала с дельта-модуляцией.

Цепь обратной связи дельта-модулятора, в которой образуется предсказанное сообщение $s_{\text{пред}}(t)$, представляет собой интегрирующую цепочку с постоянной времени $1/\beta$. На нее действуют короткие ($\tau_{\text{и}} < T_d$) двоичные двухполярные импульсы с амплитудами $\sigma_z \sqrt{2/\pi/\beta\tau_{\text{и}}}$, вырабатываемые в пороговом устройстве.

Интегрирующая цепочка является основным элементом цифроаналогового преобразователя и аналогична примененной в дельта-модулятора.

Средний квадрат ошибки передачи непрерывного ТВ сообщения по ТВ каналу с двухуровневой дельта-модуляцией при отсутствии помех равен

$$\varepsilon_I^2 = 1 - \frac{2[1 - \exp(-2\beta T_d)]}{\pi [1 - \exp(-2\beta T_d) (1 - 2/\pi)] 2\beta T_d}. \quad (4.9)$$

На рис. 4.9 по формуле (4.9) построен график зависимости ошибки передачи от относительной скорости передачи двоичных сигналов $C/\beta = 1/T_d\beta$ для ТВ канала с двухуровневой дельта-модуляцией. Из графика видно, что при одинаковой скорости передачи двоичных сигналов дельта-модуляция обеспечивает несколько меньшее значение ошибки, чем кодово-импульсная модуляция.

Экспериментальная проверка показала [21], что при передаче изображений с помощью дельта-модуляции

возникают специфические искажения. Если частота дискретизации мала, то на изображении видна сетка, вызванная дискретизацией ТВ сигнала по времени. Помимо этого, размываются резкие контуры ввиду того, что дельта-модулятор не успевает «отрабатывать» быстрые скачки ТВ сигнала. С увеличением частоты дискретизации эти искажения ослабевают и при $f_d \geq 16f_v$ становятся незаметными. Используя апертурную коррекцию (см. § 4.4), это значение можно снизить до $f_d \approx 10f_v$.

Информационная избыточность ТВ сигналов. Было показано, что при передаче непрерывных ТВ сообщений по двоичному каналу связи скорость передачи двоичных сигналов C должна быть в 10—20 раз больше высшей частоты спектра сигналов изображения f_v . При выполнении этого соотношения возникают технические трудности, обусловленные необходимостью обеспечивать большую скорость передачи сигналов и отводить для такого канала связи широкую полосу частот. Например, для передачи сигналов вещательного телевидения с использованием дельта-модуляции потребуется двоичный канал со скоростью передачи $C = 10^8$ бит/с, занимающий полосу частот не менее 100 МГц. С учетом этого ТВ системам предъявляется требование обеспечения необходимого качества воспроизведения изображения при минимальной скорости передачи сигналов.

Из теории информации известно [13], что для нормального функционирования любой информационной системы скорость передачи двоичных сигналов C должна быть больше или равна производительности источника информации H . Разность $C - H$ равна информационной избыточности сигналов. Если на систему не действуют помехи, то без ущерба для качества передачи сообщения эта избыточность на передающей стороне может быть устранена и скорость передачи сигналов уменьшена. Для оценки информационной избыточности ТВ систем с кодово-импульсной и дельта-модуляцией следует определить информационную производительность первичного ТВ преобразователя.

Задача определения производительности источника непрерывной информации решается методами теории энтальпии, разработанной А. Н. Колмогоровым. Энтальпия H , равна минимальной скорости передачи информации, при которой непрерывное сообщение на выходе системы может быть восстановлено с за-

данным средним квадратом ошибки ϵ^2 . Она определяется по формуле

$$H_{\epsilon} = \min \int_0^{\infty} \log_2 \frac{G_s(f)}{G_{\epsilon}(f)} df, \quad (4.10)$$

где $G_s(f)$ и $G_{\epsilon}(f)$ — энергетические спектры сообщения и ошибки передачи соответственно. Дисперсия ошибки передачи по условию нормировки равна

$$\epsilon^2 = \int_0^{\infty} G_{\epsilon}(f) df. \quad (4.11)$$

С использованием формул (4.10) и (4.11) определяется энергетический спектр ошибки передачи (ошибки квантования) $G_{\epsilon}(f)$, соответствующий минимуму функционала (4.10) при фиксированном значении ϵ^2 :

$$G_{\epsilon}(f) = \begin{cases} G_s(\varphi), & 0 < f < \varphi; \\ G_s(f), & \varphi < f. \end{cases} \quad (4.12)$$

Здесь φ — несущественный параметр, определяемый из условия нормировки (4.11).

Для дальнейших расчетов необходимо задаться энергетическим спектром ТВ сообщения $G_s(f)$. Предположим, что используется однострочная развертка и учитывается первый всплеск корреляционной функции, изображенной на рис. 2.21, т. е. примем

$$R_s(\tau) \approx \exp(-\beta|\tau|), \quad G_s(f) \approx 4\beta / (\beta^2 - 4\pi^2 f^2).$$

Тогда по формулам (4.10) — (4.12) получим окончательно

$$\begin{aligned} \frac{H_{\epsilon}}{\beta} &= \frac{1}{\pi \ln 2} \left(\frac{2\pi\varphi}{\beta} - \arctg \frac{2\pi\varphi}{\beta} \right), \\ \epsilon^2 &= 1 - \frac{2}{\pi} \left(\frac{2\pi\beta\varphi}{\beta^2 - 4\pi^2\varphi^2} - \arctg \frac{2\pi\varphi}{\beta} \right). \end{aligned} \quad (4.13)$$

При численном решении системы уравнений (4.13) исключается параметр φ/β и остается зависимость ϵ^2 от H/β , показанная на рис. 4.9 штрихпунктиром. Задаваясь значениями ϵ^2 по графикам рис. 4.9, можно определить относительную информационную избыточность сигналов $(C/\beta - H_{\epsilon}/\beta)$ при различных способах передачи. В случае использования дельта-модуляции избы-

точность наименьшая (примерно трехкратная). В системе с кодово-импульсной модуляцией при каждом значении ϵ^2 избыточность зависит от числа уровней квантования. Всегда существует оптимальное число уровней квантования, при котором избыточность минимальна. При оптимальном числе уровней информационная избыточность системы с кодово-импульсной модуляцией примерно четырехкратная. При неоптимальном числе уровней она может быть значительно больше.

В данном случае при определении энтальпии учитывался только первый всплеск корреляционной функции сигнала изображения и не учитывалась вероятностная связь элементов изображения, расположенных на разных строках. Полный учет вероятностных связей увеличивает значение избыточности примерно в 1,5 раза. В [21] описана ТВ система с дельта-модуляцией, в которой для устранения избыточности производится двумерная обработка сообщения.

Таким образом, усовершенствуя способ дискретной передачи ТВ сообщений, можно уменьшить скорость передачи сигналов в 3—4 раза с использованием одномерной статистики сообщений и в 4—5 раз с использованием двумерной статистики.

Помехоустойчивость дискретного ТВ радиоканала. В двоичном канале, входящем в состав ТВ радиоканала, могут действовать помехи. Вопросы помехоустойчивости двоичных радиоканалов подробно рассматриваются в специальной литературе [13].

Помехоустойчивость двоичного радиоканала характеризуется зависимостью вероятности ошибочного приема двоичного сигнала p от отношения сигнал/шум $2E/N_0$, где E — энергия радиосигнала; N_0 — энергетический спектр шума. На рис. 4.11 приведены графики зависимости вероятности ошибочного приема двоичного сигнала от отношения сигнал/шум, характеризующие потенциальную помехоустойчивость радиоканалов при различных видах манипуляции. Потенциальная помехоустойчивость определяется в предположении, что параметры сигналов на приемной стороне точно известны.

В реальных условиях параметры всегда случайны. Однако если параметры сигналов (амплитуда, частота, фаза, время прихода) флуктуируют медленно, то они хорошо отслеживаются на приемной стороне с помощью устройств автоматической регулировки усиления и фазовой подстройки частоты. В этом случае помехоустой-

чивость реальных каналов оказывается близкой к потенциальной.

Фазовой манипуляции (ФМн) свойствен недостаток, заключающийся в наличии режима «обратной работы», вызываемой неопределенностью начальной фазы сигналов. Ввиду этого фазовая манипуляция в чистом виде не применяется, а на практике используется относительная фазовая манипуляция, при которой вероятность ошибки примерно в два раза больше, но отсутствует режим «обратной» работы.

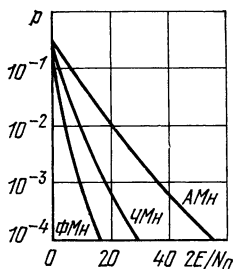


Рис. 4.11. Зависимость вероятности ошибочного приема двоичного сигнала от отношения сигнал/шум.

При многолучевом распространении радиоволн, вызванном отражениями сигналов от земли, в двоичном канале возникают ошибки и при отсутствии помех. Известно, что при использовании частотной манипуляции (ЧМн) вероятность ошибки, вызванной отражениями от земли, можно уменьшить, увеличив девиацию частоты. Кроме того, при использовании всех видов манипуляции вероятность ошибки резко

возрастает, когда запаздывание лучей превышает 20—30% от длительности импульса.

Появление ошибок в двоичном радиоканале вызывает искажения ТВ сигнала. Нормированный средний квадрат искажений, вызванных действием помех в радиоканале, в случае использования кодово-импульсной модуляции равен [21]

$$\epsilon^2_{\text{II}} = a_L p [1 - \exp(-2\beta T_d)] / 2\beta T_d, \quad (4.14)$$

где a_L — коэффициент, зависящий от кода, плотности вероятности сообщения и числа уровней квантования. Для ТВ сообщения, закодированного простым двоичным кодом, значения a_L приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

L	2	4	8	16	32	64
a_L	2,5	4,3	6,9	7,6	9,5	11,3

Средний квадрат ошибки, вызванной дискретизацией и помехами канала связи, равен

$$\varepsilon^2 = \varepsilon^2_{\Gamma} + \varepsilon^2_{\Pi}.$$

Однако надо учитывать, что при одинаковой мощности мешающее действие ошибки, вызванной помехами, значительно сильнее мешающего действия ошибки дискретизации. Поэтому при анализе помехоустойчивости канала передачи изображения следует учитывать только значение ε^2_{Π} .

Рассмотрим пример расчета помехоустойчивости ТВ радиоканала с кодово-импульсной модуляцией. Предположим, что в двоичном радиоканале применяется ЧМн и отношение сигнал/шум $2E/N_0 = 30$. Для этих данных из рис. 4.11 находим: $p = 10^{-4}$. Если применяется простой двоичный код и производится квантование на 32 уровня, то по формуле (4.14) при $\beta T_d = 1/3$ можно определить, что $\varepsilon^2_{\Pi} \approx 10^{-3}$ (—30 дБ).

Скорость передачи двоичных сигналов $C = (\log_2 L) / T_d = 15\beta$. Далее определим отношение сигнал/шум $\psi = -\varepsilon^2_{\Pi} + 7$ дБ = 37 дБ. Здесь слагаемое 7 дБ учитывает отношение размаха ТВ сигнала от черного до белого, входящего в величину ψ , к эффективному отклонению ТВ сигнала σ_s , входящего в величину ε^2_{Π} . Полученное значение $\psi = 37$ дБ в соответствии с данными табл. 4.1 свидетельствует о том, что искажения ТВ сигнала в этих условиях будут допустимыми.

В ТВ канале связи с дельта-модуляцией средний квадрат ошибки передачи сообщения, обусловленный помехами, равен

$$\varepsilon^2_{\Pi} = 1,25 \sigma_s^2 p / \sigma_s^2 \beta T_d. \quad (4.15)$$

По формуле (4.15) можно определить, что при $p = 10^{-4}$ и $C = 1/T_d = 15\beta$ $\varepsilon^2_{\Pi} = 4 \cdot 10^{-4}$ (—34 дБ). Этой величине соответствует отношение сигнал/шум $\psi = 41$ дБ.

Сравнив эти результаты с результатами предыдущего примера, можно убедиться, что дельта-модуляция обеспечивает несколько большую помехоустойчивость, чем кодово-импульсная модуляция. Учитывая, что ей также свойственна и меньшая ошибка дискретизации ε^2_{Γ} , для цифровой передачи изображения можно рекомендовать дельта-модуляцию с квантованием на два уровня.

В канале изображения всегда происходят искажения ТВ сигнала, ухудшающие качество работы системы. Эти искажения разделяются на частотные (линейные) и амплитудные (нелинейные). Частотные искажения вызываются отклонением формы частотных характеристик от идеальной. Они, в свою очередь, подразделяются на фазочастотные и амплитудно-частотные. В большинстве случаев фазочастотная и амплитудно-частотная характеристики связаны между собой и искажения этих двух видов происходят совместно.

Фазочастотные искажения вызываются неодинаковым запаздыванием различных частотных составляющих сигнала при прохождении через реактивные цепи канала изображения. Как известно из спектрального анализа, сигнал изображения любой формы можно представить в виде суммы составляющих с разными частотами, имеющих определенные амплитуды и фазы. Проходя по каналу изображения, ТВ сигнал несколько запаздывает. Если величина запаздывания разных частотных составляющих сигнала не будет одинаковой, то на выходе канала при сложении этих составляющих образуется сигнал, не совпадающий по своей форме с исходным. Так возникают фазочастотные искажения сигнала.

Фазочастотных искажений не возникает, если фазочастотная характеристика канала линейная: $\varphi(f) = t_z f$, где t_z — время задержки сигнала в канале. В реальных условиях создать такую идеальную линейную фазочастотную характеристику не удастся. Поэтому допускается некоторая нелинейность характеристики, которая вызывает искажения, практически не снижающие качества изображения. Для вещательного телевидения СССР приняты следующие нормы искажений: на частотах от 30 Гц до 200 кГц отклонение фазочастотной характеристики от нелинейной не должно превышать 6° ; на частотах 200—800 кГц изменение времени запаздывания не должно превышать 0,1 мкс, на частоте 2 МГц — 0,15 мкс, на частоте 6 МГц — 0,4 мкс.

Амплитудно-частотные искажения чаще всего возникают вблизи высших или низших частот спектра ТВ сигнала. Среди них наиболее распространенные вызываются ослаблением низших или высших частотных составляющих.

Ослабление низших частотных составляющих ТВ сигнала происходит главным образом на переходных RC-цепочках усилителей. Оно приводит к искажению формы импульсов. Предположим, что на входе канала изображения ТВ сигнал $s_{вх}(t)$ имел форму прямоугольного импульса. При ослаблении низших частотных составляющих на выходе он приобретает форму, показанную на рис. 4.12,а. Сравнив $s_{вх}(t)$ и $s_{вых}(t)$, можно за-

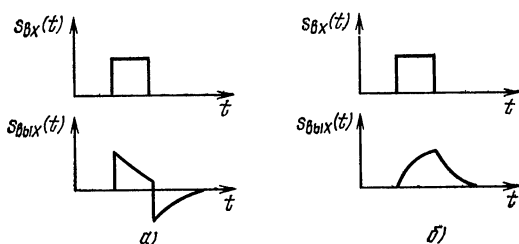


Рис. 4.12. Искращения ТВ сигнала при ослаблении низших (а) и высших (б) частотных составляющих.

метить, что ослабление низших частотных составляющих приводит к подчеркиванию контуров. За темным объектом появляется светлая полоса, а за светлым — темная. Помимо этого искажения, уменьшаются отклонения яркости от среднего значения и изображение становится серым, малоконтрастным.

Коррекция амплитудно-частотной характеристики канала изображения в области низших частот осуществляется в усилителях. С этой целью в анодные цепи ламповых каскадов или в коллекторные цепи транзисторных каскадов последовательно с основным нагрузочным резистором включается дополнительный резистор, шунтированный конденсатором. Эта дополнительная цепочка увеличивает сопротивление нагрузки на низших частотах, что приводит к выравниванию амплитудно-частотной характеристики канала. Применяется также способ восстановления медленно меняющихся составляющих ТВ сигнала с помощью фиксирующих схем. Он рассмотрен среди способов борьбы с нелинейными искажениями.

Ослабление высших частотных составляющих ТВ сигнала происходит в усилителях в результате шунтирования нагрузочных резисторов емкостью схемы. Оно

приводит к искажению ТВ сигнала (рис. 4.12,б), заключающемуся в том, что фронт и срез импульсов растягиваются, а на изображении контуры объектов размываются. При этом разрешающая способность ТВ системы ухудшается.

Коррекция амплитудно-частотной характеристики усилителей в области высших частот осуществляется путем включения в нагрузочные цепи специальных корректирующих цепочек, которые приводят к увеличению усиления на высших частотах. Схемы таких корректирующих цепочек и их расчет подробно изложены в курсе радиоприемных устройств.

Уже отмечалось, что в первичных и вторичных ТВ преобразователях возникают апертурные искажения. Они обусловлены конечным размером диаметра развертывающего луча и проявляются на изображении в размытии границ и ослаблении мелких деталей. Ввиду меньшего размера фотокатода и мишени передающей трубки по сравнению с экраном приемной трубки основную роль играют апертурные искажения передающей трубки. На переданном изображении апертурные искажения проявляются так же, как ослабление высших частотных составляющих.

Наиболее простой способ коррекции апертурных искажений заключается в подъеме амплитудно-частотной характеристики канала изображения на высших частотах с помощью корректирующих цепочек, установленных в усилителях. Такой способ коррекции апертурных искажений применяется в упрощенных ТВ системах. При его использовании апертурные искажения ослабевают, но появляются фазочастотные искажения корректирующих цепочек. Эти искажения проявляются на изображении в виде частой ряби, соответствующей высшим частотам изображения и вызванной ударным возбуждением корректирующего контура. Более совершенные корректирующие устройства описаны в [2].

Амплитудные искажения возникают в канале передачи изображения ввиду нелинейности его амплитудной характеристики (рис. 4.13). На рисунке обозначено: $S_{вх\ макс}$ и $S_{вх\ мин}$ — границы линейного участка амплитудной характеристики; $s_б$, $s_ч$ и $s_{сх}$ — уровни белого, черного и синхронизирующих импульсов.

Телевизионная система будет работать нормально, если ТВ сигнал от уровня белого до уровня синхронизирующих импульсов будет находиться в пределах ли-

нейного участка характеристики. Между тем размах ТВ сигнала сильно зависит от характера местности и ее освещенности. С увеличением освещенности размах увеличивается, а с уменьшением освещенности — уменьшается. Если не принять специальных мер, то колебания размаха ТВ сигнала могут привести к искажению изображения. При увеличении размаха может ограничиваться максимальное значение сигнала, что приводит к нарушению синхронизации, или минимальные значения сигнала, что приводит к пропаданию светлых объектов. При уменьшении размаха телевизионного сигнала уменьшится глубина модуляции передатчика, что приведет к усилению действия помех.

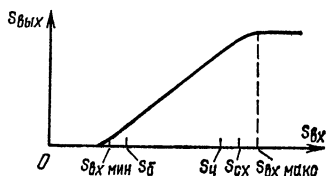


Рис. 4.13. Амплитудная характеристика канала изображения.

К нелинейным искажениям может также привести потеря постоянной составляющей и низкочастотных составляющих ТВ сигнала, что вызвано наличием емкостной связи между каскадами предварительного усилителя. Поясним происхождение таких нелинейных искажений на примерах.

Предположим, что регулировка канала изображения произведена так, что среднее значение сигнала соответствует середине линейного участка амплитудной характеристики, изображенной на рис. 4.13. Если самолет летит над местностью с симметричным распределением яркости и размах ТВ сигнала не превышает линейного участка характеристики, то изображение передается без нелинейных искажений. Если местность под самолетом представляет собой заснеженное поле с резкими темными объектами, то среднее значение ТВ сигнала близко к уровню белого. При этом если среднее значение ТВ сигнала соответствует середине линейного участка амплитудной характеристики, то сигналы темных объектов могут оказаться за пределами линейного участка характеристики и будут искажены. Аналогичное явление произойдет, если передается изображение редких светлых объектов на темном фоне. В этом случае будут искажены изображения светлых объектов.

Таким образом, чтобы избежать нелинейных искажений изображения, необходимо размах ТВ сигнала $S_{СХ}—S_{В}$ в основном (линейном) усилителе отрегулиро-

вать так, чтобы он не превышал линейного участка характеристики $S_{\text{вх макс}} - S_{\text{вх мин}}$, а затем фиксировать один из уровней сигнала (s_6 , s_4 или $s_{\text{сх}}$).

Регулирование размаха ТВ сигналов производится с помощью схем, аналогичных схемам АРУ приемника. Фиксирующие устройства подразделяются на неуправляемые и управляемые. Схема неуправляемого фиксирующего устройства изображена на рис. 4.14. Схема предназначена для фиксации отрицательных гасящих или синхронизирующих импульсов на уровне $u_{\text{фкс}}$. Уро-

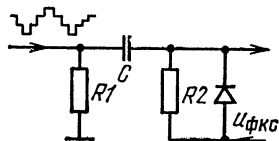


Рис. 4.14. Принципиальная схема неуправляемого фиксирующего устройства.

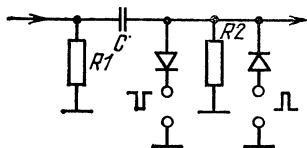


Рис. 4.15. Принципиальная схема управляемого фиксирующего устройства.

вень фиксации задается напряжением, поступающим от внешнего источника с малым внутренним сопротивлением. Полярность импульсов на входе схемы отрицательная. Диод включен таким образом, что отпирается отрицательным импульсом. Протекающий через диод ток заряжает конденсатор. Постоянная времени заряда $R1C$ должна быть меньше длительности импульса. Постоянная времени разряда $(R1+R2)C$ должна быть больше периода развертки по строкам.

Достоинством неуправляемого фиксирующего устройства является его простота. Это устройство обладает многими недостатками, основные из которых следующие. Схема быстро компенсирует изменения уровня сигнала в одном направлении (за время действия импульса), а в другом направлении процесс регулирования происходит медленно, в соответствии с постоянной времени разряда конденсатора. Выполнить требуемое соотношение между постоянными времени заряда и разряда с учетом соотношения прямого и обратного сопротивления диода затруднительно, и поэтому к концу строки могут возникать большие ошибки фиксации уровня. Схема может срабатывать не только от гасящих или синхронизирующих импульсов, но и от больших выбро-

сов ТВ сигнала. В этом случае на приемном экране за контрастными объектами появляются полосы, а изображения объектов искажаются. Ввиду этого неуправляемые фиксирующие устройства применяются редко.

Упрощенная схема управляемого фиксирующего устройства показана на рис. 4.15. Она имеет два существенных отличия от предыдущей. Первое состоит в том, что устройство содержит два диода, включенных по-разному. Ввиду этого происходит быстрая фиксация уровня при его отклонении в любую сторону. Второе

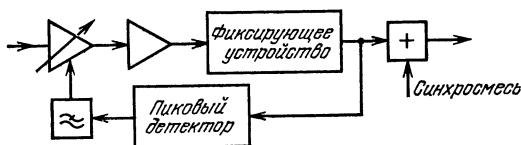


Рис. 4.16. Функциональная схема усилителя с фиксацией уровней сигнала.

отличие заключается в том, что диоды отпираются управляющими импульсами, а в промежутках между импульсами они надежно заперты. Это облегчает создание необходимого соотношения между постоянными времени заряда и разряда.

Уровень фиксации равен значению потенциала отпирающего импульса, подаваемого на диод. В промежутках между импульсами на диоды подаются разные по полярности запирающие напряжения, но во время действия импульсов отпирающие потенциалы должны быть одинаковыми и равными уровню фиксации.

Фиксация уровней и регулирование размаха ТВ сигнала производится в основном (линейном) усилителе передающего устройства. Наиболее часто применяется усилитель, функциональная схема которого показана на рис. 4.16. На вход основного усилителя поступает ТВ сигнал, выработанный предварительным усилителем. В нем еще нет гасящих и синхронизирующих импульсов, а во время обратного хода развертки имеется сигнал черного $s_{\text{ч}}$, вызванный запирающим передающей трубкой. ТВ сигнал усиливается, а затем с помощью управляемой фиксирующей схемы фиксируется уровень черного. С выхода фиксирующего устройства сигнал поступает на пиковый детектор, работающий по сигналу белого, уровень срабатывания которого равен уровню фиксации

белого. Импульсы белого, прошедшие пиковый детектор (работающий как ограничитель), сглаживаются фильтром низких частот, а полученное постоянное напряжение воздействует на первый каскад усилителя, уменьшая его усиление. Так в усилителе одновременно осуществляется фиксация уровней черного и белого. Чтобы не было искажений изображения, уровни фиксации устанавливаются в пределах линейного участка амплитудной характеристики канала изображения (как показано на рис. 4.13) с небольшими защитными интервалами по краям.

На выходе усилителя к ТВ сигналу с фиксированными уровнями белого и черного добавляется синхросмесь, состоящая из гасящих и синхронизирующих импульсов определенной амплитуды. Полученный полный ТВ сигнал поступает на модулятор.

4.5. МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ РАДИОЛИНИИ

В вещательном телевидении по одной радиолинии передают ТВ сигналы, сигналы синхронизации и сигналы звукового сопровождения, а также сигналы цветности в системах цветного телевидения. В ТВ системах летательных аппаратов, помимо ТВ сигнала, по радиолинии передаются сигналы телеметрии. Методы уплотнения ТВ радиолинии разделяются на частотные, временные и фазовые. Фазовые методы позволяют совместить только два канала и отличаются сложностью реализации, поэтому применяются редко.

Частотное уплотнение ТВ радиолиний. Простейший сюжет передачи (оптическое черно-белое изображение), характеризуемый распределением лучистого потока $B(x, y, t)$, имеет бесконечное множество точек. Интенсивность лучистого потока от каждого элемента изображения в общем случае может изменяться во времени. В зависимости от скорости изменения яркости отдельных элементов различают изображения подвижные, малоподвижные и неподвижные. У неподвижных изображений распределение лучистого потока по сюжету передачи характеризуется только координатами x и y элементов и не зависит от времени. Как отмечалось в § 2.3, при многокадровой развертке независимо от структуры передаваемого изображения спектр видеосигнала при неподвижном изображении всегда оказывается линейчатым, содержащим составляющие на частоте строк, кадров, их гармоники и комбинационные составляющие. Амплитуды компонент спектра убывают с ростом частоты.

Частотное уплотнение производится с помощью поднесущей, специально выбранной так, что гармоники ее спектра при модуля-

ции дополнительным сигналом располагаются в интервалах между гармониками спектра ТВ сигнала. На рис. 4.17 приведен примерный вид спектра видеосигнала неподвижного изображения и дополнительного совмещенного поднесущего колебания, промодулированного передаваемым сигналом. На рисунке обозначено: f_c — частота строчной развертки; ν — номер гармоники строчной частоты; $f_{пн}$ — частота поднесущего колебания.

Обычно амплитуды гармоник быстро убывают с ростом их номера ν . Частота поднесущего колебания, которое моделируется дополнительным сообщением, располагается внутри спектра видеосиг-

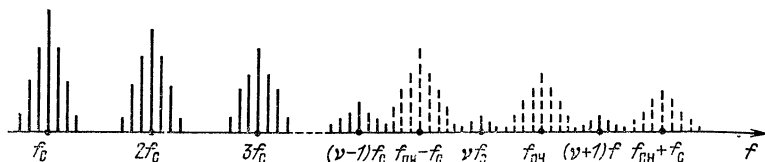


Рис. 4.17. К пояснению совмещения спектра видеосигнала с дополнительным сигналом.

нала, ближе к верхней границе спектра $f_{\max}$ видеосигнала. При совмещении канала дополнительной информации с ТВ радиолинией предполагается, что высшая частота спектра сигналов дополнительной информации $f_{в доп}$ в несколько раз меньше максимальной частоты спектра видеосигнала f_v , поэтому частоту поднесущего колебания выбирают из условия $f_{пн} > f_v - f_{в доп}$. Точный выбор частоты $f_{пн}$ производится так, чтобы она равнялась нечетной гармонике половине строчной частоты: $f_{пн} = (2\nu + 1)f_c/2$. При таком выборе $f_{пн}$ окажется точно посередине между ν -й и $(\nu + 1)$ -й гармониками f_c , как это показано на рис. 4.17.

Если синусоидальный сигнал поднесущей частоты $f_{пн}$ прерывать с частотой кадров, то все боковые частоты, образованные при этом, также попадают на пустые промежутки между гармониками частоты строк f_c (рис. 4.17). Таким образом, «гребенчатый спектр» дополнительного сигнала удастся «вложить» в гребенчатый спектр видеосигнала.

Известны и другие соотношения для выбора частоты поднесущего колебания. Поиск новых соотношений между f_c и $f_{пн}$ обусловлен стремлением ослабить видность поднесущих колебаний и их гармоник на ТВ изображении. В соответствии с выводами § 4.1 для этого нужно увеличить частоту $f_{пн}$ и выбирать ее так, чтобы колебания дополнительных сигналов не были синхронными с разверткой. Выбор точного значения частоты $f_{пн}$ поднесущего колеба-

ния оказывает существенное влияние на совместимость каналов и определяет характер искажений.

Известны три основных метода получения поднесущих колебаний, разработанных для совместных систем цветного и черно-белого телевидения [27]: метод частотной синхронизации, фазовой синхронизации и метод коммутации фазы.

Сущность первого метода состоит в том, что в синхрогенераторе передающей части ТВ системы вырабатываются колебания, по частоте кратные нечетной половине частоты строк, используемые в качестве поднесущих колебаний. В этом случае линия $f_{\text{нн}}$ в спектре располагается между гармониками строчной частоты в области частот, превышающих $f_{\text{в доп}}$.

В том случае, когда собственную частоту генератора поднесущей нельзя связать с частотой развертки (например, при частотной модуляции поднесущей), применяют метод фазовой синхронизации, при котором фаза колебаний поднесущей в начале каждой строки попеременно устанавливается равной 0 и 180° , например, с помощью ударного запуска генератора поднесущей специальными импульсами. На практике обычно меняется не полярность импульсов запуска генератора, а момент запуска относительно начала строки. Этот метод проще в реализации, чем метод частотной синхронизации, кроме того, он позволяет получить сдвиг фазы при различной исходной частоте поднесущей, а главное, допускает гораздо большую скорость изменения этой частоты, что особенно важно при уплотнении ТВ радиолinii.

В методе коммутации фазы собственная частота поднесущей устанавливается кратной частоте строк, но фаза в начале каждой строки изменяется на обратную с помощью коммутатора.

Частотным методам уплотнения свойствен ряд существенных недостатков: взаимное влияние сигналов друг на друга; появление фазовых искажений в результате включения режекторных фильтров на частоте поднесущих колебаний, которые просматриваются на экране как специфические искажения изображения («звон»); появление искажений в дополнительном канале, обусловленных помехами от видеосигнала из-за недостаточной его фильтрации; появление характерных искажений ТВ изображения при попадании поднесущей в ТВ сигнал, подаваемый на управляющий электрод кинескопа. Для устранения возникающих искажений применяют устройства коррекции и расширяют линейную область амплитудной характеристики.

Для совмещения многоканальной радиотелеметрической линии с ТВ радиолinii при использовании поднесущего колебания $f_{\text{пн}}$ (частотное уплотнение) необходимо, очевидно, использовать известный в радиотелеметрии способ комбинированного частотно-временного уплотнения. При реализации этого метода сигнал частоты

поднесущего колебания $f_{\text{пн}}$ должен модулироваться выходным сигналом коммутатора кодера, осуществляющего временное уплотнение каналов. Общая функциональная схема устройства уплотнения ТВ радиолинии с использованием такого комбинированного метода уплотнения представлена на рис. 4.18. В устройстве уплотнения обычно используется электронный коммутатор. Частота коммутации каналов должна быть равна частоте кадров или кратна ей.

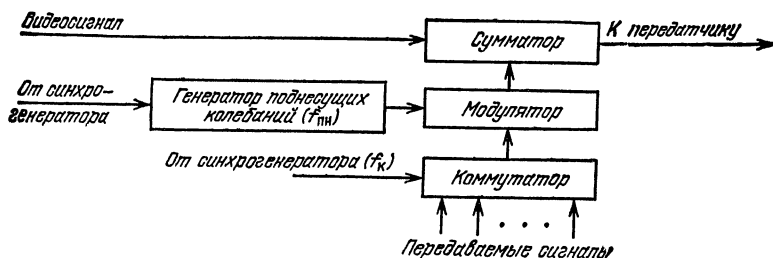


Рис. 4.18. Функциональная схема устройства частотно-временного уплотнения ТВ линии.

Временное уплотнение телевизионной линии. К временным методам уплотнения относятся такие, которые основаны на поочередной передаче сигналов изображения и дополнительной информации, а также использующие структурную избыточность ТВ сигнала. Первые не нашли применения в специальных ТВ системах.

Телевизионные сигналы, имеющие структурную избыточность, содержат временные интервалы, не используемые непосредственно для передачи сигналов изображения. Эти интервалы используются для передачи дополнительной информации путем первичной импульсной модуляции. К известным временным методам уплотнения ТВ радиолинии относятся следующие два: метод, основанный на модуляции положения среза строчных синхронизирующих импульсов; метод модуляции по положению (ВИМ) дополнительных (рабочих) импульсов, размещаемых на строчных гасящих импульсах.

Первый метод разработан [28] для передачи по ТВ радиолинии сигналов звукового сопровождения. К недостаткам этого метода [29] относятся: необходимость полной регенерации синхросмеси, что значительно усложняет как приемную, так и передающую аппаратуру ТВ системы; снижение помехоустойчивости системы синхронизации; возможность совмещения с ТВ радиолинией только одного канала передачи сигналов дополнительной информации. Эти недостатки существенно ограничивают применение метода.

Второй метод [28—31] предполагает использование интервалов строчных гасящих импульсов (рис. 4.19). В эти интервалы заме-

шиваются модулированные по фазе дополнительные импульсы, несущие информацию, частота следования которых f_n равна частоте следования строк f_c . При этом в интервале полукадрового гашения модулированные по фазе импульсы замешиваются с интервалом, равным периоду строчной развертки. В кадровых синхронизирующих импульсах формируются дополнительные вырезки, окончание которых отстоит приблизительно на 5 мкс (для вещательной систе-

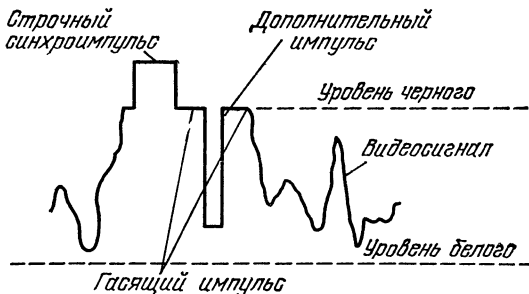


Рис. 4.19. К пояснению принципа уплотнения ТВ радиолнии, основанного на структурной избыточности ТВ сигнала.

мы телевидения) от вырезок, обусловленных ГОСТ 7845—55. Амплитуда дополнительных импульсов выбирается равной амплитуде синхроимпульсов. В ряде работ [28—33] показана возможность передачи таким способом сигналов звукового сопровождения ТВ передач.

К преимуществам этого метода уплотнения относится простота восстановления стандартного ТВ сигнала и выделения дополнительных импульсов с помощью обычных ключевых схем. При этом снижение помехоустойчивости канала синхронизации оказывается значительно меньшим, чем при первом методе. Оба метода временного уплотнения обеспечивают совмещение с ТВ каналом только одного дополнительного канала, что существенно снижает возможность их использования в специальных ТВ системах.

Используя интервалы строчных гасящих импульсов, можно построить системы, совмещающие ТВ радиолнии с многоканальной телеметрической аналоговой или цифровой радиолнией, не ухудшая качества ТВ изображения и существенно не усложняя аппаратуру ТВ системы.

Сущность способа совмещения аналоговой многоканальной радиотелеметрической линии с ТВ линией поясняется с помощью рис. 4.20. Время прямого хода кадровой развертки разбивается на интервалы $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ (рис. 4.20), число которых равно числу независимых информационных каналов, совмещаемых с ТВ ра-

диолинией. Носителем передаваемой информации в каждом из каналов является положение дополнительного импульса (ДИ) по отношению к началу канального временного интервала. Дополнительный импульс генерируется в определенном месте одного из строчных гасящих импульсов каждого канального интервала и образует со смежным (располагаемым на том же гасящем импульсе) строчным синхронизирующим импульсом двухимпульсную кодо-

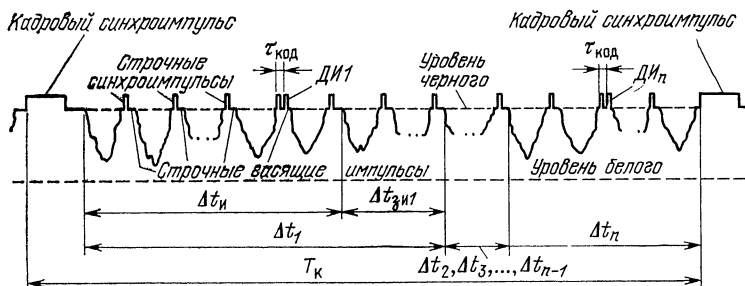


Рис. 4.20. К пояснению метода совмещения аналоговой многоканальной радиолинии с ТВ радиолинией.

вую группу с кодовым интервалом между импульсами $\tau_{\text{код}}$. Характерные признаки кодовой группы (число импульсов и кодовый интервал), одинаковые для всех каналов, обеспечивает возможность ее выделения на приемной стороне.

С изменением величины передаваемого сигнала дополнительный импульс перемещается по временному канальному интервалу дискретно, с одного гасящего импульса на другой. Дополнительные импульсы (рис. 4.21) могут располагаться как выше уровня черного (1, 3), так и между уровнями черного и белого (2), причем в интервале гасящего импульса могут располагаться несколько импульсов различных каналов. Величина передаваемого по каналу сигнала соответствует количеству строчных гасящих импульсов между началом канального интервала и гасящим импульсом, на котором находится рабочий импульс этого канала.

На рис. 4.20 $\Delta t_{\text{зи1}}$ — защитный междуканальный интервал, который имеется между всеми соседними каналами.

При соответствующем построении части шифратора, преобразующей передаваемый сигнал в положение рабочего импульса, составляющая ошибки, обусловленная дискретностью перемещения дополнительного импульса, составит $\Delta = 1/2Z_i$, где Z_i — количество периодов строчной развертки, приходящееся на канальный интервал Δt_i . Число каналов с одинаковой ошибкой Δ за счет дискретности,

которые могут быть совмещены с ТВ радиoliniей, определяется из выражения

$$n = 2(Z_a - Z_{\text{зп}}) / (1/\Delta + 2Z_{\text{зп}}), \quad (4.16)$$

где Z_a — активное число периодов строчной развертки за один период кадровой развертки; $Z_{\text{зп}}$ — число периодов строчной развертки, приходящихся на защитный интервал. С увеличением точности передачи сигналов (уменьшением Δ) n уменьшается и наоборот.

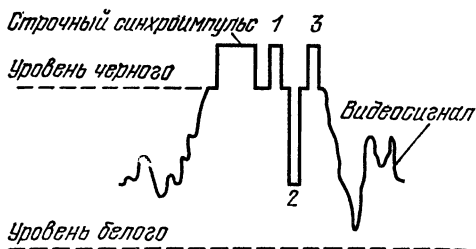


Рис. 4.21. Размещение нескольких рабочих импульсов в интервале гасящего импульса.

Для количественной иллюстрации возможностей такого метода рассмотрим следующий пример. Пусть $Z_a = 600$, $\Delta = 0,01$, $Z_{\text{зп}} = 4$. Подставив эти значения в выражение (4.16), определим число информационных каналов, которые могут быть совмещены с телевизионным: $11 < n < 12$, т. е. может быть совмещено 11 каналов.

Число совмещаемых каналов может быть увеличено в результате увеличения числа Z_a , а также в результате уменьшения длительности интервалов Δt_i тех каналов, по которым можно передавать сигналы с меньшей точностью. Кроме того, этот метод позволяет значительно увеличить число каналов без уменьшения точности передачи следующим путем. Вместо одного канального рабочего импульса, занимающего на каждом из строчных гасящих импульсов фиксированное положение, могут вводиться еще один и более рабочих импульсов, занимающих при перемещении другие дискретные положения на строчных гасящих импульсах (импульсы 1, 2, 3 на рис. 4.21).

Для того чтобы дополнительные (рабочие) импульсы не перекрывались у оснований, их необходимо брать достаточно короткими и разносить друг относительно друга на соответствующие интервалы. Некоторые из них могут располагаться в разных областях полного размаха ТВ сигнала (выше уровня черного и между белым и черным),

Каждый из рабочих импульсов канального интервала может перемещаться независимо от других рабочих импульсов этого же канального интервала и, таким образом, быть носителем независимой передаваемой информации, благодаря чему количество дополнительно совмещаемых каналов увеличивается до $3n$ и более.

Поскольку отдельные рабочие импульсы одного канального интервала так же, как и всех других канальных интервалов, занимают на строчных гасящих импульсах вполне определенные дискретные положения, то при необходимости уменьшения ошибки дискретности в одном или нескольких каналах один из рабочих импульсов одного канального интервала может перемещаться не в одном, а в двух и более временных канальных интервалах (увеличивается временной интервал рассматриваемого канала), при этом обеспечивается меньшая ошибка передачи сигнала, обусловленная дискретностью.

Схема обработки принятых сигналов строится так, что рабочий канальный импульс вместе со строчным синхронизирующим (смежным) импульсом воспринимается как двухимпульсная кадровая комбинация. Это позволяет резко увеличить помехоустойчивость дополнительных информационных каналов.

Поскольку рабочие канальные импульсы не заходят в интервал действия синхронизирующих кадровых импульсов, то никаких существенных усложнений ни в передающей, ни в приемной частях ТВ системы производить не требуется. На передающей стороне должно быть кодирующее устройство, формирующее рабочие канальные импульсы, положение которых на временной оси определяется уровнями передаваемых по каналам сигналов, и устройство суммирования рабочих импульсов с ТВ сигналом. На приемной стороне в тракте ТВ сигнала производится «вычеркивание» рабочих импульсов из ТВ сигнала только в том случае, когда рабочие импульсы располагаются в области между уровнями черного и белого. В приемной части добавляется декодирующее устройство, обеспечивающее выделение рабочих импульсов из ТВ сигнала, определение величины передаваемых сигналов и распределения их по соответствующим информационным каналам. Практическая реализация подобного метода не вызовет затруднений, так как все схемные решения отдельных элементов совмещенной системы хорошо разработаны.

Указанный метод совмещения каналов дополнительно передаваемой информации с ТВ радиолинией значительно повышает информативность специальных ТВ систем при ТВ наблюдении земной поверхности и ее облачного покрова, поверхности Луны и других планет. При этом наряду с сигналами изображения по ТВ радиолинии могут передаваться координаты этой поверхности и другая телеметрическая информация о работе отдельных устройств

летательного аппарата, а также информация о параметрах исследуемого пространства.

Максимальная частота спектра сигнала, передаваемого по каждому из дополнительных каналов телеметрической системы, не должна превышать $f_{в доп} \leq f_k/c$. В соответствии с теоремой Котельникова в идеальном случае фильтрации $c=2$. Реально же $c \approx 5-10$. Таким образом, по каналам, совмещенным с ТВ каналом, могут передаваться медленно изменяющиеся сигналы с наивысшей частотой спектра $f_{в доп}$, не превышающей 5—10 Гц (при $f_k=50$ Гц). Значение $f_{в доп}$ может быть повышено путем увеличения частоты опроса в канале при выделении этому каналу нескольких временных интервалов в течение прямого хода кадровой развертки, причем эти интервалы должны равномерно распределяться во время прямого хода.

Совмещение цифровой многоканальной радиотелеметрической линии с ТВ каналом обеспечивается следующим образом. Каждому каналу цифровой радиотелеметрической линии представляется временной интервал в течение прямого хода кадровой развертки с необходимым числом строчных гасящих импульсов. Часть этих импульсов используется как носители информационных разрядов символов («1» и «0») двоичной системы счисления. Символ «1» представляется в виде наличия, а символ «0» — в виде отсутствия дополнительного информационного импульса на соответствующем гасящем импульсе. Комбинация информационных импульсов образует информационную часть кодового слова в двоичной системе счисления, отображающей значение передаваемого сигнала. Другие строчные гасящие импульсы, входящие в кодовое слово данного канала, несут на себе сигналы синхронизации слов и избыточные символы, используемые для повышения достоверности принятой информации по каналу.

Для примера на рис. 4.22 показана структура кода одного из каналов при передаче по нему сигнала, соответствующего по величине 23-му квантованному уровню (числу). При этом используется пятиразрядный двоичный код. В других каналах могут применяться двоичные коды с таким же или иным основанием. Временной интервал между фронтами дополнительного и смежного с ним импульса выбирается равным τ_k (рис. 4.22). Интервал τ_k является кодовым признаком, по которому на приемной стороне определяется момент передачи символа «1». На строчных гасящих импульсах, несущих информацию о синхронизирующем сигнале слова, дополнительные импульсы отстоят от смежных строчных синхроимпульсов на интервал $\tau_{код}$, не равный τ_k , что является признаком, по которому синхросигналы слов выделяются на приемной стороне. При использовании адресного разделения каналов на приемной стороне на строчных гасящих импульсах, входящих в синхросигнал слов,

может размещаться не один, а несколько дополнительных импульсов, образующих при этом многоимпульсную кодовую группу.

В качестве синхронизирующих сигналов кадров в совмещаемой многоканальной линии могут использоваться кадровые гасящие импульсы или специально сформированные группы гасящих строчных импульсов с размещенными на них определенным образом дополнительными импульсами.

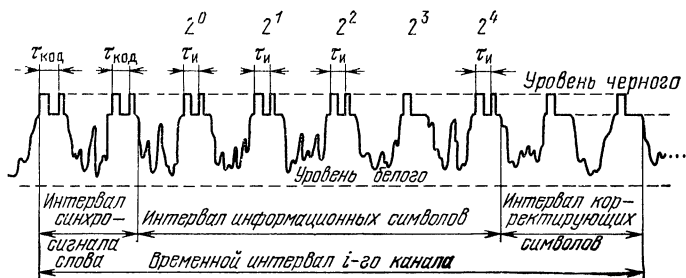


Рис. 4 22. К пояснению метода совмещения цифровой многоканальной радиолinii с ТВ радиолiniiей.

Схема обработки принятых сигналов строится так, что наличие дополнительных импульсов на строчных гасящих импульсах определяется с помощью схем совпадений (логических элементов И), настроенных на декодирование двухимпульсных комбинаций с интервалами $T_{\text{и}}$ и $T_{\text{код}}$.

В тракте ТВ канала на приемной стороне никаких вспомогательных преобразований сигнала не требуется, если дополнительные импульсы имеют ту же полярность, что и строчные синхронизирующие импульсы. При противоположных полярностях указанных импульсов необходимо произвести «вычеркивание» дополнительных импульсов, чтобы они не засвечивали экран приемной трубки при обратном ходе строчной развертки.

При реализации такого метода количество дополнительных идентичных каналов, совмещаемых с ТВ радиолiniiей, составит

$$n = ZT_{\text{кп}}/T_{\text{к}}(m+k+l),$$

где m — число информационных символов в используемом двоичном коде; k — число корректирующих символов; l — число символов в синхронизирующей послыке слова; $T_{\text{кп}}$ — длительность прямого хода кадровой развертки; $T_{\text{к}}$ — период кадровой развертки.

В общем случае для обеспечения допустимой ошибки воспроизведения сигнала при квантовании по уровню в различных каналах могут использоваться двоичные коды с неодинаковым числом разрядов.

Рассмотренный метод уплотнения ТВ радиолinii позволяет существенно повысить информативность специальных ТВ систем. При выборе метода совмещения радиотелеметрической и ТВ линий необходимо учитывать скорость изменения телеметрируемых величин и требуемую точность воспроизведения этих величин на приемной стороне. При передаче сравнительно узкополосных сообщений целесообразно использовать временные методы уплотнения, обеспечивающие минимальные междуканальные перекрестные искажения. В случае, когда требуется передавать более широкополосные сигналы, может применяться частотно-временной метод уплотнения, при этом частота переключений в коммутаторе (частота следования циклов опроса) должна быть кратна частоте кадров.

Глава 5

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Многообразие решаемых ТВ системами задач и условий их выполнения приводит к тому, что в каждом конкретном случае приходится искать оптимальное построение системы с использованием в ней новых технических решений, существенно отличающих эту систему от других ТВ систем. К настоящему времени ТВ системы летательных аппаратов по реализованным в них техническим признакам можно разделить на следующие группы [3]:

- широкополосные и узкополосные системы — по ширине спектра передаваемого видеосигнала;
- на системы координатного (пространственного) распределения лучистого потока, системы спектрального распределения лучистого потока и системы временного распределения лучистого потока — по типу информационных параметров лучистого потока, воспроизводимых на ТВ изображении;
- системы механические и электронные, системы с разверткой в оптическом канале и в канале формиро-

вания видеосигнала (в электрическом канале) — по типу устройств развертки;

— системы с электрическим фильтром, системы с электронным пленочным накопителем, системы с фотопленкой — по типу накопителя;

— системы с одноэлементным накопителем, системы со строчным накопителем, системы с кадровым накопителем — по структуре накопителя;

— системы с одновременным накоплением и считыванием (системы с непосредственной передачей изображений), системы с раздельным накоплением и считыванием (системы с запоминанием) — по временным процессам преобразования видеoinформации;

— системы с искусственной подсветкой и без нее — по световым условиям;

— на открытые (с радиолинией) и замкнутые (без радиолинии) системы, цифровые и аналоговые системы — по типу линий связи.

Такое разделение условно. В реальных ТВ системах обычно сочетаются те или иные указанные признаки.

К узкополосным системам относятся такие, спектр видеосигнала которых занимает диапазон до 0,1 МГц. В широкополосных системах верхняя граница спектра видеосигнала выше 0,1 МГц. Широкополосные ТВ системы предназначаются для непосредственного ТВ наблюдения обширных районов земной поверхности и ее облачного покрова в реальном масштабе времени. ТВ сигнал в такой системе может нести в себе большое количество информации. Ввиду ограниченности мощности излучения бортового передатчика широкополосные системы используются преимущественно на самолетах и искусственных спутниках Земли с невысокими орбитами (до 10 тыс. км).

При полетах к Луне и планетам Солнечной системы увеличение дальности радиолинии связи с радиопередатчиком ограниченной мощности приводит к необходимости сужения спектра передаваемого сигнала. В таких случаях применяются узкополосные ТВ системы. При космических исследованиях приходится иметь дело с целой группой задач, в которых условие узкополосности ТВ системы является необходимым, без выполнения его не могут быть решены и сами задачи. В ряде таких задач сохраняется также требование передачи изображения с высокой пространственной различимостью (четкостью).

По условиям пространственного распределения лучистого потока ТВ системы разделяются на системы передачи объемных, плоскостных и линейных изображений. Стереоскопическая ТВ система обеспечивает ощущение объемности воспроизводимого ТВ изображения, т. е. получение информации о распределении яркости элементов изображения в трехмерном пространстве $B = B(x, y, z)$ с координатами x, y, z . В системах передачи плоских изображений воспроизводится зависимость $B(x, y)$ с координатами x, y , а в линейных системах — зависимость $B(x)$ с координатой x .

Системы спектрального распределения лучистого потока разделяются на цветные и черно-белые (полутонные). В системах цветного телевидения изображения, воспроизводимые на экране ТВ приемника, имеют естественную окраску передаваемого изображения и несут значительно большее количество информации по сравнению с черно-белыми системами.

Цветные и черно-белые ТВ системы могут быть как стереоскопическими, так и плоскостными. В настоящее время на космических летательных аппаратах (КА) широко используются цветные и черно-белые ТВ системы для передачи плоскостных изображений. Стереоскопические системы ввиду значительной сложности и необходимости расширения полосы частот канала пока не находят широкой практической реализации.

По условиям временного распределения лучистого потока ТВ системы разделяются на системы для передачи подвижных и неподвижных изображений.

Из-за значительной инерционности механического разворачивающего устройства развертка изображения в механических ТВ системах происходит с малой скоростью (малой частотой строк или кадров). Однако при решении ряда задач космических исследований механические ТВ системы успешно применяются.

Если в системе используется передающая ТВ трубка и поэлементная развертка изображения производится электронным лучом, то такую систему называют электронной ТВ системой. Широкое применение находят системы с электронной разверткой в оптическом канале (система с бегущим лучом). Формирование анализирующего (просвечивающего) элемента и его развертка по передаваемому изображению в системах с бегущим лучом осуществляются с помощью специального проекционного кинескопа,

ТВ системы с бегущим лучом применяются на космических летательных аппаратах при исследовании среднего и дальнего космоса, а электронные системы с передающими трубками находят применение на всех летательных аппаратах.

В системах с преобразователями без накопления энергии (фотоэлектронный умножитель, диссектор) полученный после преобразования видеосигнал усиливается видеоусилителем, полоса пропускания которого может рассматриваться как полоса пропускания некоторого накопительного фильтра.

Если в ТВ системе для преобразования света в видеосигнал используется передающая ТВ трубка (видикон, суперортикон) с накопителем в виде тонкой пленки (фотокатод), то такую систему называют системой с электронным пленочным накопителем.

В качестве накопителя световой энергии в ТВ системах применяют фотопленку, на которую предварительно фотографируется изображение передаваемого объекта. Преобразование полученного фотоизображения в видеосигнал производится с помощью фотоэлектрического устройства считывания, в котором реализуется метод бегущего луча. Системы с фотопленочным накопителем называют фототелевизионными системами.

В системах с одноэлементным накопителем процессы накопления световой энергии и ее преобразования в видеосигнал совпадают по времени и происходят в каждый момент времени только в одном элементе передаваемого изображения. Преобразователем световой энергии в видеосигнал при этом служит фотоэлемент или фотоумножитель. Системы с одноэлементным накопителем позволяют реализовать высокую светочувствительность только при передаче неподвижных изображений.

В ТВ системах с одноэлементным накопителем применяются механические (с использованием в качестве преобразователя «свет—сигнал» фотоэлектронного умножителя) и электронные (с использованием диссектора) развертки. При любом виде развертывающего устройства для формирования двумерного изображения необходимо обеспечить развертку передаваемого изображения в двух направлениях (по кадру и строке). Передающая часть одноэлементных ТВ систем с механической разверткой изображения имеет малые габариты, массу и энергопотребление. Они просты и надежны в эксплуатации.

В системах со строчным накоплением, называемых часто однострочными системами, световая энергия накапливается только в течение развертки изображения по строке. В этом случае для формирования ТВ сигнала от всего изображения необходимо относительное перемещение ТВ камеры с однострочным накопителем и передаваемого изображения. В таких системах могут использоваться трубки с однострочным накопителем, а также с двумерным пленочным накопителем (обычные передающие ТВ трубки).

Все современные системы вещательного телевидения относятся к системам с кадровым накоплением. В ТВ камерах таких систем используются передающие трубки с пленочными накопителями, позволяющими одновременно накапливать световую энергию, поступающую от всех элементов двумерного изображения (кадра), благодаря чему существенно повышается светочувствительность ТВ системы.

Если ТВ система построена так, что процесс считывания (формирование ТВ сигнала) происходит одновременно с процессом накопления, то такая система называется системой с одновременным накоплением и считыванием (системы с непосредственной передачей изображения).

Телевизионная система может быть построена так, что в ней процессы экспонирования (накопления световой энергии) и считывания (формирования ТВ сигнала) разнесены во времени: сначала производится накопление световой энергии на светочувствительном слое (запоминание светового изображения), а затем считывание этого изображения. Разделение процессов накопления и считывания производится, например, в фототелевизионных малокадровых системах.

При проведении космических исследований используются открытые ТВ системы с непосредственной передачей изображений и системы с запоминанием передаваемых изображений в бортовой аппаратуре.

Телевизионные системы с непосредственной передачей изображений могут быть как широкополосными, так и узкополосными. Узкополосные ТВ системы с непосредственной передачей изображений отличаются от широкополосных тем, что в них применяются более низкие значения параметров разложения (частоты развертки по строкам и кадрам); они используются для исследования объектов дальнего космоса,

Запоминание изображений исследуемых объектов, полученных бортовой аппаратурой, применяется обычно для сужения спектра ТВ сигнала и согласования ширины этого спектра с полосой пропускания канала связи, а также для получения с помощью узкополосной ТВ системы отдельных кадров быстроперемещающихся или изменяющихся объектов. Кроме того, устройства запоминания в виде магнитных регистраторов сигналов используются как накопители ТВ информации в течение отрезков времени, за которые невозможно осуществить радиосвязь космического аппарата с наземными приемными устройствами, а также для сокращения продолжительности передачи накопленной информации из-за ограниченности сеанса связи. В последнем случае воспроизведение сигналов с магнитной ленты для их передачи производится значительно быстрее (в 4—5 раз), чем при их записи.

Телевизионные системы, используемые для передачи видеoinформации с летательных аппаратов на Землю, имеют в своем составе радиолинию связи и называются открытыми. Телевизионные системы, с помощью которых на борту летательного аппарата (ЛА) решаются различные специальные задачи без излучения радиосигналов, называются замкнутыми.

В зависимости от назначения и условий применения конкретной ТВ системы могут быть реализованы различные технические решения, характеризующиеся перечисленными признаками. В настоящее время на летательных аппаратах широко применяют многокадровые (широкополосные) системы для передачи черно-белых и цветных изображений, малокадровые и однострочные системы телевидения для передачи черно-белых неподвижных изображений. Замкнутые ТВ системы применяются при решении задач навигации, автоматического управления беспилотными объектами, обзора экипажем окружающего пространства, наблюдения за труднодоступными местами на борту летательного аппарата и многих других специальных задач.

5.2. МНОГОКАДРОВЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Многокадровые ТВ системы используются в основном для передачи изображений объектов, изменяющихся во времени по форме или по своему положению

в пространстве. Передача информации в таких системах осуществляется с большой скоростью, из-за чего верхняя граничная частота спектра видеосигнала достигает значительной величины, определяемой соотношением (2.16).

Принцип действия многокадровых ТВ систем летательных аппаратов, предназначенных для обзора земной поверхности и ее облачного покрова, подобен принципу действия вещательных ТВ систем [3, 9], в которых используется линейная построчная или чересстрочная многокадровая развертка изображения. В подавляющем большинстве многокадровых ТВ систем в качестве первичных преобразователей типа «свет — сигнал» используются передающие ТВ трубки с покадровым накоплением зарядов (плёночным накопителем световой энергии).

Выбор параметров разложения изображения в ТВ системах летательных аппаратов не ограничивается существующими стандартами на широкоэmissive TV системы и производится с учетом требований к системе, определяемых решаемой задачей. Так, например, количество строк в кадре Z выбирается таким, чтобы обеспечивалась требуемая пространственная разрешающая способность системы. Наибольшее значение Z ограничивается допустимой шириной полосы пропускания системы и техническими возможностями современных передающих трубок. Частота кадровой развертки выбирается такой, чтобы удовлетворялись условия обеспечения воспроизведения эффекта движения и отсутствия мерцания изображения. Вместе с тем с целью уменьшения ширины спектра ТВ сигнала в ТВ системах летательных аппаратов иногда допускают уменьшение частоты кадров, если ТВ изображение наблюдается недолго и с его мельканием можно не считаться.

В состав функциональной схемы типовой многокадровой системы для передачи черно-белых изображений входит передающая часть (рис. 5.1), устанавливаемая на борту летательного аппарата, и приемная часть (рис. 5.2), располагаемая на Земле. Передающая и приемная части связаны радиолинией.

Основными элементами передающей части являются: передающая камера, синхрогенератор, блок разверток, блок формирования и усиления полного ТВ сигнала, модулятор, передатчик, антенное устройство, блок ориентации и высоты и устройство для наведения пере-

дающей камеры на объекты разведки. В передающей камере многокадровой ТВ системы применяются преимущественно передающие трубки с накоплением. Для повышения оперативности работы в состав передающей станции обычно включают две передающие камеры: мелкомасштабную и крупномасштабную с соответствующими объективами. Мелкомасштабная камера, обеспе-

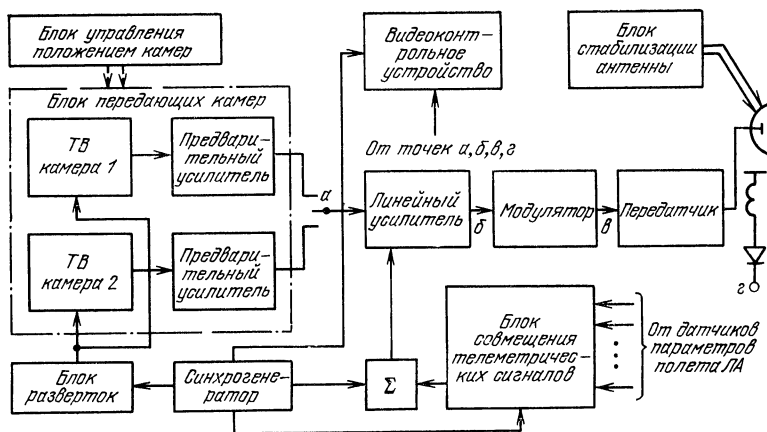


Рис. 5.1. Функциональная схема передающей части многокадровой ТВ системы.

чивающая большую зону захвата на местности, является обзорной. Крупномасштабная камера служит для детального рассмотрения исследуемых объектов.

В каждой передающей камере имеется свой предварительный (камерный) усилитель, располагаемый в непосредственной близости от передающей трубки. Это позволяет уменьшить влияние емкости кабеля, соединяющего камеру с последующим блоком, а также обеспечить более высокое отношение сигнал/шум на входе линейного усилителя.

Наведение передающих камер на объекты наблюдения и их сопровождение визирным лучом осуществляются операторным устройством наведения. С его помощью луч визирования (угол зрения камер) может перемещаться по азимуту и по углу места относительно ЛА, что позволяет выбирать объекты для детального

наблюдения и их сопровождения в течение времени пролета самолета вблизи объекта. Синхрогенератор передающей части обеспечивает синхронность разверток изображения на передающей и приемной сторонах ТВ системы. Для этого в нем вырабатываются синхронизирующие импульсы, определяющие начало циклов (начало обратного хода) строчной и кадровой разверток в передающих камерах. В нем вырабатываются

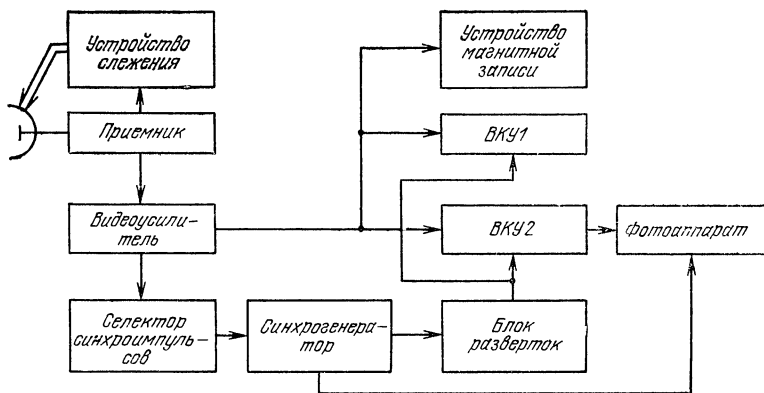


Рис. 5.2. Функциональная схема приемной части многокадровой ТВ системы.

также гасящие импульсы запирающие передающей трубки во время обратного хода разверток, а также смесь синхронизирующих и гасящих импульсов, замешиваемых в полный ТВ сигнал для передачи на приемную сторону.

Структура построения синхрогенератора зависит от выбранного метода развертки. Она оказывается более простой при реализации в ТВ системе построочной линейной развертки и более сложной при использовании чересстрочной развертки. Для обеспечения высокой стабильности следования синхроимпульсов задающий генератор синхрогенератора выполняется с кварцевой стабилизацией частоты.

Видеосигнал с передающей камеры подается в блок линейного усилителя, где происходит формирование полного видеосигнала и его усиление до необходимой величины. Кроме того, в линейном усилителе с помощью

устройства АРУ и фиксирующих устройств обеспечивается поддержание постоянного размаха полного ТВ сигнала и восстановление постоянной составляющей.

В состав полного ТВ сигнала включаются сигналы телеметрической системы, канал связи которой в таких случаях совмещается с ТВ каналом. По телеметрическим каналам обычно передаются параметры полета ЛА, по которым на приёмной стороне осуществляется «привязка» ТВ изображения к координатам наблюдаемой местности. Такими параметрами могут быть: высота, скорость, курс полета ЛА, его текущие координаты и т. д.

Модулятор представляет собой мощный видеоусилитель, выходной сигнал которого обеспечивает модуляцию высокочастотных колебаний, генерируемых передатчиком. Обычно передатчик многокадровой ТВ системы обзора работает в ультракоротковолновом диапазоне волн на одной фиксированной частоте или перестраивается в некотором диапазоне частот.

Передающая антенна направленная, что повышает энергетический потенциал линии связи. Пространственное положение передающей антенны регулируется специальной следящей системой, которая выдерживает направление антенны на приемную станцию при любых эволюциях ЛА. Контроль качества передаваемого изображения и настройка бортовой аппаратуры ТВ системы осуществляются оператором с помощью видеоконтрольного устройства. На кинескоп видеоконтрольного устройства видеосигнал может подаваться с различных точек передающего тракта, в том числе и с выхода передатчика после детектирования высокочастотного сигнала (точки *а, б, в, г* на рис. 5.1).

Основными элементами приемной станции (рис. 5.2) являются: остронаправленная приемная антенна, ТВ приемник, усилитель видеосигнала, устройство выделения сигналов синхронизации, синхрогенератор, видеоконтрольное устройство, кинескопы и блоки разверток. В состав приемной станции входит следящая система, обеспечивающая наведение приемной антенны в азимутальной плоскости в направлении ЛА по максимуму принимаемого сигнала.

В синхрогенератор приемной части для повышения помехоустойчивости канала синхронизации включаются различные инерционные звенья (устройство фазовой автоподстройки частоты с фильтром, генератор с захва-

тиванием и т. п.), обеспечивающие фильтрацию сигналов синхронизации.

В приемной станции могут использоваться несколько видеоконтрольных устройств (ВКУ). На одном ВКУ оператор непосредственно наблюдает воспроизводимое ТВ изображение. С экрана другого производится однокадровое фотографирование ТВ изображения с помощью фотоаппарата. При фотографировании сначала открывается затвор фотоаппарата, затем подсвечивается один кадр изображения и после экспонирования фотопленки затвор закрывается. Такая последовательность операций вызывается необходимостью исключения влияния на процесс фотографирования инерционности механического затвора фотоаппарата.

Управление процессом фотографирования может производиться с помощью специальной кнопки, имеющейся на просмотрном видеоконтрольном устройстве станции, или с помощью программно-командного устройства фотоустановки. При этом обеспечивается фотографирование отдельных выборочных кадров, а командный прибор позволяет производить автоматическое покадровое фотографирование всего маршрута полета с той или другой частотой, выбираемой оператором с учетом скорости и высоты полета самолета так, чтобы маршрутная съемка была без пропусков и без больших перекрытий кадров, следующих друг за другом.

Помимо фотографирования, информация с выхода ТВ системы может консервироваться путем магнитной или другой записи видеосигналов, для чего в состав приемной станции должно входить соответствующее регистрирующее устройство.

Размер зоны захвата на местности L (рис. 5.3), просматриваемой с помощью ТВ системы, составляет

$$L = M_{\text{фк}} l_{\text{фк}}, \quad (5.1)$$

где $M_{\text{фк}} = H/f$ — масштаб изображения на фотокатод передающей трубки; H — высота полета; f — фокусное расстояние объектива; $l_{\text{фк}}$ — линейный размер (размер рабочей части) фотокатода передающей трубки. Из выражения (5.1) следует, что масштаб изображения изменяется с изменением высоты полета. При постоянной высоте полета изменение масштаба изображения может производиться путем смены объективов с различными фокусными расстояниями или применения вариофокаль-

ных объективов. Изменение масштаба изображения может осуществляться и электронным путем в устройстве развертки путем изменения размаха пилообразного тока в отклоняющих катушках передающих и приемных трубок.

При полете летательного аппарата передающая ТВ камера, установленная на нем, перемещается с соответствующей угловой скоростью относительно наблюдаемого объекта, что в определенных условиях приводит к специфическим искажениям ТВ изображения. Так, например, если время памяти (инерционность) передающей трубки многокадровой ТВ системы соизмеримо с периодом кадровой развертки или больше его, то при относительном перемещении ТВ камеры и наблюдаемого сюжета будет иметь место явление «смазывания» изображения (см. § 2.1).

Возникновение смазывания можно пояснить наложением на мишени передающей трубки проекций одних элементов оптического изображения на другие между моментами считывания потенциалов соответствующих мест участков мишени. Это приводит к выравниванию яркостей элементов ТВ изображения и к ухудшению воспроизведения его мелких деталей.

Искажения ТВ изображения будут незаметными, если в многокадровой ТВ системе за время кадра T_k скоростной сдвиг изображения δ_v (перемещение проекции изображения на фотокатоде из-за относительной скорости перемещения объекта и камеры) не превысит половины элемента разложения изображения $\delta_{фк}$, т. е. $\delta/2 \geq \delta_v$. Можно определить условие отсутствия смазывания ТВ изображения в зависимости от параметров полета летательного аппарата и тем самым установить ограничения применению многокадровой ТВ системы

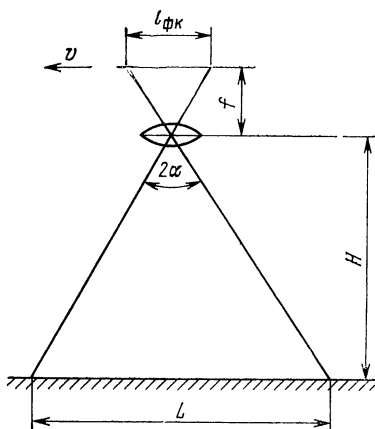


Рис. 5.3. К пояснению геометрических соотношений при ТВ наблюдении поверхности.

Для обзора земной поверхности с летательного аппарата.

При высоте горизонтального полета H и фокусном расстоянии объектива f скорость перемещения проекции объекта на фотокатод передающей трубки

$$v_{0\text{фк}} = f v / H, \quad (5.2)$$

где v — скорость полета ЛА. Элемент разложения $\delta_{\text{фк}} = l_{\text{фк}} / Z_a$. Условие отсутствия явления «смазывания» запишем в виде

$$\delta_v \leq l_{\text{фк}} / 2 Z_a, \quad (5.3)$$

где Z_a — активное число строк в растре.

С учетом (5.2) условие (5.3) примет вид

$$\delta_v = v_{0\text{фк}} T_k = f v T_k / H \leq l_{\text{фк}} / 2 Z_a,$$

откуда

$$v \leq H l_{\text{фк}} / 2 f Z_a T_k = (H \operatorname{tg} \alpha) / Z_a T_k. \quad (5.4)$$

Угловая скорость перемещения ЛА относительно наблюдаемого объекта

$$\omega = v / H \leq l_{\text{фк}} / 2 f Z_a T_k = (\operatorname{tg} \alpha) / Z_a T_k. \quad (5.5)$$

Из выражений (5.4), (5.5) следует, что значения v и ω могут быть увеличены в результате уменьшения периода кадровой развертки T_k и увеличения угла поля зрения объектива (2α) телевизионной камеры.

Особенностью работы открытых ТВ систем, используемых для обзора земной поверхности или поверхности планет солнечной системы с ЛА, является то, что ТВ камера вместе с ЛА, помимо поступательного движения, совершает и угловые перемещения, вызываемые различными возмущениями. Вследствие угловых колебаний камеры возникают дополнительные перемещения проекции оптического изображения точек местности на фотокатод передающей трубки, что также вызывает ухудшение четкости ТВ изображения. При необходимости для уменьшения этих искажений ТВ камеру устанавливают на гиросtabilизированную платформу.

Скорость современных ЛА и тем более космических может значительно превышать скорость звука. В то же время скорость передвижения наблюдаемых объектов по земной поверхности редко превышает 100 км/ч. При таком соотношении скоростей применение многокадровых ТВ систем, передающих эффект движения объектов относительно поверхности земли (воды), теряет смысл.

В однокадровой ТВ системе оптический сюжет передачи проецируется (экспонируется), как при фотографировании, на светочувствительную поверхность первичного преобразователя один раз в течение сравнительно короткого промежутка времени и запоминается. После этого производится считывание запомненного изображения один или несколько раз [3, 11, 33, 34].

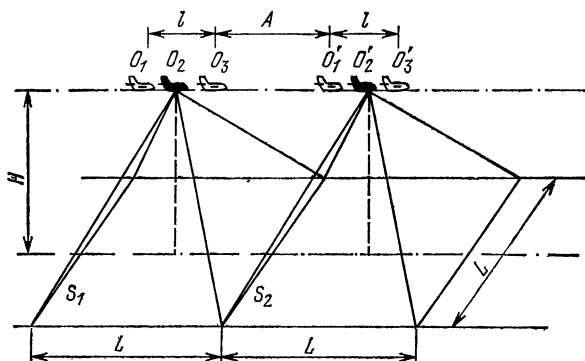


Рис. 5.4. К пояснению принципа действия однокадровой ТВ системы.

Принцип действия однокадровой ТВ системы можно пояснить с помощью рис. 5.4. Летательный аппарат с передающей ТВ станцией на борту движется с некоторой скоростью на высоте H над поверхностью земли. Изображение местности под ЛА экспонируется на светочувствительную поверхность первичного преобразователя в определенные интервалы времени, соответствующие прохождению ЛА отрезков $O_1O_3 = O'_1O'_3 = l$. Время между интервалами экспозиции (A на рис. 5.4) используется для считывания запомненного изображения, преобразования его элементов в видеосигналы и передачи их на приемную станцию. На экране видеоконтрольного устройства приемной станции от кадра к кадру воспроизводится изображение нового участка просматриваемой местности. Так как мелькающее изображение непосредственно с экрана визуальнo воспринимать трудно, то оно фотографируется и полученная фотография дешифрируется, как аэрофотоснимок.

Функциональная схема однокадровой ТВ системы по своей структуре ничем по существу не отличается от функциональной схемы многокадровой системы. Существенно отличными оказываются параметры разложения — частота строк и частота кадров. Эти параметры однокадровой системы должны быть связаны с параметрами полета (высотой и скоростью) ЛА с тем, чтобы при экспонировании не происходило перекрытия соседних участков местности или это перекрытие было в допустимых заранее установленных пределах. Вместе с тем в результате значительного уменьшения числа кадров в единицу времени возникает ряд специфических особенностей работы ТВ систем в однокадровом режиме, что приводит к изменению функциональных и принципиальных схем отдельных узлов и режимов их работы. Наиболее существенно изменяется режим работы передающих ТВ трубок. В ряде случаев используются трубки, специально разработанные для однокадрового режима. Кроме трубок, в однокадровых ТВ системах для запоминания передаваемого изображения на время экспонирования применяются фотографические устройства.

Однокадровые ТВ системы имеют ряд преимуществ перед многокадровыми. Переход к однокадровому режиму работы позволяет существенно сократить ширину спектра ТВ сигнала (в сотни и тысячи раз), а следовательно, и ширину полосы пропускания канала связи. Это открывает большие возможности для повышения помехоустойчивости ТВ систем. Кроме того, однокадровый режим позволяет сравнительно простыми средствами скомпенсировать скоростной сдвиг изображения и обеспечить тем самым возможность использования подобных систем как при больших, так и при малых высотах полета.

Рассмотрим основные параметры, характеризующие однокадровый режим работы передающей части ТВ системы. Зона захвата на местности L определяется выражением

$$L = l_{\Phi K} H / f. \quad (5.6)$$

При полете ЛА на сравнительно небольшой высоте со скоростью v полная смена сюжета передачи произойдет за время построения кадра

$$T_{\text{пк}} = L / v. \quad (5.7)$$

Если время передачи кадра $T_{\text{прд}} \leq T_{\text{пк}}$, то изображение местности передается полностью. Если $T_{\text{прд}} > T_{\text{пк}}$, то изображение передается с пропусками.

Время экспонирования $T_{\text{э}}$ изображения выбирается таким образом, чтобы из-за перемещения передающей камеры проекция изображения на фотокатоде трубки сместилась бы не более чем на половину элемента разложения, т. е. должно выполняться условие

$$v_{\text{фк}} T_{\text{э}} \leq l_{\text{фк}} / 2Z = \delta_{\text{фк}} / 2,$$

где $v_{\text{фк}}$ — скорость перемещения проекции изображения по фотокатоду; $\delta_{\text{фк}}$ — размер элемента разложения (апертура анализирующего элемента) в плоскости фотокатода. Так как $v_{\text{фк}} = f v / H$, то время экспонирования

$$T_{\text{э}} \leq l_{\text{фк}} / 2 v_{\text{фк}} Z = C H / v.$$

Здесь $C = l_{\text{фк}} / 2Zf$ — коэффициент, характеризующий параметры системы.

После экспонирования секция записи передающей трубки закрывается (путем подачи на один из электродов запирающего напряжения или закрывания объектива) и начинается процесс считывания, занимающий время $T_{\text{сч}}$. Таким образом, в однокадровом режиме работы процессы накопления и считывания потенциального рельефа разделены во времени. Этим однокадровый режим существенно отличается от многокадрового, при котором накопление и считывание происходят одновременно (за время кадра).

Передающие трубки для однокадровых ТВ систем обладают заметной инерционностью. Поэтому в них, кроме экспозиции и считывания, необходима операция ускоренного снятия остаточного потенциального рельефа. В связи с этим при непрерывной передаче временные соотношения режимов работы передающей трубки малокадровой системы должны удовлетворять условию

$$T_{\text{цт}} = T_{\text{э}} + T_{\text{сч}} + T_{\text{пр}} \leq T_{\text{пк}},$$

где $T_{\text{цт}}$ — полное время цикла работы передающей трубки; $T_{\text{пр}}$ — время, необходимое для снятия остаточного потенциального рельефа.

Верхняя граничная частота спектра видеосигнала $f_{\text{в}}$, образующегося при считывании в однокадровом режиме, определяется временем считывания $T_{\text{сч}}$ и не за-

висит от времени экспозиции $T_э$. Значение $f_в$ определяется из соотношения $f_в = k_ф Z^2 / 2T_{сч}$. Время считывания может быть взято значительно большим, чем в многокадровой системе, в результате можно значительно уменьшить ширину спектра видеосигнала.

Если предположить, что время экспонирования $T_э$ в однокадровой системе равно периоду кадровой развертки $T_к$ в многокадровой системе и число строк Z в их кадрах одинаково, то можно определить, во сколько раз уменьшится ширина спектра видеосигнала при переходе от многокадрового режима к однокадровому: $\eta = T_{сч} / T_к$.

Рассмотрим пример. Пусть размер зоны захвата на местности $L = 10$ км и скорость самолета $v = 1800$ км/ч, тогда время построения кадра составит $T_{пк} = 20$ с. Если на считывание отвести половину этого времени, т. е. $T_{сч} = 10$ с, а время экспозиции взять равным периоду кадровой развертки вещательного телевидения: $T_э = T_к = 0,04$ с, то ширина спектра в результате перехода коднокладровому режиму уменьшится в $\eta = 10/0,04 = 250$ раз.

При однокадровом режиме, помимо трубок с запоминанием и фотографических устройств, на передающей стороне ТВ системы для запоминания световой информации после ее преобразования в электрические сигналы широко используются устройства магнитной и электростатической регистрации электрических сигналов.

Особенности работы передающей трубки в однокадровом режиме. Как уже отмечалось, цикл работы передающей трубки разделяется на три этапа: запись (экспозиция), считывание и стирание остаточного потенциального рельефа. Характерным при этом является то, что считывание потенциального рельефа происходит по памяти, т. е. после того, как поступление светового потока на вход передающей трубки прекращено. С окончанием процесса экспозиции глубина потенциального рельефа на пленочном накопителе передающей трубки постепенно начинает уменьшаться в результате поверхностной и объемной утечки зарядов. Соответственно уменьшается и величина видеосигнала на выходе секции считывания. Время уменьшения уровня сигнала на 50% принято называть «памятью» трубки. Память суперортикона составляет несколько миллисекунд, а видикона — несколько минут, причем память видикона, предназначенного для работы в однокадровом режиме, может до-

стигать нескольких десятков минут. Поэтому в однокадровых системах большее применение находят видиконы [12].

Время считывания должно выбираться с учетом памяти трубки. Для сужения спектра частоты видеосигнала необходимо увеличивать время считывания $T_{сч}$, что при заданных T_a и $T_{пт}$ в случае передачи изображения без пропусков можно сделать, только уменьшая время $T_{пр}$. Для уменьшения времени стирания остаточного потенциального рельефа применяют режим форсированного стирания. По окончании процесса считывания, включив секцию записи, производят равномерную засветку фотослоя светом от специального источника, а затем осуществляют быстрое считывание потенциального рельефа при максимальном значении тока считывающего луча. При этом закон развертки луча при считывании элементов запоминающей поверхности существенно отличается от закона развертки при считывании. Например, скорость строчной развертки сохраняется прежней, а скорость кадровой развертки значительно увеличивается путем подачи на катушки кадровой развертки синусоидального напряжения с частотой, в сотни раз превышающей частоту строк (при этом растр как бы поворачивается на 90°).

Из выражений (5.6) и (5.7) следует, что время построения кадра $T_{пк}$ зависит от параметров летательного аппарата — высоты полета H и скорости $v_{ла}$, а также фокусного расстояния объектива f . Поэтому при передаче изображения без пропусков частота повторения кадровых синхроимпульсов, задающих начало цикла, включающего интервалы T_a , $T_{сч}$ и $T_{пр}$, должна быть переменной, зависящей от высоты и скорости полета ЛА. Для обеспечения этой зависимости в бортовой части ТВ системы устанавливается решающее устройство, которое по сигналам датчиков высоты и скорости полета вырабатывает управляющее напряжение для регулирования частоты кадровых синхроимпульсов.

Увеличив время экспозиции T_a , можно существенно повысить чувствительность однокадровой системы. Однако при этом необходимо принять меры для компенсации сдвига изображения на фотокатоде, вызывающего скоростную размытость изображения. Чтобы исключить смазывание изображения при увеличении T_a , оптическая ось ТВ камеры в процессе экспонирования изобра-

жения местности поворачивается с угловой скоростью, равной угловой скорости перемещения ЛА относительно наблюдаемого объекта и обратной ей по направлению. Рассмотрим один из возможных способов компенсации сдвига [11] (рис. 5.5). Между объективом и фотокатодом передающей трубки устанавливается прозрачная плоскопараллельная пластина, которая поворачивается вокруг оси по мере движения ЛА. При соответствующем выборе толщины, коэффициента преломления и скорости

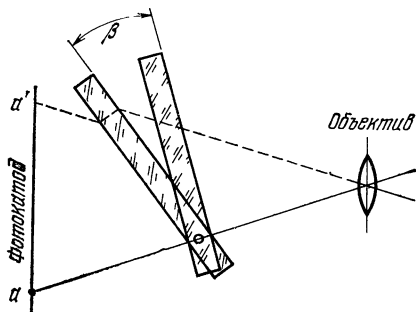


Рис. 5.5. Схема устройства компенсации искажения телевизионного изображения из-за относительного перемещения ЛА.

поворота пластины можно добиться того, что при пролете некоторого расстояния O_1O_3 (рис. 5.4) в течение времени экспонирования изображение участка местности будет оставаться практически неподвижным относительно фотокатода. Угловая скорость вращения пластины $\dot{\beta} = -v/H$, а угол поворота $\beta = \dot{\beta}T_э = vT_э/H$.

По окончании поворота пластина возвращается в исходное состояние во время считывания потенциального рельефа.

5.4. ОДНОСТРОЧНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Однострочные ТВ системы являются своеобразной разновидностью однокадровых ТВ систем. Однострочными называют такие системы, в которых развертка передаваемого изображения по крайней мере по одной из пространственных координат (обычно по направлению кадровой развертки) осуществляется за счет перемеще-

ния летательного аппарата с передающей камерой. Развертка же по другой пространственной координате (по строке) производится в ТВ системе одним из известных методов [35—37].

На космических аппаратах иногда используются ТВ системы, в которых развертка изображения поверхности планеты осуществляется по двум направлениям за счет движения КА. Развертка по направлению кадров производится за счет поступательного движения центра масс КА, а по строкам — за счет вращения КА вокруг оси, совпадающей с направлением движения центра массы.

Основным преимуществом однострочной системы по сравнению с системами двухкоординатного электронного (или механического) разложения является отсутствие скоростного сдвига изображения, который значительно снижает разрешающую способность многокадровых и однокадровых систем, а при больших скоростях и малых высотах полета исключает возможность их применения. Это преимущество обусловлено уменьшением времени экспонирования изображения на фотокатоде передающей трубки по сравнению с временем экспонирования в ТВ системах, работающих по принципу кадровой передачи изображения. В однострочной системе время экспонирования $T_{\text{э}}$ равно периоду строчной развертки, а в многокадровой — периоду кадровой развертки $T_{\text{к}}$ (в однострочных системах обычно $T_{\text{сч}} \approx T_{\text{к}}$). Для современных телевизионных систем, имеющих до 1000 строк разложения в кадре, время экспонирования уменьшается в тысячу раз. Следовательно, при одинаковой разрешающей способности для однострочной ТВ системы относительная скорость перемещения передающей камеры и просматриваемой местности может быть в тысячу раз большей, чем для систем с покадровой передачей изображений. Это значит, что для однострочной системы проблемы скоростного сдвига изображения в большинстве случаев не возникает. Вместе с тем сокращение времени экспонирования (накопления энергии) уменьшает чувствительность ТВ системы приблизительно во столько же раз, во сколько период строки $T_{\text{с}}$ меньше периода кадра $T_{\text{к}}$. По этой причине в однострочных ТВ системах используют более чувствительные передающие трубки. Важными преимуществами однострочной ТВ системы являются также значительное сужение ширины

спектра ТВ сигнала и значительное упрощение цепей развертки.

Рисунок 5.6 поясняет принцип действия однострочной ТВ системы. Ширина просматриваемой полосы местности (размер анализирующего элемента — апертуры на местности)

$$\delta = H \delta_{\Phi K} / f. \quad (5.8)$$

Размер L просматриваемой полосы (зона захвата на местности)

$$L = H l_{\Phi K} / f = 2H \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.9)$$

За время развертки одной строки T_c передается изображение узкой полосы местности шириной δ и длиной L . Смещение краев полосы

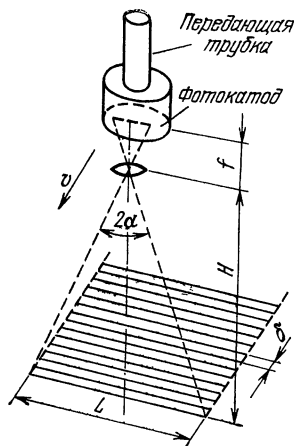


Рис. 5.6. К пояснению принципа работы передающей части однострочной ТВ системы.

Δ_{Π} относительно направления полета зависит от скорости полета v и периода строки T_c : $\Delta_{\Pi} = v T_c$. Если $\Delta_{\Pi} > \delta$; то на изображении, полученном на приемной стороне однострочной телевизионной системы, появятся пропуски местности и произойдет потеря информации об объекте. Если же $\Delta_{\Pi} < \delta$, то изображения соседних строк будут частично накладываться друг на друга, т. е. некоторая часть полосок местности будет передаваться дважды. Поэтому необходимо, чтобы для однострочной системы выполнялось условие согласования скорости полета с частотой строчной развертки:

$$\Delta_{\Pi} = T_c v = \delta. \quad (5.10)$$

Если ось оптической системы ТВ камеры совпадает с местной вертикалью, то в зависимости от параметров полета время построения кадра составляет

$$T_{\text{пк}} = 2H (\operatorname{tg} \alpha) (R + H) / R v, \quad (5.11)$$

где R — радиус кривизны поверхности наблюдаемой планеты.

Если полет происходит на небольшой высоте ($R \gg H$), то выражение (5.11) с учетом (5.9) становится аналогичным выражению (5.7).

Условие согласования (5.10) может быть выражено через период построения условного кадра:

$$T_{\text{ПК}} = Z T_c, \quad (5.12)$$

где Z — число строк разложения в условном кадре, выбранное из необходимой разрешающей способности ТВ системы. Подставив в (5.12) значение $T_{\text{ПК}}$ из (5.11), можно получить выражение для определения согласованной частоты строчной развертки:

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{Zv}{2H \operatorname{tg} \alpha} \frac{R}{R + H}. \quad (5.13)$$

При полете на малой высоте (для самолетов $R \gg H$) выражение (5.13) принимает вид

$$f_c = Zv / 2H \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.14)$$

С учетом выражений (5.8) и (5.10) можно записать

$$f_c = \frac{f}{\delta_{\text{фк}}} \frac{v}{H}. \quad (5.15)$$

Из выражений (5.13) — (5.15) следует, что при заданных разрешающей способности ТВ системы (Z и $\delta_{\text{фк}}$) и угле зрения (2α) значение согласованной частоты строчной развертки зависит от параметров полета (v , H) и радиуса кривизны поверхности планеты (R).

Если обеспечить выполнение зависимости (5.15) на борту ЛА, используя сигналы соответствующих датчиков (высоты полета и скорости) и счетно-решающее устройство, то частота строчных синхронизирующих сигналов, посылаемых с видеосигналами на приемную сторону, будет содержать информацию и о частоте следования условных кадров ($f_{\text{к}} = f_c / Z$). Если принять элементы разложения квадратными с размерами $\delta_{\text{фк}} \times \delta_{\text{фк}}$, то число их в строке составит $N_c = l_{\text{фк}} / \delta_{\text{фк}}$, а верхняя граничная частота спектра видеосигнала $f_{\text{во}}$ в однострочной системе будет равна $f_{\text{во}} = N_c / 2T_c$. Подставив в последнее выражение значения N_c и $T_c = 1/f_c$, из выражений (5.14) и (5.15) получим соотношение для определения $f_{\text{во}}$ в следующем виде:

$$f_{\text{во}} = Z^2 v / 4H \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.16)$$

Определим сжатие (коэффициент κ) ширины спектра видеосигнала при переходе от многокадровой системы к эквивалентной по разрешающей способности на местности однострочной системе, имеющей одинаковое число строк Z в условном кадре и объектив с равным углом поля зрения 2α . Для этого поделим значение верхней граничной частоты спектра сигнала в многокадровой системе, равное $f_{\text{вм}} = 0,5Z^2_{\text{к}}/T_{\text{к}}$, на значение $f_{\text{во}}$ из выражения (5.16). Тогда получим

$$\kappa = f_{\text{вм}}/f_{\text{во}} = 2H (\text{tg } \alpha) / T_{\text{к}} v, \quad (5.17)$$

где $T_{\text{к}}$ — длительность периода развертки в многокадровой системе. Если учесть выражение (5.9), то соотношение (5.17) можно переписать в следующем виде: $\kappa = L/\Delta L = T_{\text{пк}}/T_{\text{к}}$, где $\Delta L = T_{\text{к}} v$ — путь, пройденный ЛА за время развертки кадра в многокадровой системе.

На приемной стороне ТВ изображение в системе однострочной развертки можно получить на экране кинескопа с послесвечением, на котором будут поочередно фиксироваться изображения отдельных строк, смещенных друг относительно друга благодаря кадровой развертке. Однако чаще формирование принимаемого изображения на приемной стороне в однострочной системе производится на фотопленке. При этом ТВ изображение отдельных строк с экрана кинескопа с помощью объектива проецируется на фотопленку, движущуюся в направлении, перпендикулярном строчной развертке (рис. 5.7).

Для неискаженного воспроизведения изображения необходимо обеспечить определенное соответствие между частотой строчной развертки и скоростью движения фотопленки. Ширина строки на фотопленке

$$\delta_{\text{пл}} = \delta_{\text{экp}} f / l, \quad (5.18)$$

где $\delta_{\text{экp}}$ — ширина строки на экране кинескопа; l — расстояние от экрана до объектива; f — фокусное расстояние объектива. Плотная укладка строк без пропусков и перекрытия будет иметь место при условии, что за период развертки одной строки $T_{\text{с}}$ на экране кинескопа фотопленка сместится ровно на ширину проекции строки $\delta_{\text{фк}}$. Пренебрегая временем обратного хода строчной развертки, можно записать $\delta_{\text{пл}} = v_{\text{пл}} T_{\text{с}}$, где $v_{\text{пл}}$ — скорость движения фотопленки. Отсюда с учетом (5.18) найдем $v_{\text{пл}} = f \delta_{\text{экp}} / \delta_{\text{фк}} / l$.

Для увеличения зоны захвата на местности при сохранении заданной разрешающей способности, которая удовлетворяется при передаче одной узкой полосы местности (или для повышения разрешающей способности при сохранении заданной зоны захвата на местности), в однострочных системах применяют способ составной строки [11]. В этом случае в передающей камере уста-

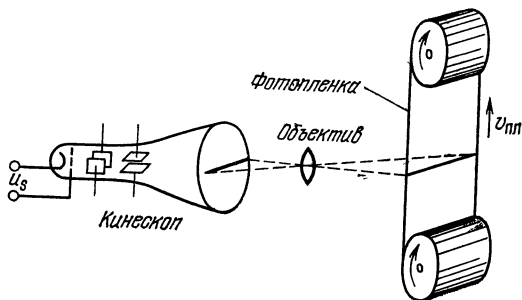


Рис. 5.7. К пояснению принципа работы приемной части однострочной ТВ системы.

навливаются три объектива, с помощью которых на три независимые строки фотокатода передающей трубки проецируется изображение трех соседних участков одной и той же «строки» на местности (рис. 5.8,а). Электронный луч трубки, отклоняемый системой развертки, последовательно перемещается по строкам 1—3, что соответствует анализу изображения удлинённой втрое «строкой» на местности. На приемной стороне развертка изображения происходит последовательно на трех независимых строках кинескопа аналогично развертке на передающей стороне (рис. 5.8,б). С помощью объективов изображения этих строк проецируются на фотопленку в виде одной составной строки.

Наиболее просто способ составной строки можно реализовать при использовании волоконно-оптического преобразователя, позволяющего свести совокупность некоторого количества строк разложения в одну строку (рис. 5.8,а). Использование подобного преобразователя позволяет существенно повысить разрешающую способность ТВ системы (или при заданной разрешающей способности увеличить угол поля зрения передающей ТВ камеры). Например, при десяти строках разложения

и разрешающей способности 500 элементов на строку единая линия десятикратной длины будет содержать 5000 элементов, что превышает разрешающую способность (по строкам), достижимую при использовании существующих образцов передающих трубок. Как показали эксперименты, в единую строку удастся сводить до 40 строк разложения. Это дает 20 000 разрешаемых эле-

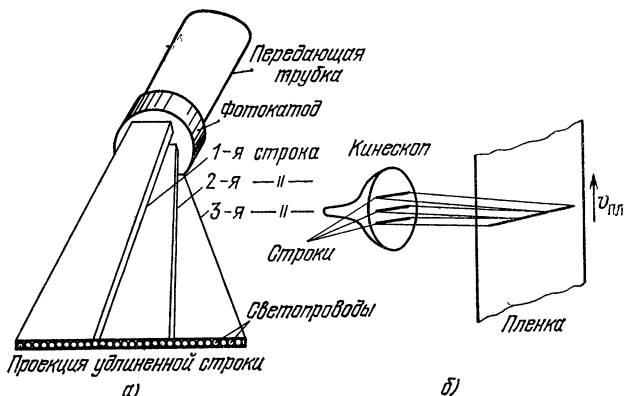


Рис. 5.8. К пояснению способа увеличения зоны захвата и сохранения разрешающей способности на местности в однострочной ТВ системе.

ментов, что намного превышает возможности любой современной ТВ аппаратуры, не использующей способ составной строки. (Принцип работы устройств на основе волоконной оптики поясняется в § 7.2.)

На приемной станции должно использоваться воспроизводящее устройство, обеспечивающее представление передаваемой видеоинформации со столь же высокой разрешающей способностью, с какой она была получена на входе ТВ системы. Видеоинформация сначала выдается в виде многострочного изображения на экране кинескопа (рис. 5.8,б) затем с помощью волоконно-оптического преобразователя (идентичного входному преобразователю) все строки изображения сводятся в одну строку с большим числом элементов разложения. Воспроизведение и запись изображения, соответствующего наблюдаемой картине, осуществляется способом контактной печати на движущейся фотопленке.

Естественно, что использование многострочного разложения вместо однострочного ведет к расширению полосы частот ТВ сигнала. Это расширение кратно числу строк, из которых синтезируется составная строка.

В ТВ системах с составной строкой скорость протяжки фотопленки на приемной стороне выбирается так, чтобы за период развертки составной строки $T_{\text{сост}} = nT_c$ фотопленка смещалась на расстояние, равное ширине составной строки, спроецированной на фотопленку с экрана кинескопа.

Функциональная схема однострочной ТВ системы представлена на рис. 5.9. Все основные блоки передающей станции по своему значению аналогичны блокам многокадровой ТВ системы. Дополнительной функцией станции является передача телеметрической информации.

В однострочных системах, помимо сигналов изображения, синхронизирующих и гасящих импульсов, необходимо передавать данные о скорости v и высоте H полета (для определения скорости протяжки фотопленки на приемной стороне), о дальности r и азимуте γ ЛА относительно наземной станции (для привязки изображения к местности), о курсе φ_c ЛА (для ориентации изображения по странам света) и т. п. Информация об этих величинах от соответствующих датчиков (высотомера, датчиков скорости и компаса, системы ближней навигации) обрабатывается в блоке телеметрии и поступает в линейный усилитель, где включается в состав полного ТВ сигнала.

Приемная станция (рис. 5.9,б) так же, как и передающая, существенно усложняется в результате введения устройства выделения телеметрической информации и формирования соответствующих отметок, а также автоматической системы фотозаписи изображения. Полный ТВ сигнал с выхода приемника подается на кинескоп в блок выделения синхроимпульсов и в блок телеметрии. Синхроимпульсы, выделенные из состава полного ТВ сигнала, используются для синхронизации развертки приемных трубок. Телеметрическая информация дешифрируется и разделяется по отдельным информационным каналам. Сигналы о высоте H и скорости v полета самолета используются в системе автоматического управления скоростью протяжки фотопленки в фотоустановке. Сигналы о дальности r , азимуте γ и курсе самолета φ_c после преобразования подаются соответственно на ин-

дикаторы азимута и дальности системы навигации и указатель курса.

В фотоустановке производится фотографирование однострочного изображения с экрана кинескопа на движущуюся фотопленку и ее скоростная химическая обработка (длящаяся несколько секунд). На фотоизобра-

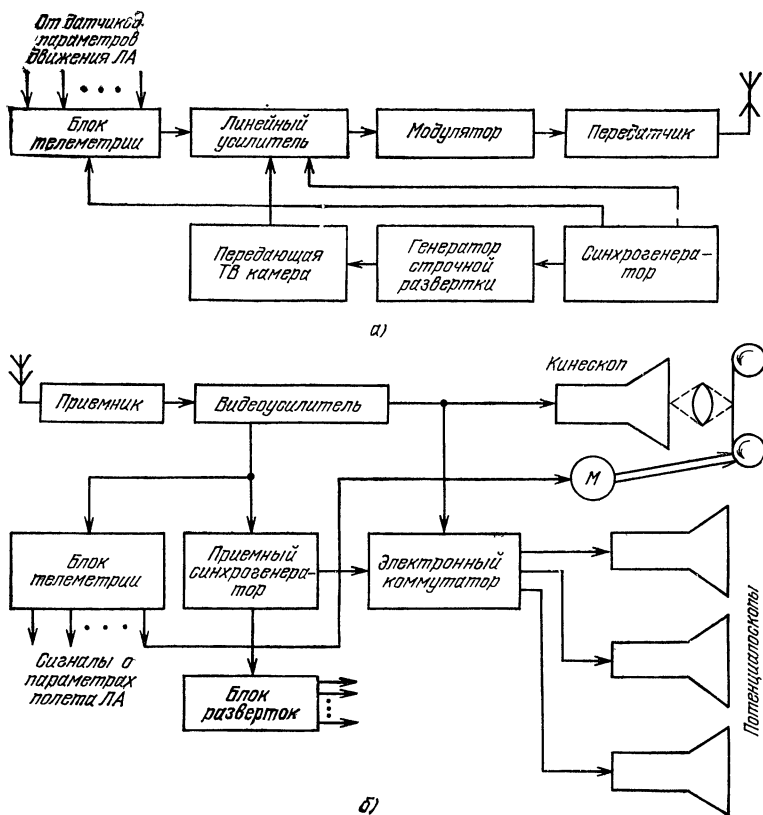


Рис. 5.9. Функциональная схема однострочной ТВ системы:
а — передающая часть, б — приемная часть

жение оптическим путем накладывается дополнительная информация: номер условного кадра; координаты центра изображения в полярной системе координат относительно наземной станции системы навигации (дальность r , азимут γ); масштаб изображения (поступающий из решающего блока и пропорциональный величине

H/f), ориентация изображения по странам света; текущее время съемки.

Иногда однострочные системы выполняются по упрощенному варианту без передачи с борта данных о режиме полета ЛА носителя. В этом случае ЛА должен строго выдерживать скорость, высоту и курс, которые перед вылетом вводятся в счетно-решающее устройство фотоустановки.

В однострочной ТВ системе целесообразно использовать устройство оперативной индикации (УОИ), которое обеспечивает возможность непосредственного наблюдения ТВ изображения. В приведенном на схеме (рис. 5.9) варианте УОИ используются три видеоконтрольных устройства (ВКУ), выполненных на трубках с памятью (потенциалоскопах). Кроме того, УОИ содержит блок разверток, коммутатор и блок стирания (на рис. 5.9 не показан). Блок кадровой развертки работает с частотой, в Z раз меньшей, чем частота строчной развертки. Здесь Z — число строк в условном кадре, выбираемое с учетом масштаба ТВ изображения.

Работает такое УОИ следующим образом. На одном из экранов ВКУ телевизионное изображение синтезируется путем поочередной записи строчных изображений, смещенных друг относительно друга с помощью кадровой развертки. На втором ВКУ просматривается ранее записанное изображение, а на третьем производится стирание просмотренного изображения, и трубка готовится к записи следующего кадра. В очередной период развертки условного кадра ТВ изображение просматривается на экране первого ВКУ, просмотренное изображение стирается с экрана второго ВКУ, а на экране третьего ВКУ записываются поступающие видеосигналы. Далее изображение просматривается на третьем ВКУ, записывается информация на втором и стирается с первого. Затем начинается новый трехкадровый цикл и т. д. Поочередная запись и стирание ТВ изображения производятся с помощью коммутатора.

Описанное УОИ малоприспособно для установки на борту ЛА для контроля качества передаваемой ТВ информации. Наблюдение за отдельными кадрами на экранах различных ВКУ крайне неудобно. Кроме того, просматриваемый сюжет ТВ изображения соответствует изображению местности, над которой уже пролетел ЛА, т. е. наблюдение ведется с запаздыванием на время кадра. В связи с этим наиболее совершенным является

УОИ, в котором реализован метод «скользящего растра».

Сущность метода скользящего растра состоит в том, что ТВ информация в виде сигналов отдельных строк предварительно регистрируется в запоминающем устройстве, которым может быть электронно-лучевая трубка с памятью или цифровое запоминающее устройство на приборе с зарядовой связью. Записанная определенным способом построчная информация считывается также в соответствующем порядке. Полученные при считывании видеосигналы отдельных строк подаются на ВКУ в таком порядке, что на его экране оператор наблюдает ТВ изображение передаваемого сюжета местности перемещающимся по экрану ВКУ сверху вниз со скоростью, пропорциональной скорости движения ЛА, т. е. в реальном масштабе времени, без запаздывания. Важным элементом УОИ со «скользящим растром» является блок логики, определяющий порядок считывания, записи и стирания изображения отдельных строк.

В отличие от многокадровой ТВ системы линейное перемещение камеры однострочной ТВ системы не сопровождается искажениями ТВ изображения на приемной стороне. Угловые же перемещения камеры, вызываемые угловыми колебаниями ЛА вокруг своих осей, приводят к специфическим искажениям ТВ изображения и в однострочных системах. Так, при колебаниях камеры вокруг продольной оси ЛА растр ТВ системы на местности, имеющей в идеальном случае вид ровной полосы шириной L , искажается. При регистрации строчных ТВ сигналов происходит «спрямление» просмотренной полосы местности, которое приводит к сдвигу сюжетно-связанных точек изображения вдоль полосы, т. е. к смещению отдельных точек относительно друг друга. Это вызывает геометрические искажения очертаний крупных объектов и изменение взаимного местоположения мелких деталей сюжета. При колебаниях камеры вокруг поперечной оси ЛА возможна повторная запись ранее просмотренных в данном кадре строк или возникновение нелинейных искажений в ТВ изображении, проявляемых в местных изменениях масштаба изображения вдоль просматриваемой полосы. Для уменьшения указанных искажений бортовая ТВ камера однострочной системы устанавливается на гиросtabilизированной платформе.

5.5. СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Принцип построения ТВ систем для передачи цветного изображения основываются на трехкомпонентной теории световосприятия, которая показывает, что при смешении в различных пропорциях трех основных цветов (красного, зеленого и синего) можно получить ощущение практически любого из цветов, существующих в природе. Благодаря такой особенности зрения для передачи многоцветного изображения практически достаточно передать информацию о трех основных цветах.

Другой особенностью зрения является то, что различимость изменения цвета мелких деталей значительно меньше различимости изменения их яркости. Благодаря этому оказывается возможным сократить объем информации о цветах по сравнению с объемом информации о яркости.

Из многочисленных систем цветного телевидения практический интерес представляют две системы: последовательная (покадровая) и одновременная. В последовательной системе кадры изображения, полученные через светофильтры трех основных цветов, передаются (и воспроизводятся) поочередно. При достаточно большой частоте смены кадров глаз не замечает мелькания цветов и изображение воспринимается как многоцветное. В одновременной системе сигналы трех одноцветных изображений передаются по каналу связи одновременно. При этом три одноцветных изображения, полученных на приемном конце тем или иным способом, накладываются друг на друга.

Последовательные системы при всей своей простоте и высоком качестве изображения в ТВ вещании применения не нашли и используются главным образом в установках специального телевидения. Им свойственны следующие недостатки: ширина спектра передаваемого сигнала в три раза больше, чем в системах черно-белого телевидения; утраиваются частоты разверток; невозможность совмещения с системами черно-белого телевидения; необходимость применять сменяющиеся светофильтры перед экраном кинескопа.

Одновременная система цветного телевидения получила в настоящее время наибольшее распространение. Важной особенностью этой системы является возможность передачи всей информации, необходимой для цветного телевидения, в той же полосе частот, которая используется в настоящее время для черно-белых ТВ передач. Другой особенностью этой системы является совместимость с системой черно-белого телевидения.

В одновременных системах цветного телевидения по каналу связи передается обычный ТВ сигнал, несущий информацию о ярко-

сти (яркостный сигнал). Одновременно на специальной поднесущей частоте $F_{\text{подн}}$ передается информация о цветности. Введение в ТВ сигнал дополнительной информации без расширения диапазона частот передатчика оказалось возможным благодаря тому, что обычный ТВ сигнал имеет не сплошной спектр в занимаемой полосе частот, а является дискретным. При этом оказалось возможным занять промежуточные участки составляющими сигнала цветной

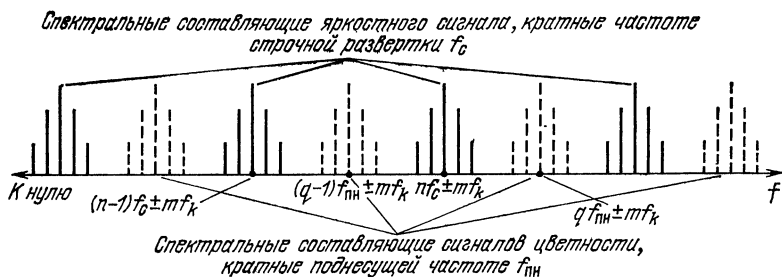


Рис. 5.10. К пояснению размещения в спектре яркостного видеосигнала спектра сигнала цветности.

информации. Для этого поднесущая частота, модулируемая сигналами цветности, выбирается нечетной, кратной половине частоты строчной развертки. В связи с тем, что глаз не различает изменения цвета мелких деталей и четкость изображения в основном определяется яркостным сигналом, полоса частот, занимаемая цветовой информацией, может быть довольно узкой по сравнению с полосой частот яркостного сигнала.

На рис. 5.10 схематически показано размещение спектральных составляющих видеосигнала в полосе частот при передаче неподвижного цветного изображения крупного масштаба. Буквами n , m , q обозначены гармоники соответственно строчной, кадровой и поднесущей частот. Сигнал поднесущей частоты модулирует несущую частоту изображения и, в свою очередь, модулируется сам сигналом, который несет информацию о красном и синем цветах. Для получения информации о зеленом цвете специального сигнала не требуется, поскольку яркостный сигнал содержит сведения об общей яркости (т. е. о яркости всех трех цветов). Сигнал зеленого цвета может быть получен при помощи специальной пересчетной схемы.

Функциональная схема передающей части системы цветного телевидения приведена на рис. 5.11. В ней три сигнала, характеризующих различные цвета изображения (красный — к, зеленый — з,

синий — с), с выхода передающей камеры подаются на смеситель, где образуется яркостный сигнал изображения интенсивности m . Таким образом, яркостный сигнал оказывается когерентным с сигналами цветности. Красный и синий сигналы, кроме того, пропускаются через ограничительные (по полосе) фильтры и подаются в смесительные каскады, где из них вычисляется яркостный сигнал. В результате смещения образуются два цветоразностных сигнала

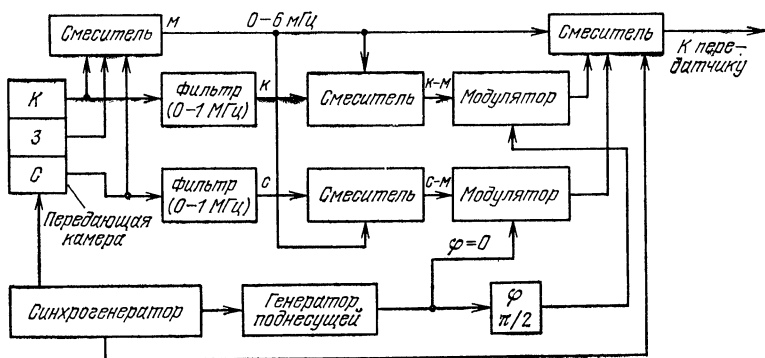


Рис. 5.11. Функциональные схемы передающей части системы цветного телевидения.

к-м и с-м. В одном из возможных вариантов построения систем цветного телевидения для передачи двух сигналов разной цветности на одной поднесущей частоте используется метод квадратурной модуляции, при котором колебания поднесущей частоты подводятся к модуляторам со сдвигом фаз 90° (рис. 5.12). Выходные сигналы модуляторов и яркостный сигнал суммируются в смесителе и поступают к передатчику. Величина и фаза результирующего сигнала цветности определяются соотношением интенсивности сигналов с-м и к-м.

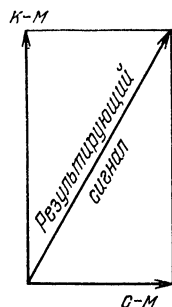


Рис. 5.12. К объяснению квадратурной модуляции.

Функциональная схема ТВ приемника цветных изображений показана на рис. 5.13. С выхода приемника, который по схеме и конструкции не отличается от приемника черно-белого изображения, видеосигнал после усиления поступает на управляющие электроды трехцветного (трехлучевого) кинескопа и используется для воспроизведения соответствующего распределения яркостей мелких деталей изображения.

Сигналы, несущие информацию о цветности, выделяются полосовым усилителем, с выхода которого они поступают на демодуляторы. Туда же подаются сигналы поднесущей частоты, вырабатываемые генератором поднесущей частоты и сдвинутые на 90° . С выхода демодуляторов сигналы красного (к-м) и синего (с-м) цветов подводятся к катодам соответствующих электронных прожекторов кинескопа. В смесителе сигналы к-м и с-м складываются

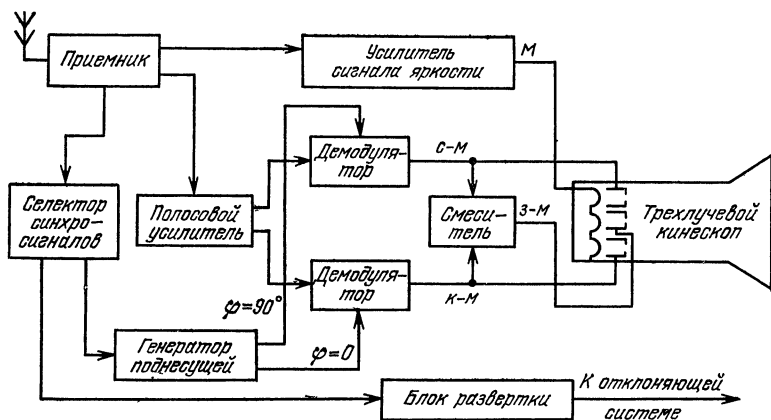


Рис. 5.13. Пример построения функциональной схемы ТВ приемника цветных изображений.

ся, в результате образуется сигнал зеленого цвета (з-м), который подается на катод третьего прожектора.

При приеме сигналы цветности к-м, з-м, с-м, взаимодействуя с яркостным сигналом, подаваемым на управляющие электроды, воспроизводят цветное изображение на экране специального трехцветного кинескопа. Устройство такого кинескопа и его работа поясняется рис. 5.14. Экран кинескопа имеет мозаичную структуру светящегося слоя (люминофора). Последний состоит из нанесенных в строгом порядке точек из трех различных по своему составу люминофоров, каждый из которых под воздействием электронной бомбардировки светится соответственно красным, зеленым и синим светом (рис. 5.14,б). Между экраном и электронными прожекторами находится металлическая пластина (маска) с отверстиями, число которых вдвое меньше числа светящихся точек на экране.

Группы точек люминофора, отверстия в маске и три электронных прожектора расположены так, что каждый из трех лучей после прохождения через любое из отверстий может попасть на точки, светящиеся только определенным цветом. Таким образом, на одном

и том же экране каждый луч формирует изображение только в одном цвете и три одноцветных изображения оказываются как бы вкрапленными одно в другое. Так как светящиеся точки очень малы (около 0,25 мм), а число их очень велико, точечная структура раstra оказывается почти незаметной. На горловине трубки, за отклоняющей системой, для сведения лучей в одну точку устанавливаются три электромагнита, поля которых воздействуют на соот-

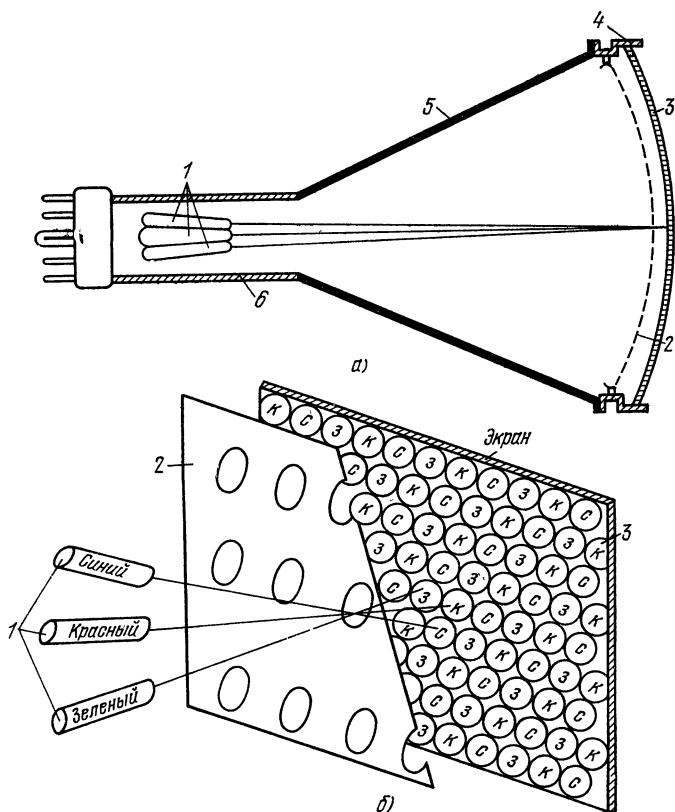


Рис. 5.14. Мозаичный цветной кинескоп:

1 — электронные прожекторы; 2 — маска с отверстиями; 3 — экран с люминофором трех цветов; 4 — металлический обод; 5 — металлический кожух; 6 — стеклянная горловина.

ветствующие лучи. Регулировкой постоянного тока, протекающего через катушки электромагнитов, производится статическое сведение лучей в центр экрана, а введением в эти катушки специально сфор-

мированных сигналов параболической формы строчной и кадровой частот достигается динамическая сходимость лучей по всему полю экрана.

Используются и другие типы оконечных устройств, например проекционная система с тремя кинескопами, имеющими различный цвет свечения люминофора. Основной трудностью при выполнении такой системы является получение точного совмещения трех изображений на общем экране.

Принцип действия системы SECAM. Использование квадратурной модуляции в системе с целью одновременной передачи двух цветоразностных сигналов к-м и с-м обуславливает ряд существенных недостатков, свойственных этой системе цветного телевидения. Так, например, изменение фазы результирующего сигнала поднесущей частоты при прохождении им сложных цепей ТВ тракта сопровождается искажением цветности воспроизводимого на экране телевизора изображения. Указанное искажение фазы сигналов возникает из-за действия различного рода дестабилизирующих факторов, всегда появляющихся при работе ТВ системы. Амплитудные искажения сигналов в тракте передачи приводят к неправильному воспроизведению насыщенности цветов. Кроме того, как уже отмечалось, квадратурный способ модуляции требует синхронного детектирования, что усложняет всю ТВ систему, в том числе и ТВ приемник.

В системе цветного телевидения SECAM цветоразностные сигналы к-м и с-м передаются не одновременно, как это делается в некоторых системах, а по очереди через строку, т. е. используется частотно-временной способ уплотнения ТВ канала, кратко описанный в § 4.5. В этом случае поднесущие колебания частоты $f'_{\text{пн}}$ в течение передачи видеосигналов одной строки модулируются одним из цветоразностных сигналов этой же строки, а в течение передачи видеосигналов последующей строки — другим цветоразностным сигналом последующей строки. Затем цикл повторяется.

При обработке принятых сигналов для образования и выделения третьего цветоразностного сигнала з-м в системе SECAM необходимо иметь одновременно два цветоразностных сигнала к-м и с-м. С этой целью в ТВ приемнике системы SECAM осуществляется запоминание цветоразностного сигнала предыдущей строки и его воспроизведение одновременно с приемом цветоразностного сигнала последующей строки.

Формирование сигналов цветности на выходе ТВ приемника в процессе строчной развертки происходит следующим образом. Принимаемый в течение развертываемой строки один из цветоразностных сигналов, например к-м, подается на управляющий электрод электронно-лучевой пушки, создающей красный цвет, и в запоминающее устройство (линию задержки), восстанавливающее

закон изменения этого сигнала в первоначальном виде спустя 64 мкс (длительность одной строки). В течение следующей строки принимается другой цветоразностный сигнал с-м. Он подается на управляющий электрод электронно-лучевой пушки, создающей синий цвет, и в то же запоминающее устройство. Таким образом, всегда при приеме двух цветоразностных сигналов в течение времени развертки строки на выходе запоминающего устройства одновременно выделяется другой цветоразностный сигнал, принятый во время развертки предыдущей строки. Этим достигается возможность формирования и выделения третьего цветоразностного сигнала з-м.

Поскольку сигналы цветности, подаваемые на управляющие электроды электронно-лучевых прожекторов кинескопа, формируются из двух сигналов, принятых порознь в течение двух смежных строк, вертикальная четкость цветного изображения уменьшается в два раза. Однако это не приводит к ухудшению качества цветного изображения, так как требование к его цветовой четкости из-за особенностей зрения значительно ниже требования к яркостной четкости.

Передача цветоразностных сигналов в системе SECAM осуществляется путем частотной модуляции цветной поднесущей ($f_{ц\text{ пн}} = 4\,429\,687,5$ Гц). При частотной модуляции фазовые искажения сигналов в тракте передачи не вызывают искажения цветности изображения.

Функциональная схема системы SECAM. На рис. 5.15 приведены схемы передающей и приемной частей системы SECAM. На этих схемах показаны только те элементы преобразования сигналов, которые необходимы для пояснения принципа действия системы. На передающей стороне сигналы трех цветов к, з и с с выхода передающей камеры подаются на так называемую матрицу — устройство, в котором происходит образование яркостного сигнала (в соответствии с выражением $m = 0,593 + 0,30к + 0,11с$) и двух цветоразностных сигналов к-м и с-м.

Цветоразностные сигналы подводятся к электронному коммутатору, который пропускает их далее по очереди через строку. В течение развертки одной строки проходит, например, сигнал к-м, затем с-м, потом снова к-м и т. д. Управляется коммутатор сигналами строчной частоты, поступающими из синхрогенератора. С выхода коммутатора цветоразностные сигналы поступают на частотный модулятор, где с их помощью производится модуляция цветной поднесущей по частоте. Промодулированные колебания поднесущей поступают в смеситель 2. Для передачи двух цветоразностных сигналов часто используют не одну, а две поднесущие частоты.

Синхросигналы в специальном каскаде (смеситель 1) смешиваются с яркостным сигналом, при этом по существу образуется

От передающей



a — передающая часть; *б* — приемная часть.

162

Цветоразностные сигналы (сигналы цветовой поднесущей), промодулированные сигналами к-м и с-м, с выхода соответствующего фильтра подводятся по двум каналам к электронному коммутатору. В один из каналов включена магнитострикционная линия задержки, задерживающая сигналы в этом канале на время развертки одной строки.

На вход электронного коммутатора подаются одновременно два цветоразностных сигнала: один принимаемый в течение развертки строки, а другой принятый в течение предыдущей строки. При синхронном переключении приемного коммутатора на передающей стороне осуществляется разделение двух цветоразностных сигналов к-м и с-м (разделение сигналов цветной поднесущей, промодулированной сигналами к-м и с-м), с выходов коммутатора сигналы поступают на частотные детекторы, осуществляющие выделение цветоразностных сигналов к-м и с-м. Далее эти сигналы подаются соответственно на «красный» и «синий» управляющие электроды электронно-лучевых пушек кинескопа. Кроме того, сигналы к-м и с-м подводятся к специальной матрице, в которой формируется третий цветоразностный сигнал з-м, поступающий на «зеленый» электрод кинескопа.

Таким образом, к управляющим электродам каждой из трех электронно-лучевых пушек кинескопа подводится соответствующий цветоразностный сигнал, а к катодам пушек — яркостный сигнал. В цепи катод — управляющий электрод происходит сложение сигналов. В результате формируются управляющие сигналы каждой из пушек: $M + (K - M) = K$, $M + (C - M) = C$, $M + (Z - M) = Z$, необходимые для получения цветного изображения на экране кинескопа.

5.6. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Основные характеристики ТВ систем летательных аппаратов условно можно разделить на две группы: общие (технические) и специальные. К первой группе обычно относят разрешающую способность системы, ее световую чувствительность, световую характеристику, число передаваемых градаций яркости и др. Общие характеристики ТВ системы летательного аппарата определяются в основном совокупностью свойств входящих в нее элементов и особенностями построения системы. Некоторые из общих характеристик зависят также от параметров полета (высоты и скорости) летательного аппарата, на котором установлена ТВ система или ее передающая часть.

Специальными характеристиками ТВ систем летательных аппаратов считают зону захвата на местности, масштаб изображения, время и дальность наблюдения (визирования) объектов, дальность передачи ТВ сигналов и др. В зависимости от решаемой ТВ системой задачи для нее могут быть принципиально важными те или другие специальные характеристики.

Специальные характеристики в основном определяются параметрами полета ЛА. Кроме того, на них влияют свойства среды, разделяющей сюжет передачи и передающую часть ТВ системы, а также свойства элементов передающей части (объектива и первичного преобразователя).

Существенное влияние на многие характеристики системы оказывают собственные шумы в открытых системах — внешние помехи, которые, смешиваясь с видеосигналом, искажают его и вызывают тем самым искажение воспроизводимого ТВ изображения.

При проектировании ТВ системы летательного аппарата стремятся выбрать и реализовать ее характеристики так, чтобы с учетом условий работы системы обеспечить в конечном итоге необходимое соответствие между передаваемым оптическим изображением объекта и его ТВ изображением, синтезируемым в приемной части системы. Рассмотрим кратко общие характеристики ТВ систем летательных аппаратов.

Разрешающая способность ТВ системы и обнаружение объектов. Под разрешающей способностью ТВ системы понимается ее способность передавать и воспроизводить на приемной стороне с предельной или заданной различимостью изображение мелких деталей. Оцениваться разрешающая способность может либо максимальным числом ν чередующихся тонких черных и белых линий равной ширины, укладываемых на отрезке, равном ширине кадра, и наблюдаемых на экране с заданной различимостью, либо наименьшим углом φ_0 , под которым еще различимы с помощью ТВ системы две близко расположенные точки изображения. Величина, обратная φ_0 , называется разрешающей силой s телевизионной системы.

Связь между ν и s определяется выражением $\nu = s \operatorname{tg} \alpha$, где α — половина угла зрения ТВ камеры. Из последнего соотношения следует, что при заданной разрешающей способности ν большее значение s может быть получено при малом угле поля зрения и наоборот.

Часто пользуются понятием разрешающей способности ТВ системы на местности, понимая под ней минимальное расстояние A_0 между двумя точками (границами объекта) в районе объекта наблюдения, при котором они еще различаются раздельно. Разрешающая способность на местности ухудшается из-за сферичности поверхности земли. В этом случае размер разрешаемого элемента A_0

изменяется в зависимости от удаления его от центра обзора (рис. 5.16) по закону [3]

$$A_0 = H \sec^2 \alpha \frac{\sin(2\alpha/N_K)}{\cos(2\alpha/N_K) - \operatorname{tg} \alpha \sin(2\alpha/Z)},$$

где N_K — число элементов разложения изображения в кадре. Из анализа этого выражения следует, что A_0 увеличивается (разрешающая способность на местности уменьшается) с увеличением угла α ; т. е. разрешающая способность резко падает на краях изображения.

Разрешающая способность также уменьшается из-за смещения изображения за время построения кадра. Движение ЛА относительно наблюдаемого объекта является сложным. Помимо поступательного движения ЛА, особенно КА, несмотря на наличие системы стабилизации, имеют место и угловые колебательные движения около собственного центра массы. При жесткой установке ТВ камеры на летательном аппарате условием отсутствия смещения изображения будет выполнение неравенства

$$\omega_{ЛВ} \leq \varphi_0/T_э, \quad (5.19)$$

где $\omega_{ЛВ}$ — угловая скорость линии визирования телевизионная камера — наблюдаемый объект; $T_э$ — время экспозиции кадра. Угловая скорость $\omega_{ЛВ}$ содержит две составляющие: обусловленную относительным поступательным перемещением ЛА и объекта ω и обусловленную колебательным (вращательным) движением ЛА вокруг своего центра массы $\omega_{вр}$. Составляющая $\omega \approx (v - v_{об})/H$, где v и $v_{об}$ — поступательные скорости соответственно ЛА и объекта. Значение $\omega_{вр}$ определяется системой стабилизации ЛА. С учетом составляющих ω и $\omega_{вр}$ выражение (5.19) запишем в виде

$$(v - v_{об})/H + \omega_{вр} \leq \varphi_0/T_э. \quad (5.20)$$

С учетом (5.20) может быть выбрано время экспозиции кадра

$$T_э \leq \frac{\varphi_0}{(v - v_{об})/H + \omega_{вр}},$$

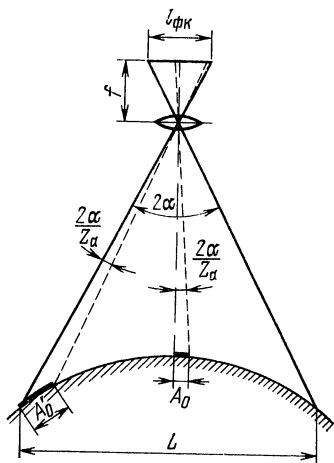


Рис. 5.16. К пояснению разрешающей способности ТВ системы.

При больших значениях T_2 для сохранения требуемой разрешающей способности необходима автоматическая или ручная (при наличии экипажа на борту ЛА) компенсации смещения изображения путем поворота угла зрения ТВ камеры в сторону, противоположную смещению. При этом ω уменьшается и при хорошей компенсации $\omega = 0$.

Выход разрешающей способности системы зависит от ее назначения. Наибольшую разрешающую способность на местности — около 5 м (при высоте полета $H = 300$ км) имеют системы обзора земной поверхности с КА. Разрешающую способность на местности современных телевизионных систем техники можно довести до 2,5—3 м. Возникающие при этом трудности обеспечения пропускной способности каналов связи могут быть преодолены с помощью специальной системы, позволяющей производить быстрый «грубый» обзор полученных на борту изображений и более детальный медленный повторный просмотр тех изображений, важность которых выявилась в результате грубого обзора. Разрешающая способность других ТВ систем значительно уступает разрешающей способности систем исследования земной поверхности. На дальности передачи изображений около 200 млн. км при связи с КА получена разрешающая способность системы около 2 км.

Для повышения разрешающей способности ТВ систем обзора земной поверхности вполне возможно использовать на космических аппаратах разрабатываемые для самолетов однострочные ТВ системы с преобразователями на волоконной оптике.

В идеальном случае можно предположить, что объект с линейным размером A_0 на ТВ изображении будет обнаружен, если его проекция на фотокатод окажется соизмеримой с одним элементом разложения (шириной одной строки $\delta_{\Phi K}$). В этом случае наименьший угол, под которым наблюдается объект, составит $\Phi_{об} = l_{\Phi K} / Z_a$, где Z_a — активное число строк в кадре (число строк за время прямого хода кадровой развертки).

Активное число строк в вертикальном и горизонтальном направлениях определяется через число строк в кадре:

$$Z_{\text{верт}} = k_K Z, \quad Z_{\Gamma} = k_{\Phi} Z_{\text{верт}},$$

где $k_K = (T_K - T_{K0}) / T_K$ — коэффициент, учитывающий обратный ход развертки по кадру; T_{K0} — время обратного хода развертки по кадру.

Практически установлено, что объект на ТВ изображении может быть обнаружен лишь в том случае, когда его проекция на фотокатод перекрывает несколько (три-четыре) строк. Поэтому минимальный угол наблюдения при обнаружении объектов на ТВ изображении составляет

$$\Phi_{обн} \approx (3-4) \Phi_{\Phi K}. \quad (5.21)$$

Для опознавания объекта сложной конфигурации должно выполняться эмпирическое соотношение

$$\varphi_{оп} \approx (5-15) \varphi_{фк}. \quad (5.22)$$

По существу задачи обнаружения и опознавания сводятся к одной — обнаружению самого объекта или его характерной детали на окружающем фоне. Поэтому выражения (5.21) и (5.22) могут быть объединены в одно: $\varphi = k_{\varphi} \varphi_{фк}$, где k_{φ} — коэффициент, зависящий от условий решаемой задачи. Величину φ можно связать с параметрами системы следующим соотношением:

$$\varphi = 2\alpha \Delta Z / Z_a, \quad (5.23)$$

где ΔZ — число строк, перекрываемых проекцией наблюдаемого изображения на фоточувствительной поверхности передающей трубки при условии обнаружения объекта (его детали).

Разрешающая способность ТВ системы при наблюдении объекта на местности зависит от многих факторов и, в частности, от принятого стандарта разложения, относительной скорости перемещения ЛА и объекта наблюдения, высоты полета ЛА, времени экспозиции (формирования изображения кадра в бортовой ТВ аппаратуре ЛА), световых характеристик оптической системы и ТВ трубки, полосы пропускания видеоусилителя и канала связи, а также характеристик устройства воспроизведения ТВ изображения.

Наблюдаемый объект будет обнаружен или опознан на ТВ изображении, если его проекция на рабочую поверхность фоточувствительного слоя трубки при достаточной световой контрастности перекроет необходимое число строк ΔZ , а параметры разложения изображения будут согласованы с параметрами радиолинии и устройства воспроизведения телевизионного ТВ изображения. Выбор необходимого значения ΔZ зависит от условий поставленной задачи и производится на основе экспериментальных данных. Так, например, при обнаружении объекта необходимо, чтобы $\Delta Z = 3-4$, а при опознавании объекта $\Delta Z = 10-20$. Если известны число активных строк в кадре Z_a , линейный размер рабочей поверхности мишени передающей трубки $l_{фк}$, угол поля зрения оптической системы 2α , высота полета H ЛА и необходимое число строк ΔZ , перекрываемых проекцией изображения, то может быть получено выражение для разрешающей способности ТВ системы на местности

$$A_0 = 2H\Delta Z (\operatorname{tg} \alpha) / Z_a. \quad (5.24)$$

Из выражений (5.23) и (5.24) следует, что повышение разрешающей способности (уменьшение α и A_0) возможно при уменьшении угла поля зрения оптической системы (2α) или, что то же самое, при увеличении фокусного расстояния объектива, а также при увеличении числа строк в растре Z_a .

Уменьшение угла поля зрения приводит к уменьшению зоны обзора, что во многих случаях крайне нежелательно. Использование объективов с переменным фокусным расстоянием в подобных случаях не решает проблемы. Компромисс достигается при установке на летательном аппарате двух ТВ камер с короткофокусным (большим углом поля зрения) и длиннофокусным (малым углом поля зрения) объективами, оптические оси которых направлены в одну точку.

Связь между разрешающими способностями ТВ системы по углу φ и на местности A_0 для плоской поверхности можно получить, поделив соответственно правые и левые части выражений (5.23) и (5.24). В результате преобразований получим соотношение

$$\varphi = \alpha A_0 / H \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.25)$$

из которого следует, что при постоянной разрешающей способности ТВ системы по углу φ разрешающая способность этой системы на местности уменьшается с увеличением угла поля зрения 2α . В реальных ТВ системах космических аппаратов углы поля зрения составляют в системах обзора облачного покрова Земли $2\alpha = 100\text{—}110^\circ$, а в системах обзора планет Солнечной системы $2\alpha \approx 1^\circ$. Поэтому отношение $\alpha / \operatorname{tg} \alpha$ в выражении (5.25) для реальных систем может находиться в пределах 0,7—1,0. Таким образом, выражение (5.25) можно записать в следующем виде:

$$\varphi = (0,7\text{—}1,0) A_0 / H.$$

Из этого выражения следует, что при постоянной разрешающей способности ТВ системы по углу ее разрешающая способность на местности с изменением угла поля зрения в реальных пределах изменяется до 30%.

Чувствительность ТВ системы. Под чувствительностью ТВ системы понимается ее способность воспроизводить ТВ изображение заданного качества при низкой освещенности передаваемого объекта. Обычно чувствительность оценивается величиной, обратной минимальной освещенности $E_{\text{об мин}}$ наиболее яркого участка в плоскости объекта, при которой обеспечиваются необходимая четкость (качество воспроизведения мелких деталей и резких границ) и число передаваемых градаций яркости. Если освещенность объекта становится меньше, чем $E_{\text{об мин}}$, то происходит уменьшение отношения сигнал/шум на выходе системы, что сопровождается уменьшением ее разрешающей способности. Поэтому часто в качестве критерия чувствительности ТВ системы принимают отношение сигнал/шум ψ на входе кинескопа.

Значение ψ в конкретной системе в основном зависит от метода преобразования световой энергии в электрические сигналы в ТВ

камере и от типа используемого преобразователя. Допустимое значение ψ определяется требованиями к качеству изображения. В свою очередь, для обеспечения заданного качества ТВ изображения необходимо, чтобы ψ было не меньше некоторого порогового значения $\psi_{\text{пор}}$. В соответствии с данными табл. 4.1 часто принимают $\psi_{\text{пор}} = 41$ дБ.

Известно, что освещенность объекта может быть пересчитана в освещенность на фотокатоде по соотношению (1.9). Освещенность объекта на местности может быть пересчитана в минимальную освещенность его проекции на фотокатоде $E_{\text{фк мин}}$. В идеализированных условиях, когда шумы создаются только дробовыми флуктуациями фотоэлектронного тока и полностью реализуется эффект накопления, чувствительность на фотокатоде определяется выражением [11]

$$E_{\text{фк мин}} = kZ^2\psi_{\text{пор}}^2 / \varepsilon s_{\text{фк}} T_{\text{к}}, \quad (5.26)$$

где $s_{\text{фк}}$ — рабочая площадь фотокатода трубки; k — коэффициент пропорциональности; ε — чувствительность фотокатода.

Из этого выражения следует, что чувствительность системы, оцениваемая величиной $E_{\text{фк мин}}$, зависит от разрешающей способности (характеризуемой величиной Z), порогового значения отношения сигнал/шум $\psi_{\text{пор}}$ и времени передачи кадра $T_{\text{к}}$. При заданных значениях Z , $T_{\text{к}}$ и $\psi_{\text{пор}}$ чувствительность может быть увеличена в результате повышения эффективности фотоэлектронного преобразователя ε или увеличения рабочей площади фотокатода $s_{\text{фк}}$.

Практически оказывается, что зависимость (5.26) сохраняет свой общий вид для любого типа преобразователя, при этом изменяются лишь показатели степени у Z и значения $\psi_{\text{пор}}$, ε и $T_{\text{к}}$. Это означает, что при прочих равных условиях всякое стремление к увеличению чувствительности (к уменьшению $E_{\text{фк мин}}$) связано с необходимостью уменьшения разрешающей способности или отношения сигнал/шум $\psi_{\text{пор}}$. Уменьшение $\psi_{\text{пор}}$, в свою очередь, уменьшает разрешающую способность и число различных градаций яркости. Поэтому требования по чувствительности определяются такими качественными показателями, как разрешающая способность и число передаваемых градаций яркости.

На КА применяются телевизионные системы с видиконами и суперортиконами. Большие возможности использования суперортиконов в космической ТВ технике появились в связи с разработкой суперортиконов с электростатическим управлением лучом, имеющих значительно меньшие массу, габариты и потребляемую мощность. Недостатком суперортиконов с электростатическим управлением лучом является низкая разрешающая способность, которая на 30% ниже разрешающей способности суперортиконов с электромагнитным управлением лучом.

Одним из перспективных направлений совершенствования передающих трубок для ТВ систем обзора земной поверхности является использование в них метода автоматической регулировки тока луча, обеспечивающего сохранение контрастности изображения при считывании кадра. Применение этого метода в суперортиконах позволит повысить их разрешающую способность в условиях быстрых изменений уровней освещенности от кадра к кадру или при широком диапазоне освещенности в пределах одного кадра. Такие условия возникают при обзоре больших площадей земной поверхности или при переходе КА от неосвещенной части земной поверхности к освещенной. Применение метода автоматической регулировки тока луча позволяет расширить динамический диапазон изменений освещенности трубок до 10^5 — 10^6 . При использовании высокочувствительных суперортиконов с усилением света в сочетании с нелинейными светофильтрами для защиты трубки при высоких уровнях освещенности динамический диапазон может быть расширен до 10^8 и более.

Световая характеристика. Под световой характеристикой понимается зависимость яркости участка ТВ изображения $B_{из}$ в плоскости светочувствительного слоя передающей телевизионной трубки от яркости аналогичного участка передаваемого объекта $B_{об}$: $B_{из} = f(B_{об})$. Эта зависимость в общем случае имеет нелинейный характер, так как световая характеристика первичного преобразователя (свет — сигнал), амплитудная характеристика усилительного тракта и световая характеристика вторичного преобразователя (сигнал — свет) оказываются нелинейными. Характер нелинейности световой характеристики $B_{из} = f(B_{об})$ определяет возможность воспроизведения полутонов в темных и светлых местах изображения.

Световая характеристика имеет важное значение для систем с непосредственным наблюдением ТВ изображения на экране видеоконтрольного устройства, а также при фотографировании ТВ изображений. Значение этой характеристики особенно важно, если с помощью ТВ системы проводятся фотометрические измерения наблюдаемой поверхности. В таких случаях эту характеристику стремятся сделать линейной для обеспечения пропорциональной передачи полутонов изображения. Для получения аналитического выражения световой характеристики необходимо знать функции передачи первичного преобразователя $u_{вх\ кс} = f_1(B_{об})$, канала связи $u_{вых\ кс} = f_2(u_{вх\ кс})$ и вторичного преобразователя $B_{из} = f_3(u_{вых\ кс})$, где $u_{вх\ кс}$ — сигнал на входе первичного преобразователя (на входе канала связи); $u_{вых\ кс}$ — сигнал на выходе канала связи. Опытным путем указанные зависимости определены в следующем виде:

$$u_{вх\ кс} = k_1 B_{об}^{1_1}; \quad u_{вых\ кс} = k_2 u_{вх\ кс}^{1_2}; \quad B_{из} = k_3 u_{вых\ кс}^{1_3},$$

где k_1, k_2, k_3 — коэффициенты пропорциональности; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ — показатели степени, определяющие форму кривой соответствующей зависимости.

Решив эту систему уравнений, получим $B_{из} = k B_{об}^\gamma$, где $k = k_3 k_2^{\gamma_3} k_1^{\gamma_1 \gamma_3}$ — общий коэффициент пропорциональности системы; $\gamma = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$ — коэффициент воспроизведения контраста изображения (гамма-коэффициент ТВ канала).

На рис. 5.17 приведены световые характеристики ТВ системы для трех значений гамма-коэффициента. При $\gamma=1$ передача изображения производится без искажения контраста и полутонов. При $\gamma>1$ передача изображений производится с повышенным контрастом. В этом случае подчеркиваются светлые полутона в изображении. При $\gamma<1$ передача изображения производится с пониженным контрастом. Здесь подчеркиваются темные тона в передаваемом изображении. Опытным путем установлено, что для наилучшего распознавания деталей на ТВ изображении необходимо подобрать $\gamma=1-2$.

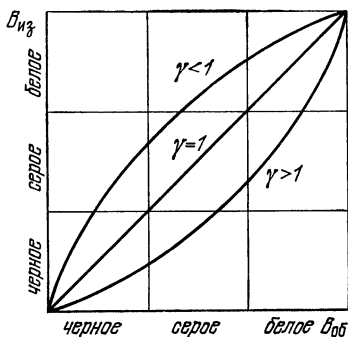


Рис. 5.17. Световые характеристики ТВ системы.

В ряде случаев необходима коррекция световой характеристики (изменение значения γ), которую можно осуществить изменением коэффициента γ_2 при введении соответствующей искусственной нелинейности в канале связи. Необходимое значение γ_2 при заданном значении γ определяется из соотношения $\gamma_2 = \gamma / \gamma_1 \gamma_3$. Используя различные схемные решения (гамма-корректоры) создания нелинейности в усилительном тракте, можно в широких пределах изменять величину γ .

Количество передаваемых градаций яркости. Количество градаций яркости m , которое может различать человеческий глаз в идеализированных условиях, зависит от диапазона яркостей (контраста) изображения $K = B_{\max} / B_{\min}$, а также пороговой контрастной чувствительности глаза $K_{\text{пор}} = \Delta B_{\text{пор}} / B$ и определяется из соотношения

$$m = \frac{\ln(B_{\max} / B_{\min})}{\ln(1 + K_{\text{пор}})}.$$

Поскольку $K_{\text{пор}} \ll 1$,

$$m \approx K_{\text{пор}}^{-1} \ln(B_{\max} / B_{\min}).$$

Последнее выражение справедливо при $K_{\text{пор}} = \text{const}$. Оно может служить для оценки потенциальных возможностей человеческого зрения к восприятию градаций яркости. Так, при контрасте $K = 100$ и $K_{\text{пор}} = 0,05$ количество различных градаций составляет $m \approx 95$. На такую величину передаваемых градаций и должна рассчитываться ТВ система. Вместе с тем в реальных условиях количество передаваемых градаций яркости значительно ограничивается многими причинами и, главным образом, шумами. Необходимо отметить, что при машинной обработке видеосигнала, применяемой в ТВ системах исследования ресурсов Земли с искусственных спутников, удастся зафиксировать значительно большее количество пороговых уровней видеосигнала. Это позволяет более тщательно анализировать передаваемое изображение и выявлять менее значительные изменения его контраста, которые могут нести в себе важную информацию при проводимых исследованиях. При машинной обработке видеосигнал представляется в цифровой форме. Количество разрешаемых уровней изменения в этом случае определяется чувствительностью используемого преобразователя типа аналог — цифра, которая у современных преобразователей этого типа достигает 0,1% от максимального значения преобразуемого сигнала (количество различных в этом случае уровней сигнала $m = 1000$).

Полоса пропускания канала связи. Требуемая полоса пропускания канала связи должна быть согласована с параметрами разложения изображения (числом строк в кадре и периодом кадровой развертки), определяющими разрешающую способность ТВ системы и другие ее основные характеристики. Связь между параметрами разложения и требуемой полосой канала связи определяется соотношениями, приведенными в § 2.4.

Расширение необходимой полосы пропускания при увеличении числа строк Z приводит, с одной стороны, к повышению разрешающей способности ТВ системы, а с другой — вызывает снижение отношения сигнал/шум в канале и требует увеличения мощности бортового передатчика. Кроме того, при широкой полосе пропускания увеличиваются возможности создания организованных помех работе ТВ системы. Технически осуществимым пределом для практического использования телевидения в космосе в настоящее время считается полоса пропускания канала 10 МГц при числе строк $Z \approx 900$.

Возможности сужения полосы пропускания канала связи заложены в увеличении времени построения кадра T_k и сжатии спектра телевизионного сигнала за счет устранения статистической избыточности.

Пропускная способность канала связи характеризует допустимую скорость неискаженной передачи информации (в дв. ед/с). Для случая нормального распределения сигнала она определяется

из следующего соотношения:

$$C = \Delta f_{\text{кс}} \log_2 (1 + P_c / P_{\text{ш}}),$$

где $P_c / P_{\text{ш}}$ — отношение мощности сигнала к мощности шума; $\Delta f_{\text{кс}}$ — ширина полосы частот канала связи.

Передача информации возможна лишь при выполнении условия $C \geq H$, где H — производительность источника сообщения, определенная в § 4.3. Величина $\eta_0 = H / C$ называется коэффициентом использования канала связи. Согласование пропускной способности канала и требуемого для передачи объема информации возможно двумя путями: увеличением пропускной способности канала и уменьшением требуемой скорости передачи информации. При разработке ТВ систем используются оба пути.

Пропускную способность канала можно увеличить, прежде всего совершенствуя характеристики наземных приемных станций: увеличивая коэффициент усиления приемной антенны до 50 дБ и выше и снижая ее шумовую температуру до 26—100 К. Мощность бортовых передатчиков телевизионных систем КА достигает нескольких десятков ватт (10—60). Коэффициенты усиления бортовых антенн КА, предназначенных для полетов к Луне и планетам Солнечной системы, составляют 10—18 дБ.

Требуемую скорость передачи информации (в соответствии с данными § 4.3) можно уменьшить, увеличивая время передачи кадра (уменьшением β), уменьшая число строк в кадре (уменьшением разрешающей способности) и число градаций яркости (увеличением ε^2), устраняя избыточность ТВ информации статистическими методами.

Выбор метода снижения требуемой скорости передачи в ТВ системах КА определяется конкретными условиями их работы. Чаще всего используются методы увеличения времени передачи кадра с одновременным уменьшением числа передаваемых кадров. Увеличить время передачи кадра можно, используя промежуточные запоминающие устройства. При увеличении времени передачи кадра без применения специальных запоминающих устройств требуются ТВ трубки с длительной памятью, и это возможно лишь в тех случаях, когда необходимое время передачи (считывания) кадра не превышает допустимого времени построения кадра $T_{\text{пк}}$ (5.11). Если время передачи кадра превышает допустимое время построения кадра, то необходимо использовать промежуточные запоминающие устройства.

Число строк в кадре уменьшается лишь в тех случаях, когда увеличение только времени передачи кадра не дает желаемого результата. Так, например, на космическом аппарате «Маринер-4» в телевизионной системе время передачи кадра составляет 8,5 ч и количество строк в кадре уменьшено до 200.

Здесь, однако, следует отметить, что значительное увеличение времени передачи кадра возможно лишь при цифровых методах передачи, так как при аналоговых методах большое время передачи кадра приводит к искажению сигнала (из-за пульсаций при считывании сигнала из запоминающего устройства).

Статистические методы устранения избыточности ТВ информации также применимы лишь в цифровых системах.

Зона захвата. Телевизионная камера с углом поля зрения 2α и оптической осью, ориентированной под углом β к местной вертикали (рис. 5.18), захватывает в районе наблюдаемого объекта на плоской поверхности полосу шириной

$$L = H [\operatorname{tg} (\alpha + \beta) - \operatorname{tg} (\beta - \alpha)],$$

где H — высота наблюдения. Ширина захватываемой полосы быстро растет с увеличением угла β , из-за чего затрудняется анализ (дешифрирование) полученных ТВ изображений. Поэтому угол β стремятся свести к нулю. В этом случае ширина зоны захвата на плоской поверхности

$$L = H l_{\text{фк}} / f. \quad (5.27)$$

Площадь поверхности, захватываемая одним кадром (круглой формы с радиусом, равным $H/2$), в районе объекта наблюдения составит

$$s = \frac{\pi H^2}{4} \left(\frac{l_{\text{фк}}}{f} \right)^2 = \pi H^2 \operatorname{tg}^2 \alpha. \quad (5.28)$$

Из выражений (5.27), (5.28) следует, что с уменьшением размеров полезной (рабочей) поверхности фотокатода $l_{\text{фк}}$ уменьшается зона захвата на местности. Максимальное значение $l_{\text{фк макс}}$ зависит от фокусного расстояния объектива и его угла поля зрения. Связь между указанными величинами определяется соотношением $l_{\text{фк макс}} = 2f \operatorname{tg} \alpha$.

В малокадровых (однокадровых) ТВ системах часто ставится задача получения изображения всей поверхности, над которой проходит ЛА, в виде изображений отдельных кадров. В этом случае площадь наблюдаемой поверхности, захватываемая одним кадром, определяет время построения одного кадра изображения. При совпадении оси оптической системы ТВ камеры с местной вертикалью и при экспонировании изображений без перекрытия кадров макси-

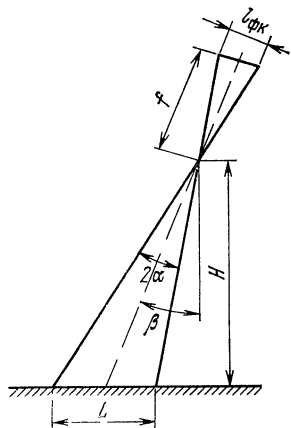


Рис. 5.18. К пояснению определения зоны захвата.

мально допустимое время построения кадра

$$T_{\text{пк макс}} \leq \frac{2H \operatorname{tg} \alpha}{(v-v_{06})(1+H/R)}.$$

При $R \gg H$

$$T_{\text{пк макс}} = 2H \operatorname{tg} \alpha / (v - v_{06}).$$

При ТВ наблюдении важное значение имеет соотношение между размером A_0 объекта и требуемой зоной захвата на местности L . В случае планового наблюдения (рис. 5.18) земной поверхности эта связь выражается соотношением

$$L = A_0 Z / \Delta Z. \quad (5.29)$$

С учетом выражений (5.27), (5.29) можно записать

$$\Delta Z = A_0 f / H l_{\text{фк}} Z, \quad (5.30)$$

где ΔZ — число строк, приходящееся на проекцию объекта A_0 на фотокатод трубки. Из (5.27), (5.29) следует, что при заданном фокусном расстоянии f захват на местности L увеличивается по мере увеличения высоты полета H . Однако при этом уменьшается число строк ΔZ , приходящееся на проекцию изображения объекта с размерами A_0 , и следовательно, уменьшается возможность его распознавания. Последнее можно компенсировать увеличением числа строк в кадре Z . Однако такое увеличение ограничивается техническими характеристиками современных передающих трубок, с одной стороны, (обычно $Z \approx 1000$) и снижением чувствительности ТВ системы — с другой.

Таким образом, число строк ΔZ , приходящееся на объект, определяется параметрами ТВ системы (Z , $l_{\text{фк}}$, f), размерами (A_0) и типом объекта (его конфигурацией). Число строк $\Delta Z_{\text{тр}}$, требуемое для распознавания объекта, зависит от контраста изображения на экране кинескопа $K_{\text{вх}}$, который, в свою очередь, зависит от контраста входного изображения $K_{\text{вх}}$ и от высоты полета H . Указанные зависимости можно представить в следующем виде:

$$\Delta Z_{\text{тр}} = \varphi_1(K_{\text{вх}}), \quad (5.31)$$

$$K_{\text{вх}} = \varphi_2(K_{\text{вх}}), \quad (5.32)$$

$$K_{\text{вх}} = \varphi_3(H), \quad (5.33)$$

где $\Delta Z_{\text{тр}}$ — число строк, приходящееся на объект, при котором он будет распознаваться.

Зависимость (5.32) определяется по световой характеристике ТВ системы:

$$K_{\text{вх}} = 1 - (1 - K_{\text{из}})^{\gamma},$$

Обычно $\gamma = 1,5$.

Зависимости (5.31) и (5.30) определяются экспериментально. Уравнения (5.31), (5.33) связывают технические и тактические параметры ТВ системы.

Дальность ТВ визирования. Под дальностью действия понимается такое максимальное расстояние (наклонная дальность или высота при плановом наблюдении), при котором обнаруживаются (распознаются) объекты заданных размеров и конфигурации с определенной вероятностью. Для ориентировочного определения дальности пользуются графическим методом решения системы уравнений (5.29)—(5.33).

Зависимость (5.33), снятую экспериментально или полученную расчетным путем, называют кривой располагаемого контраста. Используя зависимости (5.29)—(5.32), можно графически построить зависимость контраста $K_{вх\ тр} = \varphi_4(H)$, требуемого для обеспечения распознавания (обнаружения) заданного объекта наблюдения, от дальности наблюдения (высоты H).

Максимально возможная высота полета $H_{\max}$ определяется как абсцисса точки пересечения кривых $\varphi_3(H)$ и $\varphi_4(H)$. Если по расчету окажется, что величина $H_{\max}$ меньше требуемой, то необходимо увеличить число строк в кадре Z или использовать объектив с большим фокусным расстоянием f и решить систему уравнений снова. В результате построения определяют рабочую область высот, в пределах которой возможна эффективная работа данной ТВ системы.

В тех случаях, когда зависимость $K_{вх} = \varphi_3(H)$ неизвестна, ориентировочный расчет можно производить, задаваясь некоторыми значениями $K_{вх}$ (например, $K_{вх} = 0,1, 0,2, 0,3$ и т. д.). В результате получается зависимость $H_{\max} = \varphi_5(K_{вх})$, которая будет характеризовать возможную дальность ТВ наблюдения при различных значениях входного контраста.

Важным параметром ТВ изображения является его масштаб $M_{ти}$, выражаемый отношением линейного размера исходного изображения A_0 к линейному размеру получаемого ТВ изображения $A_{ти}$:

$$M_{ти} = A_0 / A_{ти} = M_{фк} M_{тс},$$

где $M_{фк} = L / l_{фк}$ — масштаб изображения на фотокатоде передающей трубки; $M_{тс} = l_{фк} / l_{экp}$ — масштаб ТВ изображения по отношению к размеру проекции оптического изображения на фотокатод; $l_{экp}$ — размер экрана ВКУ. Масштаб изображения на фотокатод

$$M_{фк} = L / l_{фк} = \delta / \delta_{фк} = H / f \quad (5.34)$$

определяется как отношение линейного размера δ участка наблюдаемой поверхности (или объекта), приходящегося на одну строку

разложения, к ширине строки $\delta_{\text{фк}}$ на фотокатоде. Величину δ часто называют линейным разрешением ТВ системы по объекту. В случае, когда поставлена задача обзора местности с помощью ТВ системы, важным является выбор фокусного расстояния f объектива передающей телевизионной камеры. Как следует из выражений (5.29), (5.34), зона захвата на местности L и масштаб изображения зависят от высоты полета H и фокусного расстояния f . Высота полета самолета обычно задается с учетом тактических соображений, поэтому зона захвата на местности и масштаб изображения могут варьироваться только при изменении фокусного расстояния объектива.

В зависимости от предполагаемых условий освещенности местности во время выполнения полета следует также выбирать соответствующие светофильтры для оптических головок системы.

В авиационных ТВ системах обзора имеется возможность изменять углы визирования передающих камер, в результате можно существенно увеличить время наблюдения некоторых наиболее интересных участков местности. Например, при изменении угла визирования в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$ время удерживания объекта в поле зрения ТВ камеры можно сделать равным

$$t_{\text{уд макс}} = 2H (\text{tg } 30^\circ) / v \approx 1,15H/v.$$

При высоте полета $H = 3000$ м и $v = 1000$ км/ч $t_{\text{уд макс}} \approx 12$ с. При $H = 15\,000$ м $t_{\text{уд макс}} \approx 1$ мин. Этого времени достаточно для дешифрирования многих объектов непосредственно по ТВ изображению на экране индикатора. Однако следует заметить, что увеличение времени наблюдения может привести к пропуску участков местности. Очередной из наблюдаемых участков размером $L \times L$ будет отстоять (при измерении угла визирования в пределах $\pm 30^\circ$) от предыдущего на расстоянии $D_{\text{проп}} = 2H \text{tg } 30^\circ$. Для уменьшения пропусков пределы изменения углов визирования камер не следует брать большими. Выбор их в общем случае производится с учетом данных о рассредоточении объектов на местности. С целью расширения зоны обзора используют метод перспективного наблюдения, пролетая в стороне от объекта. Для этого угол визирования камер необходимо отклонять в направлении, перпендикулярном линии полета носителя. При отклонении угла визирования до 45° наклонная дальность до объекта составит $r = \sqrt{2} H$.

Радиолинии ТВ систем работают в диапазоне УКВ, поэтому дальность передачи ТВ изображений ограничивается дальностью прямой видимости. Если при выбранной высоте полета H требуемая дальность передачи не обеспечивается, то необходимо использовать ТВ ретранслятор, размещаемый на другом ЛА.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

6.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ИХ НАЗНАЧЕНИЮ

Начало космическому телевидению было положено в 1959 г. запуском космической автоматической станции «Луна-3» с телевизионной аппаратурой на борту для съемки обратной стороны Луны. В 1962 г. впервые в мире была осуществлена прямая трансляция из космоса в широкоэмитательную телевизионную сеть СССР и Европы. Попытки получить изображение с космических аппаратов предпринимались в 1959 г. американцами («Авангард», «Эксплорер», «Пионер»), в качестве приемников лучистой энергии на искусственных спутниках Земли в то время использовались фотоэлементы. Использование в качестве приемников ТВ трубок началось в 1960 г. с запуска первого метеорологического спутника «Тирос» (США).

В настоящее время системы космического телевидения являются важным практическим средством, с помощью которого можно получить наибольший объем информации с автоматических КА, направляемых к планетам Солнечной системы. Эту информацию можно получить в результате ТВ обзора поверхности исследуемой планеты с КА, пролетающего вблизи этой планеты или находящегося на замкнутой орбите около этой планеты, а также с телеуправляемой самоходной исследовательской установки, доставляемой на планету космическим аппаратом. В последнем случае ТВ система используется, кроме того, в навигационных целях для визуального контроля за направлением движения самоходной установки по поверхности планеты и как средство наблюдения за процессами выполнения отдельных операций, проводимых исследовательской установкой на поверхности планеты.

Телевизионные системы широко используются для наблюдения за состоянием космонавтов и отдельных объектов на КА при его полете, а также включаются непосредственно в контур управления КА, обеспечивая

их ориентацию в пространстве, посадку на поверхность планеты и передачу видеотелеметрических данных на пункты контроля и управления.

Важнейшими проблемами космического телевидения в настоящее время являются: резкое увеличение дальности ТВ передач (при ограниченных мощностях излучения), повышение четкости воспроизводимого на приемной стороне ТВ изображения и достижение пре-

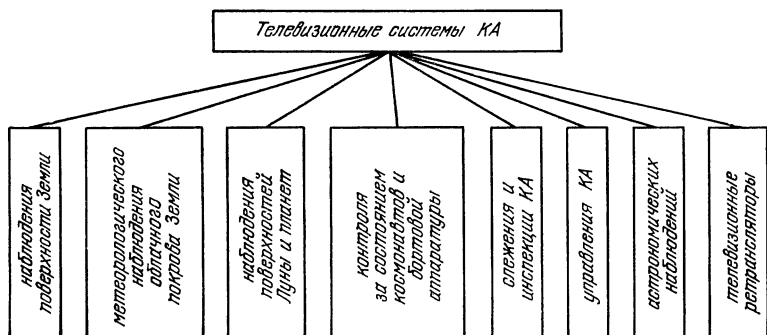


Рис. 6.1. Классификация телевизионных систем КА по назначению.

дельной световой чувствительности ТВ передающих камер. Стремление к решению указанных проблем стимулирует совершенствование технологии производства ТВ аппаратуры, а также разработку теоретических основ, обеспечивающих проектирование оптимальных систем космического телевидения.

Телевизионные системы КА классифицируются по характеру решаемых ими задач (областям применения) и по различным техническим признакам.

В соответствии с характером решаемых задач различают следующие телевизионные системы КА (рис. 6.1):

- системы обзора земной поверхности, метеорологического наблюдения облачного покрова Земли, наблюдения и исследования объектов космического пространства (поверхности Луны и планет Солнечной системы);

- системы контроля состояния космонавтов и бортовой аппаратуры КА (системы космовидения и видеотелеметрические системы);

- слежения и инспекции состояния космических аппаратов с борта другого КА;

- системы управления космическими аппаратами;
- системы астрономических наблюдений;
- ТВ ретрансляторы.

Характер решаемых задач предъявляет специфические требования к каждой группе ТВ систем.

Телевизионная аппаратура для наблюдения (обзора) земной поверхности и ее облачного покрова устанавливается на ИСЗ. В таких случаях расстояния радиосвязи оказываются небольшими в сравнении с расстояниями до объектов, расположенных в дальнем космосе (Марс, Венера и т. д.). Это позволяет использовать более широкополосные ТВ системы, обеспечивающие передачу большого количества информации в единицу времени.

Основными требованиями к ТВ системам, предназначенным для обзора земной поверхности, являются: высокая разрешающая способность (в ряде случаев десятые доли метра); необходимость передачи больших объемов информации, содержащейся в одном кадре изображения; возможность работы ТВ систем при малых освещенностях объекта и в широком диапазоне изменений освещенности. От ТВ систем, предназначенных для метеонаблюдений, требуется меньшая разрешающая способность (порядка 1 км). В настоящее время задачи ТВ систем обзора земной поверхности и метеорологических систем существенно расширились. Эти системы широко используют для исследования земных ресурсов, определения состояния водной поверхности, снегообразования и в других целях.

Телевизионные системы для наблюдения и исследования объектов космического пространства обеспечивают сбор и передачу ТВ информации из космоса с помощью автоматических космических аппаратов-носителей. Аппаратура таких систем рассчитывается на длительную безоператорную работу. Из-за больших расстояний связи и ограниченной мощности излучения бортовых радиопередающих устройств в ТВ системах наблюдения за космическими объектами приходится считаться с допустимой пропускной способностью канала связи. Поэтому в этих случаях разрешающая способность ТВ систем и объем получаемой с их помощью информации ограничены.

Телевизионный видеоконтроль состояния космонавтов и бортовой аппаратуры космического аппарата ведется наземно-техническим персоналом, обеспечивающим полет, и самими космонавтами. Основным требо-

ванием к системам космовидения и видеотелеметрическим системам (к их бортовому оборудованию) является возможность работы в условиях малой освещенности объектов наблюдения.

Телевизионные системы управления КА позволяют решать задачи автоматизации определения координат при маневрировании и посадке. Это обычно замкнутые системы (без выхода в эфир), если они используются на пилотируемом корабле, или открытые системы, когда измерительная ТВ информация должна использоваться на командном пункте для управления КА или его отдельными установками.

Телевизионные ретрансляторы, устанавливаемые на космических аппаратах, в настоящее время широко используются для увеличения дальности радиолиний связи космос — Земля, а также для расширения зоны связи наземных станций с применением цепи ретрансляции Земля — космос — Земля. Ретранслятор представляет собой приемно-передающую установку, которая усиливает принимаемый радиосигнал и переизлучает его в направлении пунктов приема.

По техническим признакам ТВ системы космических аппаратов классифицируются так же, как все другие ТВ системы. Необходимо отметить, что на КА для исследования дальнего космоса применяются открытые телевизионные системы с цифровыми линиями связи космос — Земля. При передаче цифровой информации ошибки возникают только при преобразовании сигналов из аналоговой формы в цифровую, сама же радиолиния искажений в передаваемые сигналы не вносит, за исключением аномальных случаев. Именно поэтому цифровые радиолинии применяются преимущественно при больших дальностях космической связи.

Достоинство цифрового метода передачи состоит также в удобстве обработки информации по сложным алгоритмам. К недостаткам цифровых радиолиний относится сложность бортового оборудования радиолинии. Однако современные успехи микроэлектроники обеспечивают получение приемлемых конструктивных решений при проектировании цифровых ТВ радиолиний.

Для ТВ систем космических аппаратов характерна малая масса камер, в большинстве случаев не превышающая 10 кг.

На космических аппаратах, для которых ТВ аппаратура является основной целевой аппаратурой, устанавли-

ливается по несколько камер с различными объективами. Так, на метеорологических американских спутниках «Тирос» и «Нимбус» установлено по две камеры; на аппаратах «Рейнджер» — по шесть.

Малый вес камер достигнут в результате высокой степени микроминиатюризации их схемных элементов. Так, ТВ системы аппаратов «Аполло» и «Маринер» выполнены на интегральных схемах, обеспечивающих экономию в массе по сравнению с обычными схемами в 7—10 раз, наименьшая масса достигнута при разработке ТВ системы для космического аппарата «Маринер-4»: масса камеры в этой системе составляет 1,6 кг, а масса всей бортовой аппаратуры системы 5 кг.

К ТВ системам всех групп предъявляется ряд общих требований, обусловленных нахождением их в космической среде: стойкость аппаратуры к перегрузкам и к вибрациям до 20—25 *g* при частотах до 2 кГц; надежность работы в условиях космического вакуума (на Земле аппаратура испытывается в условиях вакуума, 130 мкПа) в диапазоне температур от —15 до +70°C при влажности до 100% и при повышенной радиации и высоком фоне ультрафиолетовых лучей.

6.2. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Телевизионная система космического аппарата представляет собой сложную совокупность различных по назначению и принципу действия устройств. Особенности построения ТВ систем космических аппаратов определяются их назначением и условиями применения.

На рис. 6.2 приведена обобщенная функциональная схема открытой ТВ системы космических аппаратов. На рисунке сплошными линиями показаны блоки устройств ТВ системы с непосредственной передачей изображения, штриховыми — блоки с запоминанием. Основные блоки системы по своему назначению аналогичны блокам широкоресничательных ТВ систем. Помимо этого, в передающую часть ТВ системы космического аппарата включается программное устройство, обеспечивающее управление отдельными блоками, согласование их работы между собой в соответствии с заданной программой или командами, посылаемыми с пункта управления.

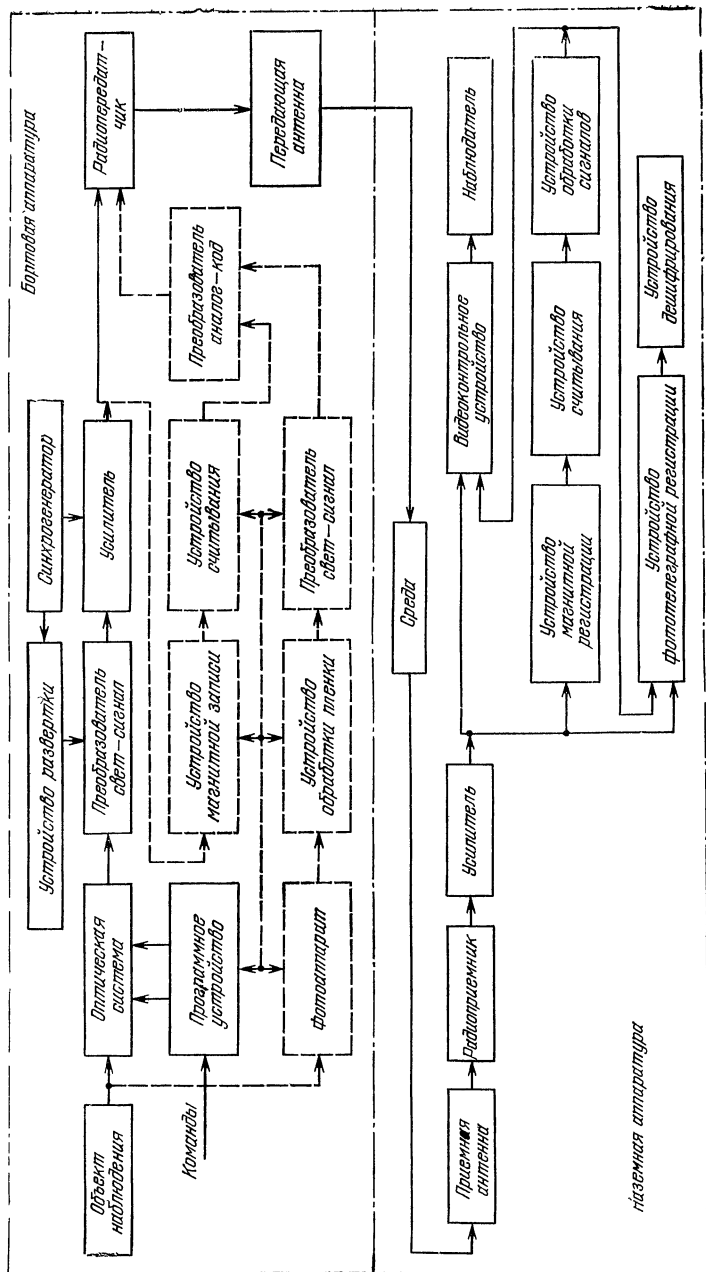


Рис. 6.2. Обобщенная функциональная схема ТВ системы космических аппаратов.

В преобразователях свет — сигнал узкополосных ТВ систем с непосредственной передачей изображений используется аппаратура с оптико-механическим сканированием (разверткой) и преобразованием света в видеосигнал при помощи фотоэлектронного умножителя или передающая трубка типа диссектор с электронно-магнитным управлением лучом.

Достоинствами системы с оптико-механической разверткой являются предельно простая конструкция передающей камеры, высокая равномерность фона изображения, малый уровень нелинейных и геометрических искажений, линейность световой характеристики, позволяющая производить фотометрические измерения в любой части спектра светового излучения при соответствующем выборе приемника излучения.

В системах с диссектором нет механических движущихся элементов, которые могут вибрировать и тем самым вызывать специфические искажения при передаче. Диссектор имеет также линейную световую характеристику.

С использованием в преобразователе свет — сигнал передающей трубки типа диссектор или устройства с оптико-механической разверткой реализуется одноэлементный метод накопления, при котором для получения хорошего качества телевизионного изображения передаваемый объект должен иметь высокие освещенность и контрастность.

В передающей части узкополосной (малокадровой) ТВ системы с непосредственной передачей изображений применяются также видиконы с памятью, в которых реализован метод кадрового накопления. Поскольку в узкополосной системе время передачи одного кадра велико, то при передаче неподвижных изображений с применением видикона может быть получена очень высокая чувствительность ТВ системы.

При передаче подвижных изображений время накопления определяется временем экспозиции отдельных кадров изображений.

Разновидностью малокадровых (одноканальных) ТВ систем с непосредственной передачей изображений является однострочная ТВ система, в которой развертка передаваемого изображения по одной пространственной координате осуществляется в результате относительного перемещения космического аппарата и объекта наблюдения.

Устройства ТВ систем с запоминанием передаваемых изображений на борту и консервацией принятых изображений на приемной стороне обозначены на рис. 6.2 штриховыми линиями. На этом рисунке условно показаны схемы реализации двух возможных способов запоминания передаваемых изображений: способ магнитной записи видеосигналов, полученных от преобразований оптического изображения, и способ предварительного фотографирования отдельных кадров оптического изображения с последующим светозлектрическим преобразованием фотографий в видеосигналы. Третий способ запоминания предполагает использование в преобразователе свет — сигнал видикона с памятью. В практической ТВ системе возможна реализация одного из перечисленных методов запоминания.

Устройство магнитной записи как запоминающее устройство чаще используется для регистрации видеосигналов в случае невозможности непосредственной связи с наземным приемным устройством и для быстрой передачи накопленной информации в отведенное для сеанса связи время. Однако возможно и такое построение системы, при котором широкополосный видеосигнал регистрируется устройством магнитной записи при необходимой скорости носителя (магнитной ленты), а затем с целью сужения спектра видеосигнала, передаваемого по радиолинии, скорость протяжки носителя при воспроизведении и передаче уменьшается. Такая ТВ система называется системой с промежуточной перезаписью и трансформацией спектра сигнала (система с изменением масштаба времени передачи сигнала). В подобной системе верхняя граница спектра видеосигнала на выходе воспроизводящего (считывающего) устройства

$$f_{в\ сч} = f_{вз} v_{сч} / v_з,$$

где $v_з$ и $v_{сч}$ — скорости протяжки магнитного носителя (ленты) соответственно при записи и считывании (воспроизведении); $f_{вз}$ — высшая частота спектра записываемого сигнала. Кроме высшей частоты спектра видеосигнала, при воспроизведении пропорционально отношению $v_{сч}/v_з$ уменьшаются значения частот и других составляющих спектра записанного сигнала. На приемной стороне ввиду большой ценности ТВ информации, принимаемой из космоса, видеосигналы с выхода радиоприемника регистрируются одновременно несколькими устройствами путем магнитной записи, записи на термохимическую

бумагу, фотографированием ТВ изображений с экранов видеоконтрольных устройств. Съемка ТВ изображений с экранов ВКУ производится двумя и более кинорегистрирующими установками. Магнитная запись видеосигналов с выхода приемника обеспечивает оперативный просмотр любых участков записи в нужный момент времени, вторичную обработку видеoinформации для улучшения качества воспроизводимых изображений благодаря учету при обработке априорных сведений о возможных искажениях регистрируемых сигналов при их передаче и приеме. Некоторые из перечисленных устройств регистрации в схеме приемной части системы могут не использоваться.

Время передачи одного кадра изображения $T_{к\text{ прд}}$ при замедленном воспроизведении видеосигналов с магнитного носителя возрастает и составляет

$$T_{к\text{ прд}} = T_{кз} v_3 / v_{сч},$$

где $T_{кз}$ — время записи сигналов одного кадра.

Устройство запоминания изображения с фотографированием применяется в так называемых фототелевизионных системах, обеспечивающих возможность получения ТВ изображений быстро перемещающихся объектов при узкой полосе пропускания канала связи и высоких требованиях к четкости получаемого ТВ изображения. Решается такая задача путем быстрого (с малой экспозицией) предварительного фотографирования отдельных кадров изменяющегося объекта наблюдения с последующим сравнительно медленным фотоэлектрическим преобразованием полученных фотографий в видеосигнал, передаваемый по радиоканалу на приемную сторону.

Параметры фотоэлектрического преобразователя выбираются с учетом согласования ширины спектра формируемого видеосигнала и ширины полосы пропускания линии связи. В фототелевизионных системах КА в качестве фотоэлектрических преобразователей применяются устройства бегущего луча с однострочной разверткой в сочетании с фотоэлектронным умножителем. Устройство бегущего луча обеспечивает развертку передаваемого изображения в оптическом канале, а ФЭУ преобразует световую энергию в видеосигналы.

На рис. 6.3 приведена схема считывающего устройства фототелевизионной системы, в состав которого входят: просвечивающий кинескоп (1), фокусирующий объектив (3), конденсор (5) и ФЭУ (6). При работе

считывающего устройства световое пятно, образуемое на экране просвечивающего кинескопа, разворачивается по строке с помощью отклоняющей катушки (2), питаемой пилообразным током частоты f_c . Объектив фокусирует изображение светового пятна на просвечиваемую фотопленку (4) с фотоизображением объекта. Размеры проекции пятна на фотопленке определяют размеры анализирующего элемента. Световой поток за фотопленкой пропорционален степени оптической плотности фотопленки в просвечиваемом элементе изображения. С помощью

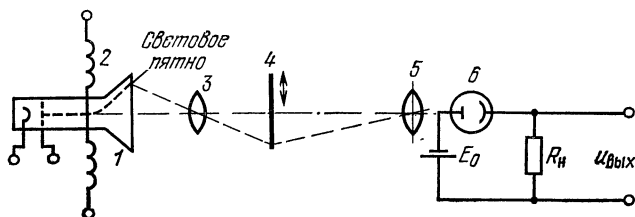


Рис. 6.3. Схема преобразователя свет — сигнал (считывающего устройства) фототелевизионной системы.

конденсатора поток за фотопленкой собирается на фотокатоде ФЭУ. На выходе ФЭУ при развертке светового луча по фотопленке (строке) образуется видеосигнал, изменение которого во времени соответствует распределению коэффициентов прозрачности на отдельных участках фотопленки по строке.

Для получения видеосигнала от всего изображения (кадра) фотопленка протягивается с определенной скоростью $v_{пл}$ в направлении, перпендикулярном направлению развертки луча по экрану кинескопа.

В системе однострочного считывания бегущим лучом с целью просвечивания всех элементов изображения на киноплёнке без пропусков и частичного перекрытия строк должно выполняться следующее соотношение между скоростью протяжки $v_{пл}$ и периодом развертки луча по строке T_c :

$$v_{пл} = \delta / T_c = L / Z_a T_c. \quad (6.1)$$

Для определения T_c воспользуемся формулой (2.14), представив ее в виде

$$f_v \approx k_{\phi} Z_a^2 / 2 T_c \approx k_{\phi} Z_a / 2 T_c. \quad (6.2)$$

При проектировании развертывающего устройства фототелевизионной системы задаются требуемой четкостью ТВ изображения, определяемой числом строк разложения в кадре Z_a , и шириной спектра ТВ сигнала, определяемой полосой пропускания линии связи ($\Delta f_{\text{КС}}$). Из соотношения (6.2) можно определить необходимое значение периода строчной развертки, если заданы Z_a и f_v . Положив $f_v = \Delta f_{\text{КС}}$, получим

$$T_c = k_{\phi} Z_a / 2 \Delta f_{\text{КС}}. \quad (6.3)$$

Используя (6.1) и (6.3), можно определить необходимую скорость протяжки киноленты:

$$v_{\text{пл}} = 2L \Delta f_{\text{КС}} / k_{\phi} Z_a^2.$$

Ширина спектра видеосигнала на выходе считывающего устройства фототелевизионной системы, как это следует из выражения (6.2), может быть уменьшена при увеличении времени передачи кадра T_k , что приводит к необходимости увеличения времени развертывания строки T_c .

В зависимости от условий применения фототелевизионной системы величина T_k может варьироваться в широких пределах в результате изменения скорости протяжки фотопленки $v_{\text{пл}}$, при этом частота строчной развертки также должна изменяться:

$$f_c = Z_a v_{\text{пл}} / L = \eta_k v_{\text{пл}},$$

где $\eta_k = Z_a / L$ — коэффициент, равный числу строк разложения, приходящихся на единицу линейного размера высоты кадра.

Разрешающая способность системы бегущего луча зависит в первую очередь от размера проекции сканирующего пятна в плоскости фотопленки. Для оптимального построения передающей части фототелевизионной системы необходимо согласовать характеристики составляющих ее фотографического и ТВ считывающего устройства. Получение необходимых характеристик фотографического устройства обеспечивается подбором объектива, фотопленки, экспозиций и условий проявления. Необходимые характеристики ТВ части получаются подбором размера и яркости светящегося пятна, выбором длины строки, прочерчиваемой пятном по экрану просвечивающей трубки, и подбором коэффициента увеличения (обычно меньшего единицы) проекции пятна на фотопленку. Оптимальный результат может быть до-

стигнут, если путем правильного выбора длины строки на экране трубки и коэффициента увеличения будут получены лучшая частотно-градационная характеристика системы считывания и наибольшее число квантов света, приходящихся на элемент разложения на фотопленке. Практически всегда оказывается так, что разрешающая способность фототелевизионной системы определяется разрешающей способностью ТВ (считывающего) устройства. При этом высокая разрешающая способность фотографического устройства не реализуется.

Выходной сигнал светозлектрического (телевизионного) устройства подается к радиопередатчику непосредственно или через преобразователь аналог — код. Цикличность работы устройств бортовой ТВ аппаратуры, в том числе и устройств считывания, определяется программным устройством, которое вырабатывает команды на экспонирование, считывание ТВ сигнала и на выполнение всех других операций. Выходные команды программного устройства формируются на основе заложенной в него программы или по командам, посылаемым по командной радиолинии с Земли.

Для преобразования ТВ сигнала из аналоговой формы в цифровую в состав бортовой аппаратуры ТВ системы космического аппарата включается преобразователь аналог — код, который показан на рис. 6.2. На приемной стороне обратный преобразователь сигнала из цифровой формы в аналоговую (типа код — аналог) не показан. Он часто реализуется в устройстве обработки сигналов, поступающих с магнитного регистрирующего устройства.

Системы космического цветного телевидения (СКЦТВ) позволяют получить важную дополнительную информацию о цветности исследуемых объектов или о спектральном составе их излучения. Так же, как и в космических системах черно-белого телевидения, в СКЦТВ стремятся максимально упрощать бортовую аппаратуру, а требуемое качество ТВ изображений обеспечивают путем значительного усложнения приемной установки.

По принципу построения, способам формирования сигналов и выполняемым задачам СКЦТВ делятся на три основные группы:

— малокадровые СКЦТВ, обеспечивающие непосредственную передачу цветных изображений в узкой полосе частот;

— фототелевизионные системы, позволяющие вести детальное исследование и картографирование Земли и ее облачного покрова, а также поверхности планет Солнечной системы;

— широкополосные (многокадровые) СКЦТВ, применяемые для передачи из космоса изображения цветных подвижных объектов и быстроизменяющихся сюжетов.

Реализация малокадровых СКЦТВ оказывается наиболее простой при использовании последовательной передачи чередующихся кадров (полей) цветоделенных изображений. Обычный видимый спектр световой информации, поступающей от сюжета передачи, разбивается на три различных участка (красный, синий и зеленый), и обеспечивается последовательная передача сигналов цветоделенных изображений в такой пропорции, чтобы на приемной стороне воспроизводилось колориметрическое подобие передаваемого изображения.

Для воспроизведения цветного изображения на приемной стороне малокадровой системы видеосигналы цветоделенных кадров предварительно регистрируются отдельными элементами устройства магнитной записи, после чего производится одновременное считывание этих сигналов с необходимой скоростью и совместное воспроизведение изображений цветоделенных полей на экране цветного видеоконтрольного устройства.

Передаваемые с частотой следования полей цветоделенные изображения могут регистрироваться на приемном пункте отдельно путем фотографирования на черно-белой фотопленке, а затем путем полиграфической печати или методом цветной фотографии из отдельных черно-белых снимков цветоделенных полей получаются цветные фотографии принятого изображения.

Для получения цветоделенных полей в ТВ камеру СКЦТВ включается вращающийся диск с тремя светофильтрами: красным, синим и зеленым. Каждый из дисков включается в оптическую систему камеры с определенной периодичностью (при заданной частоте вращения) или по командам с Земли.

Развертка передаваемого изображения в малокадровом СКЦТВ может осуществляться так же, как в системах черно-белого малокадрового телевидения. Вместе с тем используется развертка изображения в оптическом канале по кадрам за счет вращения спутника в плоскости, перпендикулярной траектории его движения (частота вращения 100 мин^{-1}), а по строкам — с помощью

специального винтового механизма, отклоняющего ось оптической системы в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения спутника. Шаг винтового механизма соответствует развертке одной строки.

В СКЦТВ часто используются две передающие камеры с разными параметрами разложения, обеспечивающие большее разнообразие решаемых задач и получение цветных стереоскопических изображений сюжетов передачи.

Для проведения тщательного спектрографического исследования поверхности Земли, Луны и планет Солнечной системы необходимо использовать СКЦТВ с высокой разрешающей способностью. Это фототелевизионные СКЦТВ, которые позволяют получить фотографии (цветные) подвижных объектов. В таких системах СКЦТВ передаваемое изображение предварительно фотографируется на цветную фотопленку, а затем после ее обработки полученное цветное фотоизображение развертывается по методу бегущего луча. При этом формируются одновременные или последовательные сигналы цветоделенных изображений, которые передаются по линиям связи на приемный пункт. Для получения высокой разрешающей способности развертка фотоизображения производится лазерным лучом.

Многокадровые СКЦТВ используются в тех случаях, когда необходимо передать из космоса изображения быстроменяющихся сюжетов в неизменном масштабе времени. При этом частота следования цветоделенных полей должна превышать частоту, при которой в процессе наблюдения ТВ изображения ощущается слитность передаваемого эффекта движения. Из-за ограниченной мощности бортового передатчика полоса ТВ канала связи не может быть существенно расширена и взята такой, какая используется в широкоэмитательных ТВ линиях связи. Обычно полоса частот радиоканала многокадровых СКЦТВ не превышает 2—2,5 МГц. Из большого разнообразия возможных способов построения СКЦТВ и их передающих камер предпочтение отдается системам с последовательной передачей цветоделенных кадров. Важнейшим достоинством таких систем является возможность получения обычных видеосигналов цветоделенных изображений и передачи их по сравнительно узкополосным линиям связи. Ограниченная четкость воспроизведения ТВ изображения не отражается на правильности цветопередачи. На рис. 6.4 приведена схема

построения бортовой части СКЦТВ, которая может работать в многокадровом режиме.

По такому принципу была построена ТВ камера цветной ТВ системы космического корабля «Аполлон-10» с чувствительностью (по проводящему слою) 0,01 лк, обеспечивающей отношение сигнал/шум около 35 дБ. В камере использовалась специальная безынерционная передающая трубка типа «секон». Передаваемое изобра-

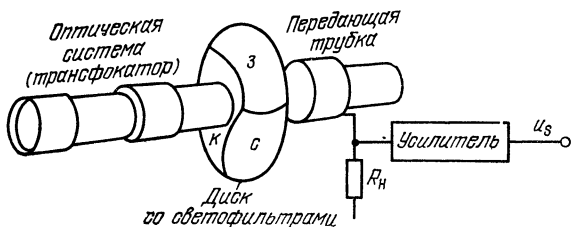


Рис. 6.4. Схема устройства бортовой части цветной ТВ системы с последовательной передачей цветоделенных кадров.

жение проецировалось на светочувствительную поверхность передающей трубки через вращающийся диск, состоящий из чередующихся красного, синего и зеленого светофильтров. Частота смены цветных светофильтров составляла 60 Гц. При этом частота передачи полных цветовых кадров равнялась 10 Гц. Полученные на выходе камеры последовательные сигналы цветоделенных кадров передавались на наземный приемный пункт по каналу связи с полосой пропускания около 2 МГц. Мощность радиопередатчика составляла 20 Вт.

Принятые и выделенные на наземной станции видеосигналы регистрировались с помощью специального дискового шестидорожечного устройства магнитной записи. Один оборот диска соответствовал времени передачи сигналов одного цветоделенного поля. Регистрация последовательных сигналов цветоделенных полей одного кадра проводилась на двух дорожках. После записи через время, равное одному периоду следования полей, проводилось одновременное трехкратное считывание, а затем запись стиралась, и дорожки подготавливались к следующей записи. Во время считывания записанных сигналов регистрация принимаемых сигналов велась на другие дорожки ферромагнитного диска.

Сигналы трех цветоделенных полей, получаемые одновременно при считывании, использовались для получения цветных изображений на видеоконтрольных устройствах приемного пункта и, кроме того, подавались на кодирующее устройство вещательной системы цветного телевидения.

6.3. ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Фототелевизионная система может рассматриваться как комбинированная светоинформационная система, включающая в себя фотографическое устройство и ТВ систему. Основными элементами фототелевизионной системы являются: фотоаппарат, устройство для бортовой обработки фотопленки, устройство для светозлектронного преобразования фотоизображения в ТВ сигнал, элементы канала связи и устройство воспроизведения изображения на приемной стороне [3].

Фотопленка в такой системе используется как элемент памяти с практически неограниченным временем запоминания, позволяющий производить многократное считывание. Отсутствие ограничения на время запоминания и считывания дает возможность существенно замедлить передачу изображения и тем самым сузить спектр передаваемого сигнала при необходимости до единиц герц.

В фототелевизионной системе передаваемое изображение предварительно фотографируется, а затем фотоэлектронным способом фотоизображение преобразуется в видеосигналы, которые по линии связи передаются на приемную сторону, где из них воспроизводится наблюдаемое изображение.

Спектральная и световая чувствительность фототелевизионной системы определяется характеристиками фотографического канала. Система позволяет производить фотографирование в видимых, инфракрасных и ультрафиолетовых лучах, в дневных и ночных условиях.

Фотоэлектронное преобразование изображения, полученного на фотопленке, может производиться с помощью передающей ТВ трубки (в этом случае фотопленка равномерно освещается некоторым источником света). Однако практически более рациональным оказывается фотоэлектронное преобразование с использованием «бегущего луча», которое обеспечивает хорошее качество воспроизводимого на приемной стороне ТВ изображения при простой конструкции преобразователя.

Разрешающая способность фототелевизионной системы в целом зависит от разрешающей способности ТВ канала, которая обычно уступает (на порядок) разрешающей способности фотографическо-

го канала. Поэтому в некоторых фототелевизионных системах для повышения результирующей разрешающей способности системы кадр фото пленки передается по частям.

На рис. 6.5 в качестве примера приведена функциональная схема бортовой аппаратуры фототелевизионной системы, использовавшейся на автоматической межпланетной станции «Луна-3» для получения ТВ снимков поверхности Луны в 1959 г. Подобные прин-

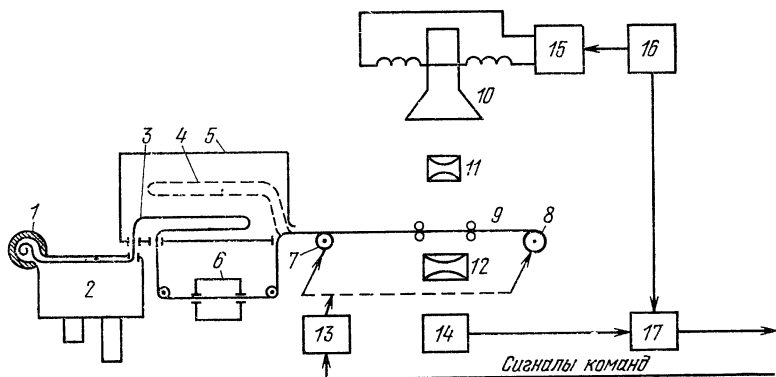


Рис. 6.5. Функциональная схема бортовой аппаратуры фототелевизионной системы.

ципальные схемы использовались на космических станциях «Зонд-3», «Луна-12» и на американской станции «Lunar arbiter». Система включает в себя бортовую фототелевизионную аппаратуру, наземную ТВ приеморегистрирующую аппаратуру и радиоканал связи. В бортовом оборудовании системы используется специальный фотоаппарат (2), обеспечивающий одновременное получение двух снимков сюжета передачи в разных масштабах благодаря наличию двух объективов с различными фокусными расстояниями ($f_1=200$ мм, $f_2=500$ мм).

В исходном состоянии фото пленка находится в кассете (1), покрытой слоем свинца, предохраняющим фоточувствительный слой от «засветки» космической радиацией. Ракорд фото пленки проходит через весь лентопротяжный механизм и закрепляется на конечном барабане (8). Процесс фотографирования начинается по команде, поступающей с устройства ориентации автоматической межпланетной станции. С поступлением команды открываются затворы у каждого объектива и обеспечивается одновременная экспозиция сюжета на пленку в виде двух кадров. С окончанием экспонирования затворы закрываются и производится протяжка

пленки на снятые (два) кадры с помощью автономного привода. Этим заканчивается один цикл фотографирования, за ним следуют аналогичные циклы. Отснятая пленка собирается в устройстве межоперационного хранения (5, петля 3), рассчитанном на полную рабочую длину пленки.

С окончанием фотографирования автоматически включается протяжка фотопленки через устройство ее обработки (6). В описываемой системе применяется наиболее простое устройство обработки, основанное на использовании одностороннего процесса, когда пленка одновременно проявляется и фиксируется. Время обработки составляет 5—15 с. Качество снимков при одностороннем методе несколько снижается по сравнению с качеством снимков, полученных при двухстороннем способе обработки.

Обработанная и высушенная пленка наматывается на окончательный барабан (8). По команде на передачу информации фотопленка с фотоизображением сюжета передачи движется с постоянной скоростью в обратном направлении и возвращается в устройство хранения (петля 4). Во время обратного движения пленка проходит через окно передачи (9), в котором она выравнивается в фокальной плоскости объектива.

С помощью кинескопа (10) создается однострочная развертка бегущего луча, просвечивающего фотопленку через объектив (11). Конденсор (12) собирает на фотокатоде фотоэлектронного умножителя (14) световой поток, прошедший через фотопленку. Выходной сигнал ФЭУ усиливается в видеосулителе (17) и подается к радиопередатчику. Продольная (кадровая) развертка передаваемого изображения обеспечивается протяжкой фотопленки с постоянной (прецизионной) скоростью. По окончании передачи всех кадров местное программное устройство автоматически переключает устройство протяжки (двигатель 13, ведущий ролик 7) на обратную перемотку (реверс) пленки на окончательный барабан (8) с тем, чтобы обеспечить при необходимости повторную (многократную) передачу видеосигналов.

Работа электронно-лучевой трубки, создающей бегущий луч, обеспечивается блоком развертки (15) и синхрогенератором (16). Для синхронизации развертки по строкам на приемной стороне в видеосигнал замешиваются строчные синхроимпульсы, поступающие в видеосулителе из синхрогенератора.

Бортовая фототелевизионная аппаратура находится под телеметрическим контролем, обеспечивающим получение информации о функционировании всех звеньев системы.

На приемной стороне воспроизводимое ТВ изображение наблюдается при оперативном контроле на экране скиатрона и фотографируется с экрана этой трубки. Кроме того, ТВ сигналы регистрируются устройством магнитной записи и на термохимической бумаге.

Основным достоинством фототелевизионной системы, способствующим ее успешному применению на КА с большой дальностью полета, является получение снимков высокой четкости (свыше 10^6 элементов на кадр) при сравнительно небольших габаритах, массе и потреблении энергии. Качество получаемых ТВ снимков, весовые и энергетические возможности фототелевизионной аппаратуры во многом определяются используемыми в ней устройствами автоматической обработки фотопленки и считывания.

Выбор способа обработки фотопленки и способа считывания определяется заданными качественными характеристиками фототелевизионной системы и требованиями к ее массе и энергетическим характеристикам. В настоящее время разрабатываются с целью практической реализации новые методы обработки пленки при проведении космических исследований. Наиболее перспективным из них считается диффузионный процесс обработки, при котором обрабатываемые реактивы наносятся на фотопленку тонким слоем на субподложке. При экспозиции пленки происходит диффузионное проникновение реактивов внутрь светочувствительного (эмульсионного) слоя, причем скорость этой диффузии на отдельных участках пленки зависит от их освещенности. Процесс диффузии сопровождается проявлением и фиксированием изображения на пленке, после чего пленка отделяется от субподложки с реактивами и поступает в считывающее устройство. При использовании диффузионного метода продолжительность обработки пленки сокращается до нескольких секунд.

В настоящее время ведутся работы по замене фотопленки ее электронными аналогами (электронные трубки с ленточной мишенью, электрографические слои, ленточные фотоэлектронные преобразователи).

Совершенствование фототелевизионных систем для съемки поверхности планет связано с улучшением защиты фотоэлектрической аппаратуры системы от проникающего космического излучения. Кроме того, должна совершенствоваться считывающая ТВ часть бортовой аппаратуры в направлении снижения потерь информации, вызываемых электронным устройством бегущего луча. Совершенствование устройства бегущего луча позволяет минимизировать уменьшение фотографической разрешающей способности, возникающей из-за неравномерности свечения экрана просвечивающей трубки, дискретной структуры люминофора, расфокусировки луча и других причин.

Телевизионные системы с оптико-механической разверткой. Узкополосную ТВ систему с оптико-механической разверткой по строкам и по кадрам часто называют механической ТВ системой. Она является одним из наиболее простых в конструктивном отношении вариантов ТВ системы с разверткой в оптическом канале [3, 38].

На рис. 6.6 приведена схема бортовой камеры ТВ системы с оптико-механической разверткой, применявшейся на автоматической станции «Луна-9» для получения ТВ снимков поверхности Луны с близкого расстояния после мягкой посадки станции на лунный грунт. Принцип действия такой камеры основан на использовании одноэлементного накопителя, реализуемого в виде электрического фильтра. Мгновенный угол поля зрения камеры $\Delta\varphi$ (определяющий угловую разрешающую способность системы) формируется объективом (2) и вырезающей диафрагмой (3). В ТВ камере автоматической станции «Луна-9» $\Delta\varphi=0,06^\circ$. В каждый момент времени к фотоэлектронному умножителю (4) поступает лучистый поток лишь с небольшого участка изображения площадью Δs , ограниченной углом $\Delta\varphi$. Развертка по строкам и кадру осуществляется за счет качания зеркала (1) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с помощью механической системы. Развертка по строке (качение зеркала в вертикальной плоскости в пределах угла $\varphi_{\text{верт}}=29^\circ$) достигается при помощи кулачкового механизма (5), приводимого в движение двигателем (6).

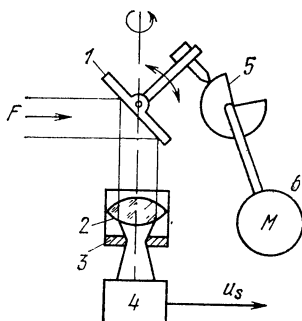


Рис 6.6. Схема бортовой аппаратуры ТВ системы с оптико-механической разверткой.

Период строчной развертки (одно отклонение зеркала в вертикальной плоскости) $T_c=1$ с с обратным ходом $T_{co}=0,1$ с. Зеркало может поворачиваться вокруг вертикальной оси на 360° (режим панорамного обзора) за время 100 мин. (Механизмы развертки по строкам и кадру работают от одного двигателя (6).) При развертке изображения на выходе ФЭУ образуется видеосигнал, который за время кадра отображает распределение освещенностей по всей площади наблюдения s .

Выбор диаметра диафрагмы, а следовательно, и угла $\Delta\varphi$ определяется требованием достижения оптимальной разрешающей способности камеры, работающей в световых условиях лунной поверхности.

Объектив камеры с фокусным расстоянием $f=12,4$ мм обеспечивает получение резкой проекции изображения в своей фокальной плоскости с расстояний, превышающих 1,5 м. При минимальном расстоянии наблюдения ($r_{\text{мин}}=1,5$ м) и мгновенном угле поля зрения $\Delta\varphi=0,06^\circ$ минимальный (разрешаемый) размер объекта наблюдения составляет $d_0=1,5$ мм. Число элементов разложения в одной строке $N_o=\varphi_{\text{верт}}/\Delta\varphi\approx 500$.

В режиме панорамного обзора зеркало поворачивается на угол $\varphi_{\text{по}} = 360^\circ$ за время $T_{\text{по}} = 100$ мин. При этом число строк $Z_{\text{п}}$ в панорамном изображении $Z_{\text{по}} = \varphi_{\text{п}} / \Delta\varphi = 6000$. Панорамный снимок, таким образом, содержит общее число элементов разложения $N_{\text{по}} = N_{\text{с}} Z_{\text{по}} = 500 \cdot 6000 = 3 \cdot 10^6$.

При этом ширина спектра видеосигнала на выходе ФЭУ телевизионной камеры $f_{\text{с}} = N_{\text{п}} / 2T_{\text{п}} = 250$ Гц. Видеосигналы передаются на Землю по радиоканалу с частотной модуляцией и несущей частотой $f_{\text{н}} = 185$ МГц.

В ТВ камере системы в качестве преобразователя свет — сигнал используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-54 с интегральной чувствительностью 50 А/лм и максимальной спектральной чувствительностью при $\lambda = 0,55$ мкм. Камера имеет высокую чувствительность. Наименьший световой поток, который может ею регистрироваться, составляет 10^{-10} лм. Такая чувствительность достигнута благодаря значительному сужению полосы пропускания канала связи и соответствующему уменьшению уровня флуктуационных шумов. Для обеспечения работы камеры в широком диапазоне изменения освещенности в фотоэлектронном умножителе применена схема автоматической регулировки, обеспечивающая нормальное функционирование системы при изменении освещенности лунной поверхности от 80 до 150 000 лк.

В дальнейшем бортовое оборудование ТВ системы совершенствовалось в направлении уменьшения его массы, габаритов и энергопотребления. В результате была сконструирована ТВ камера с оптико-механической разверткой, которая имела массу 1,3 кг и потребляла энергию 2,5 Вт. Такие камеры устанавливались на автоматической станции «Луна-12», обеспечившей съемки Луны с селеноцентрической орбиты, и на станции «Луна-13» для получения панорамных снимков лунного ландшафта.

На самоходном автоматическом аппарате «Луноход-1» было установлено четыре панорамные ТВ камеры с оптико-механической разверткой. Две из этих камер производили горизонтальный обзор, а две — вертикальный, обеспечивая при этом в различном парном сочетании получение стереоскопических снимков с различными стереобазами (от 0,5 м до нескольких метров). Камеры горизонтального обзора использовались для выбора основного курса «Луноход-1», топографической съемки местности, исследования структурных особенностей рельефа и т. п. Панорамные камеры вертикального обзора использовались в навигационных целях и для наблюдения за передними колесами «Лунохода-1».

Панорамные телевизионные камеры с оптико-механической разверткой используются на метеорологических искусственных, спутниках Земли для непосредственной передачи облачного покрова Земли.

С помощью ТВ камеры с оптико-механическим сканированием изображение участка земной поверхности или ее облачного покрова преобразуется в ТВ сигнал. Для улучшения условий передачи низкочастотного видеосигнала, поступающего с выхода ТВ камеры, им модулируют специальные поднесущие колебания, смещая тем самым спектр видеосигнала в область более высоких частот. Операция смещения спектра производится в усиливающем и формирующем устройстве, выходным сигналом которого модулируют по частоте колебания передатчика.

С выхода приемника выделенный видеосигнал регистрируется фототелеграфным аппаратом. Синхронность работы фототелеграфного аппарата и развертывающего устройства бортовой ТВ камеры достигается благодаря высокой автономной стабилизации скоростей вращения барабана фототелеграфного аппарата и механического развертывающего устройства ТВ камеры. Синхронность работы фототелеграфного аппарата с наземной регистрирующей аппаратурой обеспечивается посылкой на приемную сторону специального импульса, формируемого с помощью специального реле в развертывающем устройстве ТВ камеры и замешиваемого в видеосигнал.

В рассматриваемой системе частота строчной развертки составляет 0,5 Гц, угол обзора $\pm 45^\circ$, разрешающая способность 1000 элементов на строку, что на поверхности Земли соответствует $1,8 \times 2,7$ км.

Узкополосные электронные ТВ системы космических аппаратов. На рис. 6.7 приведена функциональная схема передающей части ТВ системы, установленной на метеорологическом спутнике «Метеор», предназначенном для наблюдения облачного покрова на дневной (освещенной) стороне Земли [3]. В системе используются две ТВ камеры с видиконами с памятью. Значительная память фотопроводника мишени такой трубки обеспечивает работу системы в малокадровом режиме. Цикл работы каждой камеры длится 60 с. Он складывается из времени экспонирования (0,04 с) фотослоя во время обратного хода кадровой развертки, времени считывания потенциального рельефа (формирование видеосигнала) в течение 10 с, времени стирания остаточного потенциального рельефа в течение 50 с.

Если предположить, что в подобной ТВ системе используется передающая ТВ трубка без накопления и что длительность периода кадровой развертки равна времени экспонирования, ширина спектра видеосигнала на выходе камеры

$$f_{s1} = k_{\Phi} Z^2 / 2T_{\kappa} = k_{\Phi} Z^2 / 0,08.$$

С использованием передающей трубки с памятью период кадровой развертки увеличивается до $T_{\kappa \text{ прд}} = 10$ с. При этом ширина спектра видеосигнала $f_{s2} = k_{\Phi} Z^2 / 20$.

Таким образом, при медленном считывании ширина спектра видеосигнала сужается в $f_{s1}/f_{s2}=250$ раз и составляет около 15 кГц. Циклы работы камер сдвинуты друг относительно друга на 10 с, так что экспонирование второго видикона начинается после окончания процесса считывания первого.

Обе камеры имеют одинаковые объективы с фокусным расстоянием $f=16$ мм и относительным отверстием $D/f=1/3$ (D — диаметр объектива). Камеры установлены на ИСЗ так, что опти-

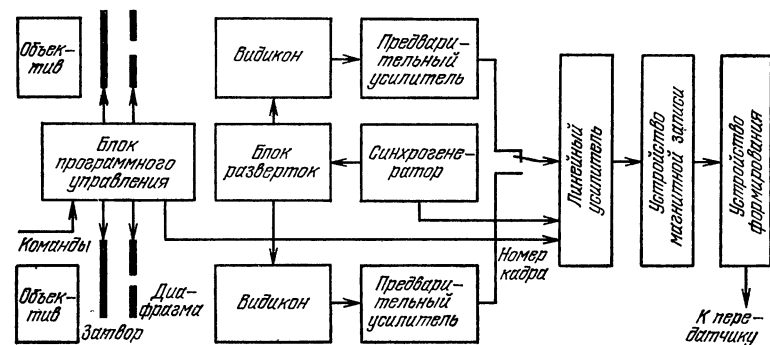


Рис. 6.7. Функциональная схема передающей части узкополосной электронной ТВ системы метеорологического спутника «Метеор».

ческие оси их объективов наклонены друг к другу под углом 19° , благодаря чему угол зрения ТВ системы составляет 76° .

Бортовые датчики высоты Солнца с помощью блока программного управления регулируют диафрагмы объективов, расширяя тем самым рабочий диапазон экспозиций фотослоя передающих трубок. Регулирование диафрагм объективов может производиться также по командам, посылаемым с наземных пунктов управления.

Блок программного управления, помимо функции согласования работы отдельных блоков бортовой ТВ аппаратуры, производит сбор телеметрических данных о состоянии ТВ аппаратуры, поступающих от соответствующих датчиков. Выходные видеосигналы ТВ камер после предварительного усиления поступают поочередно (в соответствии с порядком следования циклов камер) через коммутатор в линейный усилитель, где производится привязка уровня черного, ограничение темнового тока видикона, замешиваются служебные сигналы (синхронизирующие, гасящие и корректирующие импульсы) и сигналы кодовых посылок о номере каждой пары передаваемых изображений.

ИСЗ «Метеор» обеспечивает обзор состояния облачного покрова на всей поверхности земного шара. При малом количестве наземных приемных устройств информация с ИСЗ из-за наличия радиогоризонта не всегда может быть принята, что приводит к необходимости временного хранения (консервации) собранной ТВ информации на борту ИСЗ. Для этого в составе бортовой аппаратуры имеются устройства магнитной регистрации видеосигналов, включаемые программным устройством на запись при нахождении ИСЗ за радиогоризонтом и на воспроизведение во время сеанса связи. При этом из-за ограниченного времени сеанса связи воспроизведение видеосигналов с магнитной ленты производится в четыре раза быстрее (спектр видеосигнала также расширяется в четыре раза), чем при записи.

Выходной сигнал устройства воспроизведения магнитной записи поступает в устройство формирования, где производится коррекция видеосигнала, необходимость которой вызывается особенностями частотной характеристики устройства магнитной записи и воспроизведения.

Бортовой радиопередатчик ИСЗ «Метеор» имеет мощность около 15 Вт и обеспечивает передачу видеосигнала на наземные приемные пункты в пределах прямой видимости.

Наземный приемный пункт имеет следящую антенную систему. Принятый ТВ сигнал воспроизводится на экранах видеоконтрольных устройств и одновременно регистрируется устройством магнитной записи. Изображение с экранов видеоконтрольных устройств фотографируется на киноплёнку. Обработанные фотоплёнки и магнитные плёнки с полученной информацией передаются в метеорологический центр.

Благодаря высоким контрастной чувствительности и разрешающей способности используемых в ТВ камерах передающих трубок обеспечивается передача высококачественных изображений облачности с разрешением деталей на Земле, равным 1,2 км.

В большинстве оперативных метеорологических спутниковых систем США (АРТ, AVCS) с целью увеличения площади, охватываемой каждым кадром передаваемого ТВ изображения, разрешающая способность ТВ камер по поверхности Земли выбирается равной 3,2 км. Основные параметры системы непосредственной передачи ТВ изображений облачного покрова АРТ следующие: разрешение в подспутниковой точке (местной вертикали) 3,2 км, захват на местности 3300×200 км (800×600 строк), количество кадров (изображений), получаемых за один виток, равно 11, перекрытие между соседними изображениями 150 с, частота строк 4 Гц, время между соседними кадрами 260 с, время съёмки 11 последовательных кадров примерно 48 мин. Передача видеосигналов ведётся на частоте 137,5 МГц.

Система глобального сбора ТВ информации имеет следующие параметры: разрешение в подспутниковой точке 3,2 км, захват на местности 3300×3300 км (800×800 строк), количество кадров, получаемых за один виток, равно 11, перекрытие между соседними кадрами 50%, время считывания одного кадра 6 с, время между съемкой двух соседних кадров 260 с, время съемки 11 последовательных кадров 48 мин, емкость устройства магнитной записи 38 кадров (3 витка вокруг Земли), время воспроизведения информации, полученной за один виток, менее 2 мин. ВIDEOSигналы передаются на частоте 1697,5 МГц. Мощность передатчика 2 Вт.

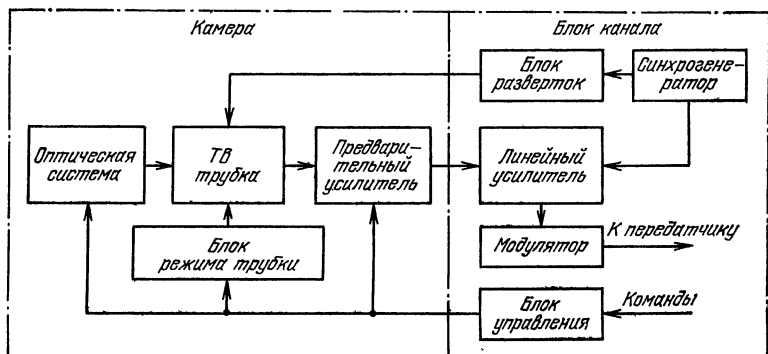


Рис. 6.8. Функциональная схема передающей части ТВ системы спутника «Молния-1».

Широкополосная электронная телевизионная система ИСЗ. Пример широкополосной телевизионной системы, устанавливаемой на КА, может служить телевизионная система ИСЗ «Молния-1» [3]. Спутник «Молния-1» является стандартным связным спутником, предназначенным для ретрансляции ТВ программ. Для более рационального использования этого спутника на нем, помимо ретрансляционной аппаратуры, устанавливается ТВ аппаратура для обзора земной поверхности с определенных участков орбиты. ТВ передача изображений земной поверхности и ее облачного покрова ведется короткими сеансами продолжительностью 3—5 мин в перерывах передач ТВ программ. Повторяются такие сеансы 2—3 раза в сутки.

Основные параметры ТВ системы ИСЗ «Молния-1» для обзора земной поверхности соответствуют параметрам широкоэмитательной ТВ системы, определяемым требованиями государственного стандарта ГОСТ 7845—55. Это вызвано необходимостью наиболее про-

стого согласования ТВ системы обзора земной поверхности с ретрансляционной системой спутника.

Телевизионные сигналы, полученные в результате наблюдения земной поверхности, поступают на вход передатчиков ретрансляционной системы и далее транслируются на наземные приемные пункты.

В состав бортовой телевизионной аппаратуры ИСЗ «Молния-1» входят две идентичные камеры: основная и резервная. Каждая из камер рассчитана на работу в условиях открытого космоса, для чего она помещается в герметический кожух, снабженный двухступенчатой системой термостабилизации. В кожухе камеры содержится необходимый минимум элементов. Все другие элементы ТВ канала размещены внутри спутника.

На рис. 6.8 приведена функциональная схема бортовой ТВ аппаратуры спутника «Молния-1». В состав ТВ камеры входят: оптическая система, состоящая из двух сменных (по командам) объективов, ТВ камера с передающей трубкой типа «видикон», предварительный усилитель, блок режима передающей трубки. В корпусе спутника размещаются: блок разверток, линейный усилитель, формирующий полный ТВ сигнал, синхрогенератор, блок управления, блок питания (на рис. 6.8 не показан) и модулятор, преобразующий спектр ТВ сигнала в соответствии с промежуточной частотой канала ретрансляции.

Для обеспечения условий работы камеры в широком диапазоне изменения освещенности передаваемых сюжетов она снабжена схемой автоматической регулировки видеоканала. Оптическая система камеры состоит из двух объективов с фокусными расстояниями 20 и 50 мм и диска с шестью светофильтрами. Пять из этих светофильтров (при выборе оптимального светового режима) устанавливаются по командам с Земли, а шестой фильтр, обеспечивающий защиту fotocувствительной поверхности передающей трубки от прожигания прямыми солнечными лучами, устанавливается автоматически при выключении бортовой аппаратуры.

Разрешающая способность телевизионной системы ИСЗ «Молния-1» определяется параметрами разложения стандартной ТВ широкоэmissiveй системы и оказывается ниже разрешающей способности рассмотренных малокадровых ТВ систем обзора земной поверхности. Поэтому телевизионная система ИСЗ «Молния-1» позволяет получать информацию об укрупненных облачных процессах.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ (ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АВТОМАТАХ)

Телевизионными автоматами называют особый тип телевизионных систем, в которых видеосигнал, полученный в результате преобразования оптического изображения, подвергается специальной обработке с целью выделения из него только той части общей информации, которая необходима для решения автоматом определенной задачи. Так, например, в результате дополнительной обработки видеосигнала могут быть получены сведения о конфигурации, площади и числе отдельных элементов оптического изображения, их цвете, взаимном расположении, линейных размерах, координатах этих элементов в некоторой измерительной системе координат и т. п. Используя эти сведения, ТВ автомат может выполнять функции автоматического измерителя тех или иных параметров оптического изображения, а также стабилизирующего либо регулирующего устройства. При работе автомата воспроизводимое ТВ изображение может играть вспомогательную роль или не использоваться совсем.

Способы извлечения и обработки необходимой информации из ТВ сигнала могут быть самыми разнообразными. В основном они сводятся к измерению и обработке отдельных параметров видеосигнала (длительности импульсов, их временного сдвига, частоты следования или числа, величины постоянной составляющей и т. п.) и их совокупности (длительности и интенсивности сигнала, временного положения отдельных импульсов и т. п.).

В настоящее время ТВ автоматы все более широко используются во всех областях науки, техники и производства, решая самые различные задачи. Классифицировать их можно по различным признакам. К настоящему времени пока еще нет установившейся достаточно полной и всесторонней классификации. Первая удачная попытка такой классификации сделана К. В. Михалко-

вым [7]. В соответствии с ней ТВ автоматы классифицируются по характеру использования, по основной выполняемой операции и по структуре построения.

По характеру использования ТВ автоматы делятся на два класса: 1) автоматы, обеспечивающие анализ и обработку однотипных данных; 2) автоматы, обеспечивающие контроль наблюдаемых процессов (объектов) и управление ими.

Особенностью автоматов первого класса является то, что они не оказывают влияния на контролируемый процесс или объект. К автоматам этой группы относятся счетчики частиц (деталей наблюдаемого сюжета), находящихся в поле зрения оптической системы ТВ автомата, измерители линейных размеров и площадей отдельных деталей оптического изображения, опознающие устройства, функциональные преобразователи картограмм, устройства дешифрирования аэрофотоснимков, устройства обеспечения «слепой» посадки самолетов и вертолетов, автоматические измерители координат и параметров движения контролируемых объектов, устройства генерирования сигналов сложной формы и ввода данных в цифровые ЭВМ и другие устройства.

Автоматы второго класса непосредственно участвуют в исследуемом процессе в качестве стабилизирующих или регулирующих устройств. Это могут быть, например, устройства контроля и регулирования (или отбраковки) размеров и форм изделий, следящие системы для управления копировальными устройствами, устройства регулировки положения электродов сварочного автомата и др.

На летательных аппаратах преимущественное применение находят автоматы первого класса.

Приведенные в качестве примеров автоматы первого и второго классов могут классифицироваться по основной выполняемой операции (ТВ счетчики, автоматы контроля форм и размеров изделий, ТВ измерители координат объектов и следящие системы, функциональные преобразователи, опознающие устройства и т. п.). Кроме основной операции, ТВ автоматы во многих случаях могут выполнять и ряд вспомогательных операций. Так, например, при определении координат объектов может определяться число объектов, находящихся в поле зрения ТВ системы; при дешифрировании аэрофотоснимков могут определяться координаты отдельных объектов и т. д.

Телевизионные автоматические системы по своей структуре построения классифицируются так же, как все другие автоматические системы, в которых осуществляется целенаправленное действие в соответствии с вводимой в них информацией без активного вмешательства со стороны оператора. Автоматические системы делятся на две группы: системы без обратной связи и системы с обратной связью.

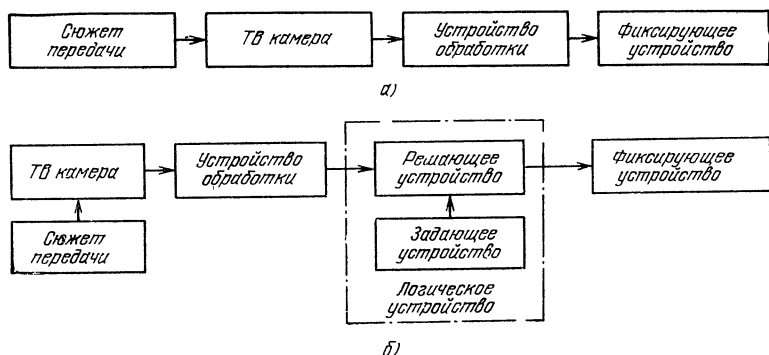


Рис. 7.1. Обобщенные структурные схемы ТВ автоматов.

В системах без обратной связи способ действия не зависит от результата действия, т. е. работа таких систем строится по заранее заданной программе независимо от условия протекания контролируемого процесса. Характер функционирования автомата в этом случае будет неизменным независимо от того, соответствует ли выходной эффект желаемому.

На рис. 7.1 приведены обобщенные структурные схемы двух разновидностей телевизионных автоматов без обратной связи. На первом из них (рис. 7.1,а) оптическое изображение (сюжет передачи) с помощью ТВ камеры, основным элементом которой является преобразователь «свет — сигнал», преобразуется в видеосигнал. В устройстве обработки происходит выделение и обработка необходимой информации из видеосигнала и представление ее в таком виде, в котором она может восприниматься фиксирующим устройством. По существу ТВ автоматы этого вида являются измерителями различных параметров оптического изображения. Такими параметрами могут быть число отдельных элементов

(однотипных и разнотипных) в наблюдаемом сюжете, линейные размеры и площади проекций этих элементов, их взаимное смещение и т. п. Структура устройства выделения и обработки необходимой информации из видеосигнала в таком автомате определяется особенностями измеряемого параметра оптического изображения и требуемой формой представления его измеренного значения (аналоговой или цифровой).

Телевизионные автоматы, представляемые второй схемой (рис. 7.1,б), измеряют отклонение исследуемого параметра оптического изображения от заданного значения. Истинное значение измеряемого параметра формируется на выходе устройства обработки, а требуемое значение этого параметра определяется задающим устройством. В решающем устройстве формируется разностный сигнал, характеризующий несоответствие истинного значения исследуемого параметра оптического изображения требуемому значению. Иногда разностный сигнал дополнительно фильтруется.

Выходной сигнал решающего устройства может регистрироваться фиксирующим устройством или непосредственно использоваться в определенных целях. Решающее и задающее устройства вместе часто называют логическим устройством.

Системы с обратной связью называют системами автоматического регулирования. Они предназначены для автоматического поддержания определенного значения одной или нескольких регулируемых величин (параметров) контролируемого процесса или для изменения их в соответствии с управляющим воздействием. Характер протекающих в системе автоматического регулирования процессов зависит от выходного результата, информация о котором подается по цепи обратной связи к входу системы. При этом системы автоматического регулирования работают по замкнутому циклу, при котором сравнивается действительное значение регулируемой величины с заданным ее значением и устраняется рассогласование между ними.

Системы автоматического регулирования принято делить на две группы: системы автоматической стабилизации и следящие системы. Системы автоматической стабилизации обеспечивают поддержание заданного (обычно неизменного) значения регулируемой величины. Следящие же системы предназначаются для автоматического слежения за управляющим воздействием (изме-

нением одного из параметров контролируемого процесса или объекта).

Помимо перечисленных систем, различают также системы программного регулирования, которые могут действовать и как системы стабилизации, и как следящие системы при условии, что заранее известна программа изменения требуемого значения стабилизируемой величины (в системах стабилизации) или управляющего воздействия (в следящей системе).

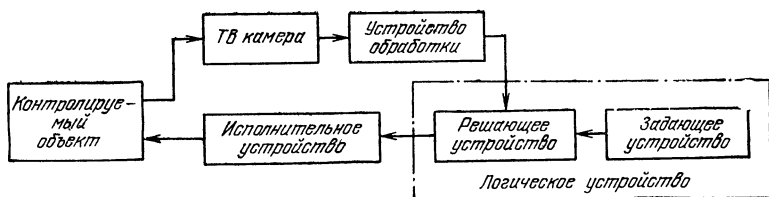


Рис. 7.2. Структурная схема ТВ системы автоматической стабилизации.

В наиболее общем виде типовая структурная схема ТВ системы автоматической стабилизации представлена на рис. 7.2. Процесс управления в такой системе в общих чертах происходит следующим образом. Оптическое изображение контролируемого объекта или процесса преобразуется с помощью ТВ камеры в видеосигнал. С помощью устройства выделения и обработки из видеосигнала выделяется информация о стабилизируемом параметре контролируемого процесса. Эта информация в соответствующей форме (аналоговой или цифровой) поступает в решающее устройство. В это же устройство поступает информация о требуемом значении стабилизируемого параметра. В решающем устройстве происходит сравнение действительного и заданного значений стабилизируемого параметра. В результате сравнения вырабатывается сигнал рассогласования, который всегда будет иметь место из-за действия на контролируемый объект и элементы системы автоматического регулирования дестабилизирующих факторов. Элементы замкнутого контура системы автоматического регулирования соединяются между собой таким образом, чтобы под действием сигнала рассогласования исполнительное устройство, воздействуя на контролируемый объект,

устраняло разницу между действительным и заданным значениями стабилизируемого параметра.

С помощью такой системы могут стабилизироваться положение, линейные размеры и площади контролируемых объектов, относительные расстояния между отдельными деталями объекта и другие параметры, которые отражены в видеосигнале, полученном в результате преобразования оптического изображения контролируемого объекта.

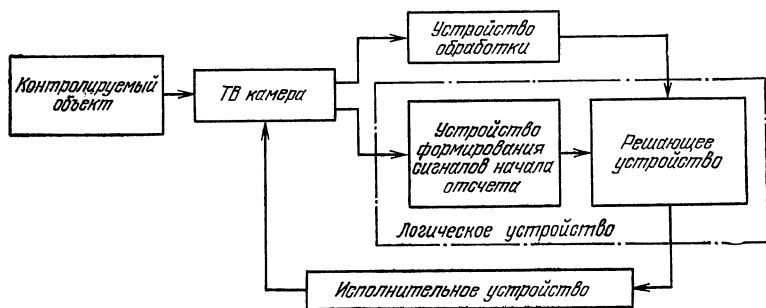


Рис. 7.3. Структурная схема ТВ следящей системы.

Необходимо отметить, что подобные ТВ системы автоматической стабилизации пока еще мало используются на летательных аппаратах. Они широко распространены в промышленности. На летательных аппаратах различного назначения находят все большее применение следящие системы, которые и представляют в данном случае наибольший интерес. Типовая структурная схема ТВ следящей системы приведена на рис. 7.3. Оптическое изображение контролируемого объекта преобразуется ТВ камерой в видеосигнал. В устройстве обработки сигнала выделяется информация о параметре, за которым осуществляется слежение.

На выходе устройства обработки формируется сигнал, определяющий значение отслеживаемого параметра и поступающий в решающее устройство. На второй вход решающего устройства подаются сигналы, характеризующие начальный уровень отсчета контролируемого параметра. Так, например, в ТВ автоматических системах измерения координат объекта сигналы, подаваемые на второй вход, характеризуют положение связанной опре-

деленным образом с фоточувствительной поверхностью передающей трубки системы координат. Эти сигналы образуются в устройстве формирования сигналов начала отсчета, характеризующих положение осей связанной с фотокатодом ТВ трубки системы координат. Выходной сигнал решающего устройства через исполнительное устройство воздействует на ТВ камеру (оптическую систему или развертку) так, чтобы значение отслеживаемого параметра в связанной системе координат сводилось к нулю. Абсолютное значение отслеживаемого параметра определяется при этом по отклонению ТВ камеры (оптической системы или развертки). Автоматическое слежение с помощью ТВ системы автоматического регулирования может вестись за различными параметрами контролируемого оптического изображения. Однако в настоящее время получили наибольшее распространение ТВ системы автоматического регулирования, обеспечивающие слежение за координатами отдельных элементов оптического изображения, часто называемые ТВ координаторами.

Если значение отслеживаемого параметра (управляющего воздействия) неизменно, то действие следящей системы аналогично действию стабилизирующей системы. При переменном значении отслеживаемого параметра следящая система также может рассматриваться как стабилизирующая система, но с переменным уровнем стабилизации. В связи с этим можно считать, что существенных различий в принципе действия систем автоматической стабилизации и следящих систем нет. Разделение автоматических систем на следящие и системы стабилизации условно и зависит главным образом от условий работы. В дальнейшем будут рассматриваться только следящие ТВ системы, широко используемые на летательных аппаратах.

7.2. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Телевизионная автоматическая система может выполнять свои функции при условии, что формируемый в ней ТВ сигнал от контролируемого оптического изображения по величине будет достаточен для первичной его регистрации. На формирование этого сигнала ока-

зывают влияние все элементы тракта передачи энергии от источника до устройства обработки [7]. Основными факторами, оказывающими влияние на формирование сигнала, являются характеристики объекта и фона; сред, разделяющих источник световой энергии, объект индикации и ТВ камеру; оптической системы ТВ камеры и самой ТВ камеры; регистрирующих устройств и устройств обработки ТВ сигнала и характеристики канала связи. Детальное рассмотрение указанных характеристик в настоящей книге не представляется возможным. В дальнейшем будут рассмотрены только некоторые из этих характеристик, относящиеся к передающей части ТВ системы, включая устройство обработки и логическое устройство. Влияние всех перечисленных характеристик тракта передачи на возможность индикации объектов оказывается весьма существенным, и должно быть учтено при расчете параметров ТВ системы исходя из предъявляемых к ней требований. Для нахождения условий, определяющих возможность автоматической или визуальной регистрации сигнала, вначале рассмотрим наиболее простой случай, когда можно пренебречь влиянием разделяющей среды (расстояние между объектом и системой мало, прозрачность среды велика) и характеристика излучения источника приведена к объекту. При этом ограничении можно определить коэффициент передачи ТВ системы и условия регистрации сигналов на ее выходе.

Каждое устройство ТВ системы при формировании сигнала от мелкой детали оптического изображения вносит искажения по сравнению с сигналом от крупной детали этого же изображения при одинаковой яркости деталей. Эти искажения оцениваются относительным коэффициентом передачи каждого из устройств системы, представляющим собой отношение интенсивности сигнала от мелкой детали A_{so} к интенсивности сигнала от крупной детали A_{sf} на выходе устройства: $\theta_i = A_{so}/A_{sf}$.

С учетом относительных коэффициентов передачи оптического устройства передающей трубки и усилителя может быть определено необходимое значение общего относительного коэффициента передачи θ передающей части, при котором будет выполняться условие индикации мелких деталей в следующем виде [7]:

$$\theta_i \geq i_{\phi}^T \sqrt{1 + K_{\phi\phi}} / i_o. \quad (7.1)$$

где i_{ϕ} , i_0 — сигналы на выходе трубки при преобразовании соответственно крупной детали (фона) и мелкой детали изображения; $K_{\text{оф}} = \psi_{\text{пор}} \sigma / c i_{\phi}^{\gamma}$ — диапазон интенсивности сигналов объекта и фона; $\psi_{\text{пор}}$ — пороговое значение отношения сигнал/шум, при котором возможна автоматическая индикация сигнала от мелкой детали с заданной ошибкой; c — коэффициент, зависящий от параметров системы; γ — коэффициент контрастности; σ — среднеквадратическое значение шума. Значение $K_{\text{оф}}$ в выражении (7.1) для случая автоматической индикации полностью определяется параметрами системы и требованиями к точности индикации ($\psi_{\text{пор}}$).

При индикации ТВ сигналов различают два режима работы: режим обнаружения и режим распознавания. Обнаружение объекта сводится к определению его (с заданной вероятностью $P_{\text{обн}}$) в виде некоторого контрастного пятна на окружающем фоне. Распознавание объекта заключается в определении (с заданной вероятностью $P_{\text{расп}}$) класса объекта на основании анализа его характерных признаков. В режиме обнаружения решается задача регистрации ТВ сигнала, достигшего требуемого порогового значения. В этом случае в выражении (7.1) стоит знак равенства, что соответствует минимально допустимому относительному коэффициенту передачи $\theta_{\text{мин}}$, определяющему максимально допустимое ослабление сигнала из-за апертурных и других искажений в тракте передачи. При достижении сигналом порогового уровня индикатор с заданной вероятностью фиксирует наличие объекта в поле зрения ТВ системы. При распознавании объекта ставится задача обнаружения характерной детали, отличающей данный объект от других объектов.

Обнаружение ТВ сигналов при автоматической индикации. Обнаружение сигнала — одна из важнейших операций логического устройства обработки сигнала регистрирующей схемой. Телевизионные сигналы, переносящие полезную информацию, всегда сопровождаются искажениями и маскирующими их помехами, поэтому процесс обнаружения состоит в установлении факта наличия или отсутствия ТВ сигналов [45]. Наличие шума приводит к тому, что на входе регистрирующей схемы действует напряжение $u_{\text{рс}}(t)$, содержащее составляющие сигнала $u_s(t)$ и шума $u_{\text{ш}}(t)$:

$$u_{\text{рс}}(t) = u_s(t) + u_{\text{ш}}(t),$$

и полезный сигнал в этом напряжении определяется с некоторой вероятностью. Чтобы решить вопрос о наличии полезного сигнала, принятое колебание сравнивается с некоторым пороговым значением $u_{\text{пор}}$. Если порог превышен, то делается заключение о наличии сигнала.

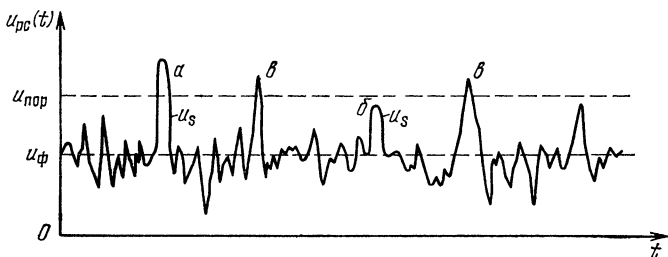


Рис. 7.4. К пояснению обнаружения сигналов на фоне шума.

При обнаружении могут возникнуть следующие ситуации.

1. Порог превышен, полезный сигнал есть и наблюдается (импульс *а* на рис. 7.4). Вероятность такой ситуации оценивается вероятностью правильного обнаружения $P_{\text{по}}$.

2. Полезный сигнал есть, но из-за его флуктуаций порог не превышен (импульс *б*), и он не регистрируется. Вероятность такой ситуации называют вероятностью пропуска $P_{\text{пр}}$.

3. Порог превышен флуктуациями фона (импульс *в*), что регистрируется схемой как наличие сигнала. Такая ситуация оценивается вероятностью ложной тревоги $P_{\text{лт}}$.

4. Порог не превышен, сигнала нет $u_s = 0$ (на рис. 7.4 флуктуации фона не превышают $u_{\text{пор}}$). Такая ситуация оценивается вероятностью правильного необнаружения $P_{\text{пн}}$.

Пропуск сигнала и ложная тревога являются ошибками при обнаружении. Их вероятностные значения зависят от отношения сигнал/шум.

Рассмотренные вероятности составляют две группы событий и связаны соотношениями $P_{\text{по}} + P_{\text{пр}} = 1$; $P_{\text{лт}} + P_{\text{пн}} = 1$.

Мешающее воздействие помех может быть уменьшено при использовании в устройстве обработки оптимальных фильтров, согласованных с сигналом [13, 46—50]. Оптимальность этих фильтров состоит в том, что они позволяют в данных конкретных условиях выделить полезную информацию с минимально возможными искажениями и обеспечить таким образом минимум вероятности ошибок. Отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра (на входе порогового устройства) максимально и равно $2E/N_0$, где E — энергия сигнала; N_0 — энергетический спектр белого шума [13].

Одним из наиболее распространенных вариантов согласованного фильтра является взаимокорреляционный приемник, вычисляющий величину

$$q = k \frac{2}{N_0} \int_0^t u_{\text{pc}}(t) u_{\text{соп}}(t) dt,$$

где $u_{\text{соп}}$ — опорный (эталонный) сигнал; k — аппаратурный коэффициент, имеющий размерность напряжения или тока.

Для обнаружения сигнала в помехах желательно располагать предварительными (априорными) данными о нем. В благоприятных случаях известна априорная вероятность наличия сигнала $P(c)$. Вероятность противоположного события (отсутствия сигнала) $P(\text{ш}) = 1 - P(c)$. Если эти вероятности известны, то оптимальным обнаружителем является идеальный приемник В. А. Котельникова, принимающий решение о наличии сигнала при выполнении неравенства

$$q > u_{\text{п.р}} = k \left[\frac{E}{N_0} + \ln \frac{1 - P(c)}{P(c)} \right]. \quad (7.2)$$

Для такого регистрирующего устройства

$$\begin{aligned} P_{\text{лт}} &= 1 - \Phi \left(\frac{u_{\text{пор}}}{\sqrt{2k^2 E/N_0}} \right), \\ P_{\text{пр}} &= \Phi \left(\frac{u_{\text{пор}}}{\sqrt{2k^2 E/N_0}} - \sqrt{\frac{2E}{N_0}} \right). \end{aligned} \quad (7.3)$$

Здесь Φ — интеграл вероятности.

Полная вероятность ошибочной регистрации объекта равна

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{лт}} P(\text{ш}) + P_{\text{пр}} P(c).$$

При использовании в качестве регистрирующего устройства идеального приемника В. А. Котельникова полная вероятность ошибки будет минимальной.

Задача конструирования регистрирующего устройства сильно усложняется, если априорные вероятности неизвестны. В таких случаях нельзя воспользоваться формулой (7.2) для определения оптимального порога регистрации и возникает так называемая «априорная трудность». Она преодолевается с помощью критерия Неймана — Пирсона, по которому задаются вероятностью ложной тревоги $P_{лт}$, затем по формуле (7.3) определяется соответствующий ей порог обнаружения $\mu_{пор}$. Телевизионная система с регистрирующим устройством Неймана — Пирсона характеризуется кривыми обнаружения, которые представляют собой графики зависимости вероятности правильного обнаружения $P_{по}$ от отношения сигнал/шум $2E/N_0$ при разных вероятностях ложной тревоги $P_{лт}$. Сравнивая кривые обнаружения реальной ТВ системы с кривыми обнаружения идеальной системы [13] (с согласованным фильтром), можно оценить совершенство реальной системы.

7.3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСНОВНЫХ УСТРОЙСТВАХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Как следует из приведенных на рис. 7.1—7.3 схем, основными устройствами автоматических ТВ систем являются: ТВ камера, устройство обработки ТВ сигнала, логические и исполнительные устройства.

Сигнал на выходе ТВ камеры может быть представлен в аналоговой или дискретной (цифровой) форме. При аналоговой форме представления выходного сигнала схема оказывается более простой по структуре и конструкции, устройство обработки видеосигнала, включаемое за ТВ камерой, работает при этом с большим быстродействием, обеспечивается возможность непосредственной связи с индикаторными и исполнительными устройствами. Вместе с тем обработка аналогового сигнала выполняется с меньшей точностью, возникают серьезные трудности при вычислении сложных математических зависимостей, надежность аппаратуры сравнительно низкая. В связи с этим ТВ камеры с аналоговой формой выходного сигнала применяются лишь в простых автоматических ТВ системах.

Телевизионные камеры с цифровой формой представления выходного сигнала по своей конструкции значительно более сложные. Однако успехи современной микроэлектроники существенно облегчают практическую реализацию таких камер, при этом резко повышается надежность их работы, обеспечивается получение более информативного сигнала, обработка которого по сложным алгоритмам может вестись с большой точностью. Следует отметить, что при необходимости сложной обработки видеосигнала последний может быть преобразован из аналоговой формы в цифровую в устройстве обработки. В настоящее время в автоматических ТВ системах в соответствии с решаемой задачей используются камеры как с непрерывными, так и с цифровыми выходными сигналами.

Оптические устройства ТВ камер выполняют ту же задачу, что и оптические устройства ТВ передающих камер систем визуального наблюдения: они обеспечивают проецирование оптического изображения объекта на фоточувствительную поверхность передающей трубки. Однако в зависимости от решаемых ТВ автоматическими системами задач оптические устройства ТВ камер этих систем могут существенно отличаться по своей конструкции и структуре построения. Это могут быть простые объективы, сложные оптико-механические устройства или кодирующее устройство на основе волконной оптики.

Выбор объектива для ТВ камеры определяется условиями работы ТВ автоматической системы и решаемой ею задачей. Сравнительно просто выбрать объектив, если система работает в стационарных малоизменяющихся условиях (при постоянной освещенности объекта и фона, неизменном расстоянии до объекта, постоянной прозрачности промежуточной среды между объектом и оптическим устройством и т. д.). ТВ системы автоматического слежения за подвижными объектами, устанавливаемые на летательных аппаратах, работают в резко изменяющихся условиях. Такие системы часто обеспечивают режим поиска объекта на сложном меняющемся фоне. При этом требуется максимально возможная дальность обнаружения. В этих случаях уменьшение угла поля зрения объектива для обеспечения более высокой дальности обнаружения ограничивается угловыми колебаниями летательного аппарата, возникающими под действием возмущающих факторов. Поэтому выбор

оптического устройства для ТВ камеры автоматической следящей системы летательного аппарата должен производиться с учетом геометрических соотношений, тактических требований к ТВ следящей системе и условий ее работы.

Необходимо учитывать, что при использовании объектива с большим относительным отверстием D/f (где D — диаметр объектива) снижается глубина резкости воспроизведения элементов сюжета передачи, находящихся на разных удалениях от ТВ камеры, что может привести к необходимости автоматической фокусировки объектива в процессе работы, если наблюдаемый объект перемещается вдоль оптической оси камеры. Изменение масштаба проекции оптического изображения на фотокатод может производиться путем смены объективов с различными фокусными расстояниями или же путем применения объектива с переменным фокусным расстоянием.

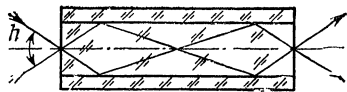


Рис. 7.5. К пояснению работы световода.

При расчете объективов необходимо учитывать, что стекло колбы трубки (планшайба) оказывает значительное влияние на световой поток, уменьшая четкость изображения по краям.

В оптических устройствах ТВ камер в последнее время все шире используются световоды на основе волоконной оптики, составленные из большого числа тонких стеклянных волокон (светопроводов), оптически изолированных друг от друга [39—41]. Каждое стеклянное волокно (светопровод) (рис. 7.5) имеет диаметр 10—20 мкм и покрыто снаружи тонким (1—2 мкм) слоем стекла с более низким коэффициентом преломления. За счет разности коэффициентов преломления самого световолокна и его стеклянной оболочки создаются условия полного внутреннего отражения световых лучей, входящих через один торец световолокна и выходящих через другой. При этом выполняется соотношение $h_{\text{макс}} = \arcsin \sqrt{n_{\text{св}}^2 - n_{\text{обл}}^2}$, где $h_{\text{макс}}$ — максимальный угол, под которым свет, входящий через один торец волокна (рис. 7.5), еще претерпевает полное внутреннее отражение и выходит из другого торца; $n_{\text{св}}$ — коэффициент преломления световолокна; $n_{\text{обл}}$ — коэффициент

преломления стеклянной оболочки. Обычно $n_{\text{св}} \approx 1,7$ — $1,8$, $n_{\text{обл}} = 1,5$, тогда $h_{\text{макс}} \approx 50^\circ$.

Потери света в стеклянном волокне незначительны. Волоконные световоды выполняются в виде гибких жгутов, которые можно перегибать, скручивать, завязывать в узел и т. д. Иногда световоды выполняются в виде твердых спеченных блоков. Диаметр световода может достигать 10—15 см, а длина — нескольких метров. По световоду от одного торца к другому можно передавать либо общий лучистый поток, либо оптическое изображение, спроецированное с помощью объектива на один из его торцов. Для неискаженной передачи изображений по световоду необходимо, чтобы торцы световодов были расположены аналогично. В противном случае изображение на выходном торце будет искажено. Коэффициент пропускания световода составляет обычно $\tau_{\text{св}} = 0,4$ — $0,5$ на 1 м. Спектральная прозрачность световода определяется составом стекла, из которого он изготовлен. Световоды используются для передачи лучистой энергии в диапазоне от инфракрасных до ультрафиолетовых лучей.

Разрешающая способность световода обеспечивает возможность передачи изображений с четкостью 30—50 лин/мм.

Важным свойством волоконных световодов является возможность изменять расположение светопроводов по требуемому закону. Это значительно расширяет возможности устройств с волоконной оптикой. Путем изгиба световода достигается изменение ориентировки выходного изображения. При необходимости можно менять форму выходного изображения. Например, при измерении линейных размеров проекции оптических изображений или их деталей целесообразно располагать входные торцы светопроводов по прямой линии, на которую проецируется измеряемый объект, а выходные — в соответствии с регулярным растром и проецировать с помощью световода измеряемый объект на фоточувствительный слой передающей трубки. С помощью волоконной оптики изображение, составленное из N отдельных строк по m элементов в каждой строке (расположенных одна над другой), можно свести в одну строку, состоящую из mN элементов. Вообще возможно самое разнообразное расположение концов светопроводов в выходном торце световода по отношению к их расположению во входном торце, что существенно расширяет возможности

использования волоконной оптики при решении специальных задач.

Преобразователи свет — сигнал (ПСС) в телевизионных камерах систем автоматического регулирования строятся с применением анализирующих и интегральных методов преобразования световой информации, поступающей от контролируемого объекта. Наличие развертки поля зрения, свойственное анализирующим (телевизионным) методам обработки информации, дает им определенные преимущества перед интегральными методами, использующими фотоэлементы и фоторезисторы. Телевизионный сигнал, содержащий в себе информацию о пространственном и временном распределении информативных параметров светового поля, позволяет исследовать статистическую и динамическую структуру контролируемого сюжета.

Интегральные (фотоэлектрические) ПСС формируют сигнал, несущий информацию о суммарном (интегральном) изменении яркости светового поля, т. е. эта информация оказывается значительно беднее, чем при использовании ПСС телевизионного типа. Фотоэлектрические ПСС значительно проще телевизионных и поэтому находят достаточно широкое применение в системах, работающих в инфракрасном диапазоне.

За последнее время появились ПСС мозаичного типа, в которых контролируемое световое поле анализируется не одним фотоэлектрическим элементом, а несколькими, расположенными определенным образом на плоскости (мозаика из фотоэлектрических элементов). Мозаичные ПСС позволяют провести более подробный анализ светового поля. Коммутация сигналов с выходов отдельных фотоэлектрических элементов мозаичного ПСС осуществляется механическими или электронными коммутаторами. Конструкция таких коммутаторов с увеличением числа элементов мозаики усложняется. С развитием микроэлектроники мозаичные ПСС непрерывно совершенствуются: увеличивается число элементов в них и применяются безвакуумные электронные коммутирующие устройства. В результате ПСС мозаичного типа по свойствам можно отнести к ПСС телевизионного типа.

Преобразователи свет — сигнал телевизионного типа имеют высокую разрешающую способность, что позволяет производить детальный анализ светового поля, и высокое быстродействие, обеспечивающее слежение

(контроль) за быстроперемещающимися объектами. Электрический контраст в телевизионных ПСС значительно выше, чем у интегральных, и не зависит от размера поля зрения.

На рис. 7.6 приведена обобщенная структурная схема ПСС телевизионной камеры автоматической системы. В основном она не отличается от структурной схемы ПСС телевизионной системы визуального наблюдения.

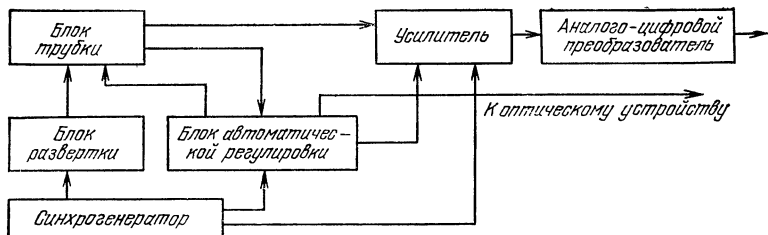


Рис. 7.6. Структурная схема первичного преобразователя (свет — сигнал) ТВ системы автоматического регулирования.

В автоматических ТВ системах полностью исключается участие человека в оперативных регулировках, связанных с изменением условий восприятия оптического изображения — изменением расстояния до объекта и освещенности на нем. Отсюда вытекает необходимость автоматического поддержания фокусировки изображения и светового режима ПСС, так как только при этих условиях ТВ камера будет выполнять свои функции без снижения качественных показателей. Блок автоматических регулировок обеспечивает оптимизацию работы ПСС при изменении условий работы. В случае необходимости представления ТВ сигнала в цифровой форме в состав ПСС включается аналого-цифровой преобразователь.

Характеристики и структура построения ПСС телевизионных камер, работающих в конкретных автоматических системах, определяются решаемой задачей и в большинстве случаев оказываются существенно отличными от характеристик и структуры ПСС систем визуального наблюдения. При этом многие из сходных по названию характеристик ПСС определяются и измеряются совершенно по-разному. Эти отличия прежде всего связаны с применением различных методов разложения изображения на элементы и соответствующих

видов разверток, а также с автоматической или визуальной индикации видеосигналов.

В ПСС телевизионных автоматов применяются растровый и однострочный методы разложения. Растровый метод разложения является наиболее распространенным, так как обеспечивает получение наиболее полной и детальной информации о контролируемом оптическом изображении. При использовании растрового метода разложения ТВ системы автоматического регулирования оказываются более универсальными при решении задач выделения необходимой информации из ТВ сигнала, ее обработки и использования в нужных целях. Закон развертки при растровом методе разложения выбирается из условия обеспечения решения поставленной задачи при наиболее простой структуре построения ПСС. Это могут быть построчные и чересстрочные линейные развертки, построчные синусоидальные и шаговые развертки, спиральные развертки и развертки, обеспечивающие разложение оптического изображения по определенному закону, оптимальному при решении конкретной задачи.

Однострочный метод разложения применяется при контроле линейных и угловых размеров, а также формы наблюдаемых объектов. К этому методу разложения относятся развертки по строке и окружности, а также развертки, следящие за контуром объекта. Для обеспечения заданных характеристик ПСС при изменении условий работы в ТВ камеры включаются саморегулирующиеся системы, обеспечивающие автоматическую (оптическую, электрическую и комбинированную) фокусировку изображения, регулировку освещенности на фоточувствительном слое передающей трубки, регулировку электрического режима работы трубки, компенсацию неравномерности фона по растру (из-за технологических дефектов изготовления передающих трубок, нестабильности образования вторичных электронов в передающих трубках, нелинейности развертки, неравномерности пропускания света объективами), термостабилизацию фотослоя видикона и другие автоматические регулировки. Возможность указанных регулировок существенно стабилизирует характеристики ПСС при изменении условий работы. Вместе с тем структура ПСС автоматической телевизионной системы усложняется.

Аналого-цифровой преобразователь в ПСС включается обычно в тех случаях, когда необходимо трансли-

рывать телевизионный сигнал в место его обработки по радиолинии, которая может существенно уменьшить отношение сигнал/шум на выходе по отношению к входу. Передача видеосигнала в цифровой форме по такой радиолинии не вызовет существенных его искажений. В автоматических ТВ системах без передачи сигнала по радиолинии преобразователь сигнал — код включается в устройство обработки сигнала.

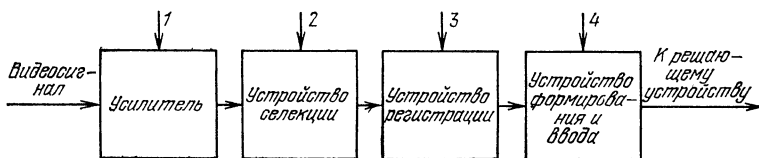


Рис. 7.7. Структурная схема устройства обработки ТВ сигнала.

С выхода ТВ камеры видеосигнал поступает в устройство обработки, в котором происходит выделение нужной составляющей этого сигнала и придание ей вида, удобного для использования в решающем (вычислительном) устройстве. Характер обработки сигнала в устройстве обработки определяется решаемой ТВ автоматической системой задачей и техническими средствами, которые используются при ее решении. В общем случае в устройстве обработки производятся селекция сигнала во времени и по уровню от нужного элемента оптического изображения, автоматическая регистрация этого сигнала и его формирование для придания ему формы, удобной для ввода в вычислительное устройство. Структурная схема устройства обработки в общем виде (рис. 7.7) содержит усилитель, устройство временной и амплитудной селекции, устройство первичной регистрации, устройство формирования и ввода обработанного сигнала в решающее устройство. В отдельные каскады устройства обработки подаются дополнительные сигналы (1—4) привязки уровня, квантования по времени и уровню, кодирования и др. Устройство первичной регистрации выполняет простую, но весьма важную функцию — первичную (автоматическую) регистрацию ТВ сигнала (достаточного по интенсивности).

Регистрирующие схемы (устройства первичной регистрации) выполняются двух типов: реагирующие на пи-

ковые значения сигнала и на усредненное значение сигнала, в ТВ системах автоматического регулирования наиболее широко используются регистрирующие схемы первого типа. В ряде случаев регистрирующая схема является входной частью устройства формирования и ее трудно выделить как самостоятельный элемент. При наличии интенсивных помех регистрирующая схема может воспринимать их как сигнал, т. е. вызывать «ложную тревогу», что приводит к появлению погрешностей решения задачи ТВ системой автоматического регулирования. К появлению погрешности приводит также пропуск полезного сигнала из-за его недостаточной интенсивности.

В устройстве формирования из видеосигнала выделяется составляющая общей информации, необходимая для работы ТВ автоматической системы. Оптическое изображение может состоять из многих объектов и их деталей, образующих сложный фон, затрудняющий или делающий невозможным контроль (слежение) за некоторым определенным объектом (деталью). В устройстве формирования выделяется сигнал, соответствующий контролируемому объекту (детали). Такое выделение осуществляется благодаря передаче в формирующее устройство специальных селектирующих сигналов. В устройстве ввода выделенной информации придается форма, необходимая для подачи в вычислительное устройство.

При необходимости устройство обработки может включать преобразователь сигнал — код. В простых ТВ автоматах устройство обработки обеспечивает лишь усиление и нормализацию сигнала по интенсивности и форме.

Решающее устройство обеспечивает извлечение из видеосигнала необходимого информативного параметра и сравнения его текущего значения с заданным. Выходной сигнал решающего устройства представляет собой результат такого сравнения. Выбор метода обработки видеосигнала в решающем устройстве зависит от особенностей выделяемого информативного параметра и решаемой ТВ системой автоматического регулирования задачи.

В ТВ визирах (см. § 7.4) информативным параметром видеосигнала является временной интервал. Обработка видеосигнала в решающем устройстве в этом случае может вестись тремя методами, которые условно

называются амплитудным, логическим и корреляционным. Амплитудный и логический методы обработки видеосигнала по существу представляют разновидность одного метода — контурного, связанного с использованием светового контраста между объектом слежения и окружающим фоном. При амплитудном методе обработки прежде всего осуществляется селекция сигнала от объекта по амплитуде, а затем определяется временной интервал между выделенным сигналом и специальным сигналом, характеризующим положение связанной (измерительной) системы координат. Обычно это прямоугольная система координат, оси x , y которой размещаются в плоскости светочувствительной поверхности передающей трубки и начало координат находится в центре развертки, а третья ось z совмещается с осью поля зрения ТВ системы.

Сигналы, характеризующие выбранное положение следящей системы координат, формируются в задающем устройстве из сигналов развертки и специальных сигналов, определяющих исходное положение координатных осей.

На основании выходных сигналов задающего устройства и сигналов, поступающих с устройств формирования, в решающем устройстве формируется сигнал рас согласования, характеризующий величину отклонения объекта в соответствующей плоскости слежения. Амплитудный метод обработки видеосигнала эффективен в случае, когда объект имеет высокий контраст по отношению к фону и сигнал от объекта значительно превышает уровень сигнала от фона.

При слежении за точечными и малоразмерными объектами решающее устройство оказывается достаточно простым и выполняется аналогично. Слежение же за объектами с большой площадью проекции на фоточувствительную поверхность трубки связано со сложным алгоритмом вычислительных операций, поэтому в таких случаях решающее устройство выполняется цифровым с логическим методом обработки сигнала. Для выделения информации о положении объекта используется логическая связь между траекторией движения анализирующего элемента (луча) по сигнальной пластине передающей трубки и взаимным расположением объекта. В этом случае контраст объекта на окружающем фоне должен быть таким, чтобы обеспечивалась возможность автоматической регистрации момента перехода анали-

зирующего элемента с изображения объекта на фон и обратно.

При корреляционном методе обработки производится сравнение заранее полученного (эталонного) изображения объекта и окружающего его фона с текущим изображением этого объекта, полученным в процессе измерения.

7.4. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ВИЗИРЫ

В последнее время широкое применение на летательных аппаратах получили ТВ автоматические системы, обеспечивающие измерение параметров относительного движения (угловых координат и их производных) объекта и ТВ системы. Результаты этих измерений используются в определенных целях, например для автоматического управления беспилотным летательным аппаратом [7, 9, 43, 44]. Такая же задача измерения параметров относительного движения объекта и устройства, на котором установлен измеритель, решается радиолокационными и инфракрасными пеленгационными (визирными) устройствами. Поэтому ТВ устройство, решающее подобную задачу, может быть по аналогии названо ТВ визиром или ТВ координатором.

Телевизионный визир системы самонаведения беспилотного ЛА должен обеспечить решение следующих задач:

1. Обнаружение и опознание объекта (цели), на который будет наводиться беспилотный ЛА.
2. Автоматическое измерение углового отклонения объекта относительно оси оптического устройства (объектива) ТВ камеры.
3. Формирование сигналов, предназначенных для введения в контур управления беспилотным ЛА.

Обнаружение и опознание цели на начальном этапе работы системы управления производится оператором по экрану вспомогательного видеоконтрольного устройства ТВ системы. Вторая и третья задачи решаются в процессе наведения ТВ визиром, размещаемым на борту наводимого на цель летательного аппарата.

Рассмотрим принцип действия ТВ визира, в котором реализован амплитудный метод обработки видеосигнала. Пусть на светочувствительную поверхность передающей трубки с помощью оптической системы проецируется простейшее световое поле, состоящее из равномерного светового фона и некоторого малоразмерного (точечного) объекта (рис. 7.8,а), расположенного произвольно на этой поверхности. На рис. 7.8 x , y — измерительная система координат, центр которой совмещен с центром светочувствительной поверхности трубки (с центром раstra). Положение объекта на светочув-

ствительной поверхности в измерительной системе координат характеризуется координатами Δx и Δy .

Если считать, что через центр светочувствительной поверхности проходит ось оптической системы ТВ камеры, то координаты Δx и Δy характеризуют угловое отклонение линии визирования объекта от оптической оси. При этом, например, угловое отклонение объекта в вертикальной плоскости (рис. 7.8,б) составит угол

$$\Delta\theta_{\text{верт}} = \arctg(\Delta y/f), \quad (7.4)$$

где f — фокусное расстояние объектива (при $r \gg f$). Аналогичные соотношения имеют место при определении углового отклонения

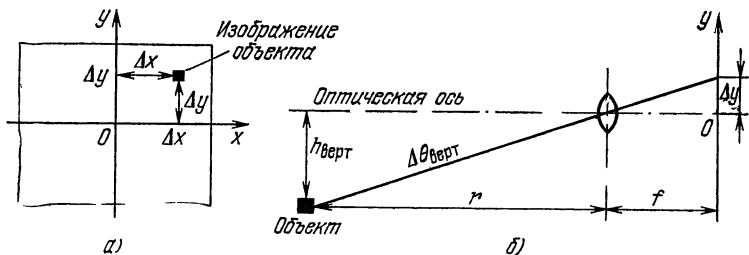


Рис. 7.8. К пояснению работы ТВ визира.

объекта в горизонтальной плоскости в зависимости от координаты Δx .

Телевизионная камера преобразует проекцию светового поля на фотокатод в ТВ сигнал в соответствии с законом развертки. Если предположить, что используется построчная (прогрессивная) развертка и на экране видеоконтрольного устройства на основании видеосигнала формируется ТВ изображение, то по координатам объекта на экране видеоконтрольного устройства относительно центра развертки можно определить угловые отклонения объекта. Если считать, что развертка идеально линейная, то угловое отклонение в вертикальной плоскости

$$\Delta\theta_{\text{верт}} = \arctg(\Delta y_{\text{вк}}/fM_{\text{из}}), \quad (7.5)$$

где $\Delta y_{\text{вк}}$ — координаты объекта на экране видеоконтрольного устройства по вертикали; $M_{\text{из}}$ — масштаб изображения на экране видеоконтрольного устройства по отношению к проекции оптического поля на фотокатode.

Аналогично выражаются отклонения объекта в горизонтальной плоскости в зависимости от горизонтального отклонения изображения на экране. Таким образом, измерив по экрану видеоконтрольного устройства отклонения изображения объекта от центра развертки, с которым в этом случае связано начало измерительной

системы координат, можно в соответствии с выражением (7.5) определить угловые координаты объекта в измерительной системе координат. Подобное устройство можно назвать неавтоматическим ТВ визиром.

Наличие разверток в ТВ устройстве обеспечивает закономерную связь линейных отклонений проекции цели на фотокатод и ее изображения на экране видеоконтрольного устройства с временными параметрами развертки и видеосигнала. Это позволяет перейти от измерения линейных отклонений изображения на экране к измерению интервалов времени, проходимых развертывающим лучом между центром развертки до изображения цели по горизонтали и вертикали (по направлениям строчной и кадровой разверток).

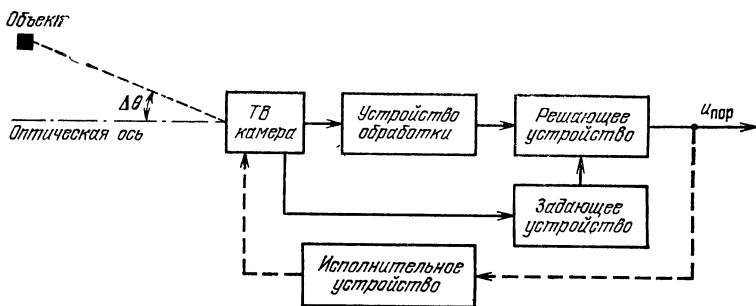


Рис. 7.9. Структурная схема автоматического ТВ визира.

Телевизионные автоматические визеры по структуре построения делятся на визеры с обратной связью и без нее. Их обобщенная функциональная схема приведена на рис. 7.9. С добавлением к схеме исполнительного устройства, показанного штриховыми линиями, образуется визир с обратной связью.

В общем случае ТВ визир может измерять угловые отклонения объекта от оптической оси системы в вертикальной (угол места) и горизонтальной (азимут) плоскостях, а ТВ визир с обратной связью, кроме того, может измерять и скорость изменения угловых отклонений в указанных плоскостях.

Визир без обратной связи непосредственно измеряет угловое отклонение $\Delta\theta$ объекта от направления оптической оси. На рис. 7.10 показаны основные геометрические соотношения при измерении ТВ визиром без обратной связи углового отклонения объекта в вертикальной плоскости. Отсчет углов при этом ведется от осей невращающейся системы координат x_n, y_n, z_n , начало которой совмещено с центром масс управляемого объекта (ЛА), а оси при любых

эволюциях ЛА остаются параллельными самим себе, причем оси y_n и z_n образуют вертикальную плоскость, а оси z_n , x_n — горизонтальную.

Создается такая система координат на подвижных визирах с помощью гироскопических или инерциальных систем. Положение объекта в этой системе координат в вертикальной плоскости определяется дальностью $r_{об}$ и углом $\Delta\theta_{верт}$; линия z — ось поля зрения оптической системы ТВ визира; угол

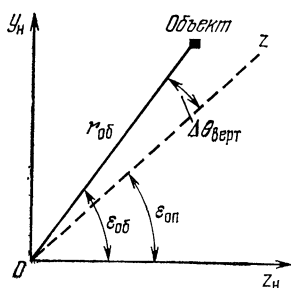


Рис. 7.10. Геометрические соотношения, поясняющие работу ТВ визира.

$\Delta\theta_{верт} = \varepsilon_{об} - \varepsilon_{оп}$ измеряется непосредственно в связанной с объектом системе координат, формируемой задающим устройством, поэтому при использовании данных измерений на самом управляемом объекте знание углов $\varepsilon_{об}$ и $\varepsilon_{оп}$ не требуется. На выходе визира без обратной связи формируется сигнал $u_{виз}$, зависящий от угла отклонения объекта $\Delta\theta_{верт}$.

Визеры с обратной связью являются телевизионными следящими системами (ТСС), обеспечивающими автоматическое слежение за угловым положением определенного объекта, находящегося на сложном фоне вместе с другими объектами. При этом система работает так, что положение поля зрения ТВ визира автоматически изменяется в пространстве в зависимости от положения наблюдаемого объекта. ТСС классифицируются по способу слежения, характеризующему вид исполнителя устройства, и по способу образования сигнала.

По способу слежения ТСС разделяются на следующие три группы.

1. Системы с механическим слежением, у которых ось поля зрения оптической системы совмещается с направлением на объект (обеспечивается слежением за объектом) путем поворота исполнительным устройством ТВ камеры.

2. Системы с оптико-механическим слежением, обеспечивающим слежение за объектом путем изменения положения оси оптической системы.

3. Системы с электронным слежением, у которых при относительно неподвижной ТВ камере (оптическом устройстве и передающей трубке) слежение за объектом осуществляется, путем перемещения под действием управляющего сигнала специального (слеящего) строка, всего раstra или электронного луча.

В системах с механическим и оптико-механическим автоматическим слежением может применяться одновременно и система

электронного слежения за объектом. Такие системы часто называют комбинированными или двухконтурными ТСС (две цепи отрицательной обратной связи). ТСС с комбинированным слежением обеспечивают более надежное сопровождение объекта и меньшую динамическую ошибку слежения при сложных маневрах объекта слежения.

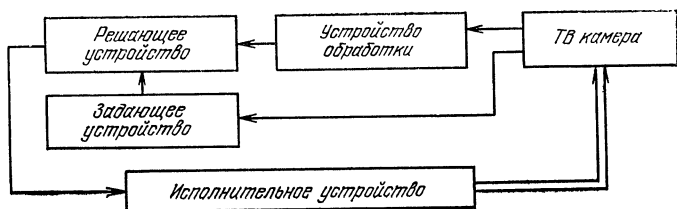


Рис. 7.11. Структурная схема ТВ визира с механическим слежением.

Структурная схема ТСС с механическим слежением приведена на рис. 7.11. Геометрические соотношения, поясняющие работу ТСС с механическим слежением за объектом в вертикальной плоскости, приведены на рис. 7.12, где обозначено: z — положение оси поля зрения оптического устройства в вертикальной плоскости; ψ — угол зрения ТВ камеры; $\varepsilon_{оп}$ — угол наклона оси поля зрения оптического устройства; $\varepsilon_{об}$ — угол наклона линии визирования объекта; $\Delta\theta$ — угловая ошибка рассогласования, которую ТСС стремится свести к нулю. Под углом ψ понимается пространственный угол, лежащий внутри поля зрения оптического устройства 2α (рис. 7.13), с вершиной в его узловой точке (O), которому соответствует на фотокатодe передающей трубки площадь, занятая ТВ растром aa' . При этом ось угла зрения проходит через узловую точку объектива и геометрический центр растра.

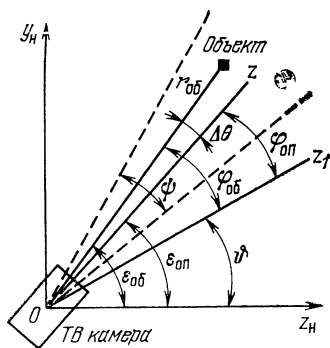


Рис. 7.12. К пояснению работы ТВ визира с механическим слежением.

Угол $\varphi_{об}$ (рис. 7.12), определяющий отклонение объекта от направления z_1 , связанного с продольной осью ЛА (при точном слежении $\Delta\theta=0$), может быть определен по отклонению ТВ визира от направления z_1 . Этого бывает достаточно при решении многих задач. Если необходимо знать угловое положение объекта в невращающейся системе координат ($\varepsilon_{оп}$), то необходимо измерить угол

ϑ с помощью другой измерительной системы, например, гироскопической. При известных ϑ и $\varphi_{оп}$ угол $\varepsilon_{оп} = \varphi_{оп} + \vartheta$.

В общем случае $\varphi \leq 2\alpha$. В системах с механическим слежением при слежении за объектом приходится поворачивать сравнительно массивную ТВ камеру, что при достаточно высоких угловых скоростях относительного перемещения приводит к значительным динамическим ошибкам слежения. Кроме того, выполнение угловых поворотов камеры связано с конструктивными трудностями, вызываемыми тем, что она кабелями соединена с источниками питания, устройством обработки ТВ сигнала и другими устройствами, обеспечивающими стабильность режимов его работы.

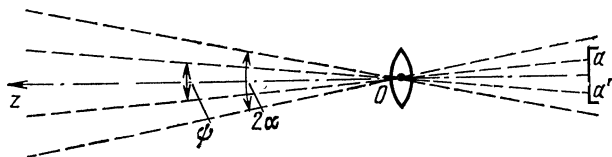


Рис. 7.13. К пояснению угла поля зрения оптического устройства ТВ камеры.

Системы с оптико-механическим слежением оказываются более удобными в конструктивном исполнении и обеспечивают меньшую динамическую погрешность. На рис. 7.14 приведена структурная схема ТВ визира с оптико-механическим слежением. В таких системах для поворота оси поля зрения оптического устройства применяется призма (зеркало), устанавливаемая перед объективом. Под действием управляющих сигналов исполнительное устройство (двигатель) поворачивает призму, а вместе с ней и ось поля зрения оптического устройства. При этом обеспечивается слежение за объектом.

По структуре построения и принципу действия системы с оптико-механическим слежением ничем не отличаются от систем с механическим слежением. Однако в первых объектом регулирования является призма, значительно менее массивная, чем ТВ камера; она может быть проще и лучше сбалансирована, не имеет электрических соединений с другими устройствами ТСС. Эти преимущества обеспечивают простоту конструктивного выполнения такой следящей системы и меньшую динамическую ошибку слежения.

Еще лучшими динамическими характеристиками обладают ТСС с электронным слежением. Используются две разновидности систем с электронным слежением: со следящим растром и со следящим стробом. На рис. 7.15 приведена схема ТСС, в которой слежение

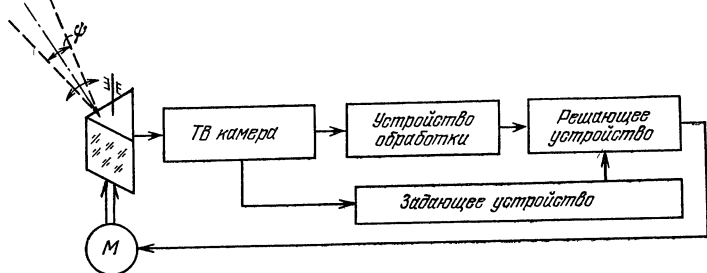


Рис. 7.14. Структурная схема ТВ визира с оптико-механическим слежением.

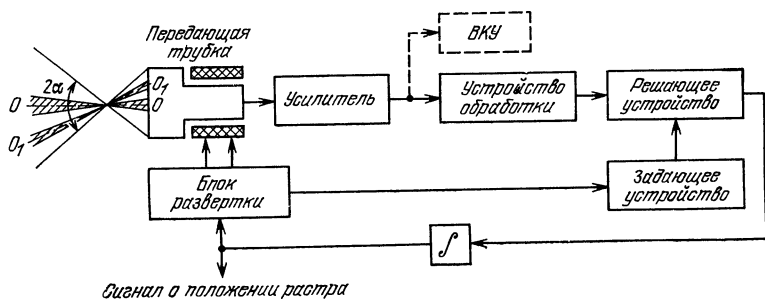


Рис. 7.15. Структурная схема ТВ визира со следящим растром.

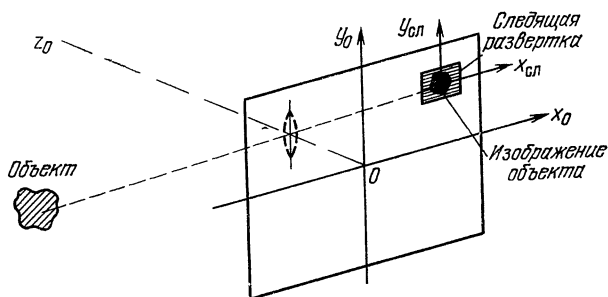


Рис. 7.16. К пояснению работы ТВ системы со следящим растром.

обеспечивается путем перемещения следящего раstra. Штриховыми линиями показано вспомогательное видеоконтрольное устройство (ВКУ) для обнаружения объекта слежения и ввода ТСС в режим автосопровождения.

В системе со следящим растром оптический сюжет проецируется на светочувствительный слой передающей трубки, как и в системе с механическим слежением. Однако развертка производится только в той части фотокатода (рис. 7.16), где находится проекция

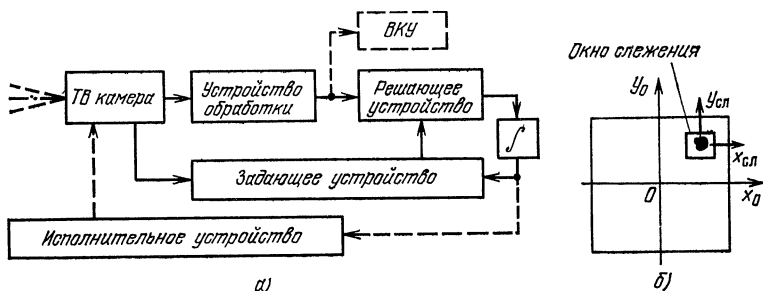


Рис. 7.17. Телевизионный визир со следящим стробом:
а — структурная схема; б — изображение на экране видеоконтрольного устройства.

объекта слежения. При угловом смещении объекта слежения на выходе решающего устройства (рис. 7.15) возникает напряжение расогласования, которое подается на интегрирующее устройство, выходной сигнал которого воздействует на генераторы развертки таким образом, что следящий растр перемещается за смещающимся объектом слежения.

В ТСС со следящим стробом, схема которой приведена на рис. 7.17,а, развертка проекции изображения осуществляется по всей рабочей части поверхности светочувствительного слоя передающей трубки. Слежение за объектом осуществляется специальным (следящим) стробом (окно слежения), который может просматриваться на вспомогательном видеоконтрольном устройстве (рис. 7.17,б) в виде специального изображения (перекрестия, засвеченного или затемненного квадрата и т. д.). В режиме слежения следящий строб вручную совмещается с выбранным объектом слежения по экрану вспомогательного видеоконтрольного устройства, после чего система включается в режим автосопровождения. При смещении объекта слежения следящий строб перемещается электронным исполнительным устройством вслед за объектом,

Работу ТСС со следящим стробом можно пояснить следующим образом. При смещении проекции объекта по поверхности фотокаатода относительно следящего строба на выходе решающего устройства образуется напряжение рассогласования, которое поступает на интегратор (рис. 7.18). Выходной сигнал интегратора по цепи обратной связи воздействует на задающее устройство так, что формируемые им сигналы строба изменяются и положение строба совмещается с проекцией объекта. Выходной сигнал интегратора мо-

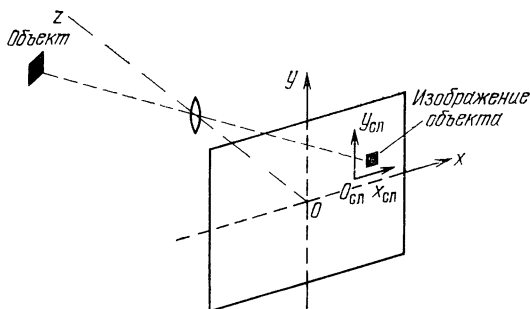


Рис. 7.18. Измерительная и следящая системы координат в ТВ визире.

жет использоваться как сигнал управления положением ТВ камеры (показано на рис. 7.18 штриховыми линиями) или положением рулевых органов управляемого объекта ТСС со следящим стробом, что обеспечивает возможность наблюдения и анализа всего поля изображения и в ряде случаев бывает крайне необходимым.

Телевизионные визиры с амплитудной обработкой видеосигнала. Решающее устройство обеспечивает преобразование временного интервала, характеризующего отклонение проекции объекта на светочувствительную поверхность передающей трубки от начала измерительной системы координат, связанной с этой поверхностью (разверткой), в соответствующий электрический сигнал. Проекция объекта на светочувствительную поверхность может быть в одном случае небольшой, соизмеримой с площадью элемента разложения, а в другом — иметь некоторую площадь, значительно превышающую площадь анализирующего элемента. В первом случае объект называется малоразмерным или точечным. В зависимости от размеров проекции объекта на светочувствительную поверхность, а также от сложности фона, на котором находится объект, могут применяться раз-

личные по структуре решающие устройства. Рассмотрим некоторые из них.

Наиболее простым является решающее устройство, в основе которого лежит метод непосредственного измерения временного интервала между видеопульсом от объекта и сигналом, характеризующим начало измерительной системы координат. Сущность этого метода сводится к тому, что формируются временные интервалы в направлении строчной и кадровой разверток между началом координат и видеопульсом от объекта. Для образования границ этих интервалов необходимо иметь сигнал, обозначающий начало измерительной системы координат, и сигнал, соответствующий положению точечной цели или ее границы, имеющий резкий контраст с окружающим фоном.

Сигнал, характеризующий положение объекта (видеосигнал), образуется на выходе передающей трубки. Сигнал, обозначающий начало измерительной системы координат, формируется специальной схемой. Длительность временного интервала измеряется и представляется в аналоговой (напряжение, ток) или цифровой форме.

Длительность временного интервала в аналоговой форме может быть определена двумя методами. Один из методов сводится к представлению длительности временного интервала средней составляющей видеопульсов с определенной амплитудой. В этом случае скважность измерительных импульсов, следующих с частотой строк (при измерении координаты Δx , рис. 7.8), примерно в z раз (число строк в растре) меньше, чем скважность измерительных импульсов, следующих с частотой кадров (при измерении координаты Δy). Таким образом, чувствительности измерительных схем при измерении координат Δy и Δx оказываются существенно различными. Кроме того, ошибки такого метода измерений временного интервала, обусловленные нелинейностью развертки и другими причинами, составляют 5—10%. Поэтому метод измерения временных интервалов по средней составляющей видеопульсов применяется очень редко и только в простейших ТВ автоматах.

Чаще используется метод фиксации напряжений (токов) развертки в момент появления видеопульсов цели. При реализации этого метода логическое устройство представляет собой фиксирующую схему, на один из входов которой подается напряжение, пропорциональное току в отклоняющих катушках, а на другой вход — видеопульс от объекта. Фиксирующая схема отпирается только во время прихода видеопульса, регистрируя при этом и передавая на свой выход текущий уровень пилообразного напряжения, где оно запоминается. При таком методе измерений временного интервала чувствительность схем измерения координат Δy и Δx одинакова и нелинейность разверток не вносит существенных искажений.

При цифровой обработке видеосигналов с целью измерения координат объекта используется метод преобразования временного интервала в цифровую величину путем подсчета количества счетных импульсов, прошедших в течение измеряемого временного интервала. В настоящее время наиболее широко используются ТВ автоматические визиры с обратной связью, логическое устройство в которых использует электронное слежение за проекцией объекта.

Логические устройства ТВ визиров с электронной системой слежения за проекцией объекта на светочувствительную поверхность передающей трубки различаются по типу используемого в них следающего (решающего) устройства. Это могут быть устройства слежения за малоразмерным точечным объектом, за одним из краев площади объекта или за геометрическим центром проекции цели. Используются также устройства, обеспечивающие на первом этапе слежение за точечным объектом с последующим переходом на слежение за геометрическим центром площади проекции объекта. Можно использовать и комбинированные методы.

Наибольшее распространение в ТВ визирах, используемых в системах управления беспилотными летательными аппаратами, получили логические устройства, обеспечивающие слежение за геометрическим центром площади проекции объекта, в которых могут применяться амплитудные логический и корреляционный методы обработки видеосигналов.

В ТВ автоматических и неавтоматических визирах с электронным слежением, помимо невращающейся измерительной системы координат x, y , применяется следающая система координат $x_{сл}, y_{сл}, z_{сл}$ (рис. 7.18). Две оси этой системы $y_{сл}$ и $x_{сл}$ располагаются также в плоскости светочувствительной поверхности передающей трубки и соответственно параллельно осям x и y . При слежении за объектом начало следающей системы координат (точка $O_{сл}$) перемещается по растру в соответствии с перемещением объекта.

Для автоматического (или визуального) определения отклонения проекции объекта в измерительной и следающей системах координат необходимо сформировать сигналы, которые характеризовали бы положение осей этих координатных систем, располагаемых в плоскости светочувствительной поверхности. По этим сигналам и по видеосигналам от объекта в решающем устройстве вычисляются координаты объекта.

При визуальном определении отклонения объекта от оси поля зрения с помощью видеоконтрольного устройства сигналы, характеризующие положение осей координат измерительной системы, подаются на управляющий электрод трубки видеоконтрольного устройства. В этом случае на экране видеоконтрольного устройства оси измерительной координатной системы наблюдаются в виде двух тонких пересекающихся под прямым углом линий повышенной

яркости. Положение объекта по отношению к этим линиям (началу координат) определяет его координаты.

Известны два способа создания следящей системы координат: со следящими стробами и со следящим перекрестием. Структура и принцип действия решающего устройства зависят от используемого способа создания следящей системы координат. Способ следящего строба применяется обычно в ТСС при аналоговой обработке в решающем устройстве видеосигналов от точечных и малоразмерных объектов, а способ следящего перекрестия обеспечивает более простую реализацию цифрового решающего устройства системы при слежении за объектами с большой площадью проекции на фотокатод трубки.

Рассмотрим примеры построения ТСС со следящим стробом. Изображение на экране видеоконтрольного устройства ТВ визира (рис. 7.17,б) со следящим стробом, предназначенного для автоматического сопровождения объекта, такое же, как и изображение в любой системе с визуальным наблюдением. На это изображение накладывается подсвечивающий прямоугольник, называемый окном слежения, определяющий пространственную область чувствительности визира и соответствующий положению начала следящей системы координат. Окно слежения образуется с помощью импульсов подсветки, генерируемых в задающем устройстве и совпадающих по времени со стробами слежения.

Появление изображения объекта в пределах окна слежения обеспечивает автоматическое слежение за этим объектом. Осуществляется слежение за объектами и совмещение окна слежения с объектом при его смещении. В процессе слежения за объектом на выходе решающего устройства появляются напряжения ошибки, пропорциональные смещению окна от центра раstra (начала измерительной системы координат). Это напряжение ошибки может быть использовано как управляющее для поворота камеры таким образом, чтобы ее ось поля зрения была направлена на объект. Таким образом осуществляется слежение за объектом в двух плоскостях.

Слежение за объектом можно осуществить и при неподвижной камере. В этом случае окно следует за движущимся объектом, а выходной сигнал решающего устройства может быть использован для формирования аналога координат объекта.

Сигнал ошибки по азимуту (в горизонтальной плоскости) и углу места (в вертикальной плоскости) вырабатывается в двух одинаковых по структуре параллельно работающих решающих устройствах, отличающихся только временным расположением сигналов.

На рис. 7.19 приведена функциональная схема логического устройства, обеспечивающего выделение сигнала ошибки (сигнала

рассогласования $u_{\text{инт}}$). Она включает в себя устройство формирования селективирующих следящих стробов, образующих одну из осей следящей системы координат, и решающее устройство, выделяющего сигнал рассогласования. Работу решающего устройства поясняют графики эпюр напряжений в основных точках. Под действием запускающих импульсов (эпюра a на рис. 7.19), следующих с частотой строк (для системы слежения в направлении строчной развертки) или кадров (для системы слежения в направлении кадровой развертки), запускается генератор пилообразного напряжения. Пилообразное напряжение (эпюра b) подается через суммирующее устройство на входы нуль-органов НО1 и НО2. На другие входы нуль-органов поступают пороговые сигналы $u_{\text{пор в}}$ и $u_{\text{пор н}}$, уровень которых определяет ширину формируемых следящих стробов. На выходах нуль-органов образуются видеопульсы в моменты времени, соответствующие равенству пилообразного напряжения и напряжения сигналов $u_{\text{пор в}}$ и $u_{\text{пор н}}$. На вход нуль-органа НО3 также подается пилообразное напряжение, на другой его вход поступает напряжение $u_{\text{пор 0}} = (u_{\text{пор в}} + u_{\text{пор н}})/2$. С выхода НО3 снимается сигнал, характеризующий положение спада переднего строба и совпадающего с ним по времени фронта заднего строба (эпюры $в, г$), образуемый в момент равенства пилообразного напряжения напряжению $u_{\text{пор 0}}$.

Триггер 1 запускается выходным импульсом нуль-органа НО1, а возвращается в исходное состояние выходным импульсом нуль-органа НО3. На выходе триггера 1 формируется передний следящий строб (эпюра $в$). Триггер 2 запускается выходным импульсом нуль-органа НО3, а возвращается в исходное состояние выходным импульсом нуль-органа НО2. На выходе триггера 2 образуется задний следящий строб (эпюра $г$). Триггер 3 запускается выходным импульсом нуль-органа НО1, а возвращается в исходное состояние выходным импульсом НО2. На выходе триггера 3 образуется сигнал следящего строба $u_{\text{сл}}$ (выделяются импульсы подсветки окна слежения) (эпюра $д$). Такой же строб подсветки (но другой длительности) выделяется логическим устройством второй следящей системы. Оба подсвечивающих строба суммируются, и результирующий сигнал, смешанный с видеосигналом, подается на управляющий электрод трубки видеоконтрольного устройства. При этом на экране трубки образуется изображение следящего окна в виде прямоугольника с более яркой или более темной засветкой (в зависимости от полярности подсвечивающего сигнала).

Сигналы переднего и заднего следящих стробов подаются в решающее устройство на одни входы элементов совпадений, на другие входы поступает сформированный (с выхода устройства обработки) видеосигнал u , от объекта слежения. На вход интегрирующего устройства выходные сигналы элементов совпадений подаются

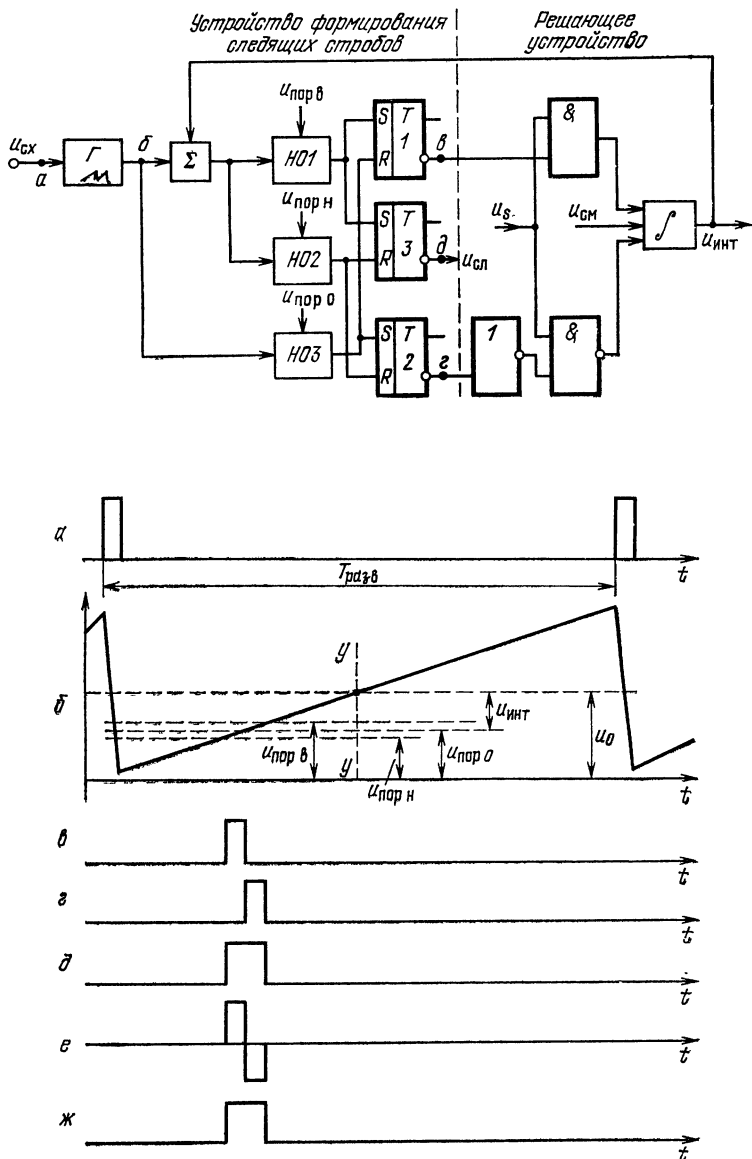


Рис. 7.19. К пояснению работы логического устройства ТВ визи́ра со следящим стробом.

в противоположной полярности так, что выходной сигнал одного увеличивает выходное напряжение интегратора, а выходной сигнал другого уменьшает его (эюра e).

Выходной сигнал интегратора используется как управляющий сигнал (сигнал рассогласования), с изменением величины которого изменяется постоянная составляющая пилообразного напряжения, подаваемого на нуль-органы НО1 и НО2. За счет этого момент пересечения пилообразным напряжением уровней $u_{порн}$ и $u_{порв}$ изменяется и положение следящих стробов смещается так, что их совпадающие спад и фронт располагаются по середине видеоимпульса (эюра $ж$). Для того чтобы осуществлялся процесс автоматического слежения за видеоимпульсами, следящие стробы необходимо совместить с этим импульсом на экране видеоконтрольного устройства вручную, изменяя напряжение смещения $u_{см}$ (рис. 7.19).

Напряжение u_0 (эюра $б$) характеризует положение оси измерительной системы координат. На эюре $б$ эта ось (вертикальная штриховая линия yy) располагается по середине раstra. Напряжение на выходе интегратора $u_{инт}$ определяет линейное и временное (с учетом развертки) отклонение объекта вместе со следящими стробами от оси измерительной системы координат, т. е. координату объекта в измерительной системе координат. Осью следящей системы координат в этом случае служит граница между передним и задним следящими стробами.

Видеосигнал, подаваемый на рассмотренное логическое устройство, предварительно обрабатывается в устройстве обработки. На абсолютное значение выходного сигнала ТВ камеры оказывают влияние различные посторонние факторы, такие как темновой ток, сигналы компенсации паразитных сигналов передающей трубки и яркость фона. Обработанный видеосигнал должен представлять собой напряжение, пропорциональное только разности между яркостью объекта и яркостью непосредственно прилегающего к цели участка фона. Для получения такого сигнала используется метод, называемый методом обращения к среднему уровню фона.

На рис. 7.20 приведены функциональная схема устройства обработки выходного сигнала ТВ камеры и эюры напряжения в характерных точках этой схемы. Обработка сигнала ведется следующим образом. ТВ сигнал (эюра $а$) подается на вход схемы стробирования и одновременно на вход преобразователя уровня фона. На протяжении развертывания каждой строки видеосигналы усредняются в преобразователе уровня фона и запоминаются в виде определенного уровня напряжения (эюра $б$), которое называется опорным напряжением. С приходом строчного селектирующего строба (импульса подсветки следящего окна, эюра $в$) формирование опорного напряжения прекращается и запомненный его уро-

вень в дифференциальном усилителе сравнивается с видеосигналом, прошедшим через схему стробирования во время действия селективного строба. Любое напряжение сигнала, отличающееся от опорного напряжения больше чем на величину выбранных пороговых уровней $u_{\text{пор в}}$, $u_{\text{пор н}}$ (эпюра $г$), положительного и отрицательного, образует на выходе порогового детектора униполярный сигнал от цели (эпюра $д$).

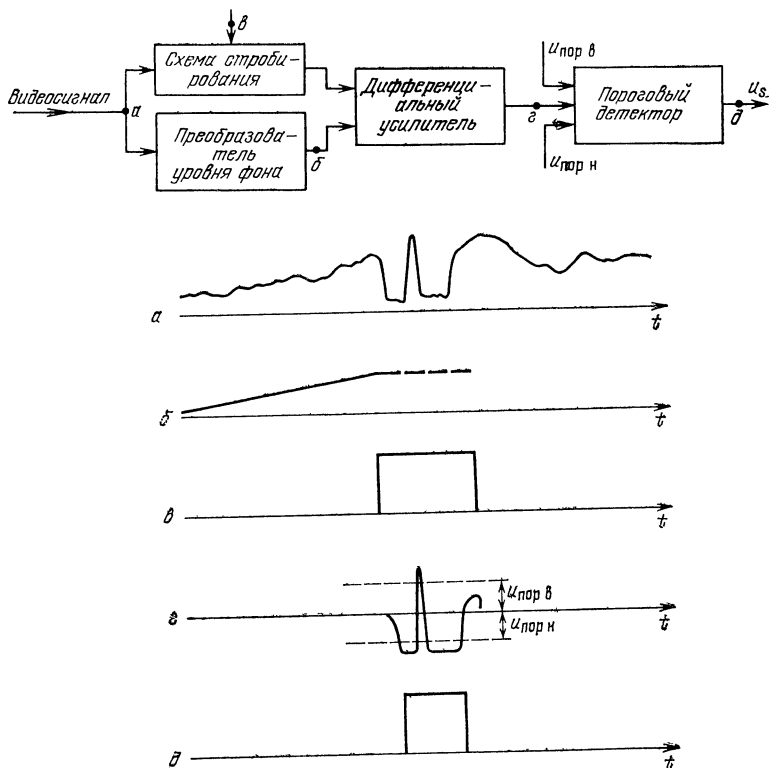


Рис. 7.20. К пояснению работы устройства обработки сигнала.

Поскольку пороговые напряжения $u_{\text{пор в}}$ и $u_{\text{пор н}}$ регулируются одновременно и независимо, непрерывное сопровождение объекта обеспечивается даже при внезапных кратковременных изменениях контраста объекта (отражение солнечных бликов и т. п.). Значительное изменение контраста в пределах площади объекта не влияет на выделение сигнала от объекта до тех пор, пока напряжение, соответствующее яркости объекта, превышает опорное на-

пряжение на величину, большую выбранного порогового уровня.

При правильном выборе постоянной времени усреднения в преобразователе уровня фона сформированный до появления сигнала от объекта уровень опорного напряжения должен соответствовать средней яркости фона. Если в процессе формирования уровня опорного напряжения появляются объекты хотя и с большей яркостью, но малые по размеру, то благодаря выбору большой постоянной времени усреднения появление этих объектов почти не изменяет уровня опорного напряжения.

Подобный способ обработки сигнала приемлем в том случае, когда объект наблюдается на сравнительно равномерном фоне (самолет на фоне чистого неба). Если же объект наблюдения находится на сложном фоне, метод обращения к среднему значению яркости фона в рассмотренном виде не может быть использован.

С приближением управляемого объекта, на котором установлен ТВ визир, к объекту наведения размер последнего на фоточувствительной поверхности передающей трубки будет увеличиваться. При этом импульс сигнала от объекта будет расширяться, соответственно должна быть увеличена и длительность следящих полустрелов, что приводит к уменьшению крутизны пеленгационной характеристики визира (зависимости напряжения рассогласования от угла отклонения объекта) и, следовательно, к уменьшению его чувствительности по угловому отклонению объекта.

Телевизионные визиры с корреляционной обработкой видеосигнала. Измерение угловых координат объекта корреляционными ТВ системами производится на основании сравнения двух изображений (видеосигналов от них) одного и того же оптического сюжета: эталонного, полученного заранее, и текущего, получаемого в процессе наведения летательного аппарата. Эталонное (заданное) изображение, представляемое в логическом устройстве соответствующим видеосигналом, характеризует требуемое положение объекта наблюдения по отношению к полю зрения ТВ камеры, в то время как видеосигнал от текущего изображения характеризует истинное положение этого объекта в поле зрения камеры. Сравнение видеосигналов от эталонного и текущего изображений путем определения их взаимокорреляционной функции позволяет установить отклонение текущего положения объекта от требуемого. При малых значениях этого отклонения заданное и текущее изображения практически совпадают и нормированная взаимокорреляционная функция характеризуется выражением (1.14). При значительных отклонениях взаимокорреляционная функция видеосигналов от двух указанных изображений определяется выражением (1.13).

Для выполнения своей функции ТВ следящая система корреляционного типа в процессе работы должна решать следующие задачи:

- получать видеосигналы от эталонного оптического изображения;
- получать видеосигнал от текущего оптического изображения;
- определять текущее значение взаимокорреляционной функции видеосигналов от заданного и текущего оптических изображений;
- определять ошибку слежения за объектом;
- формировать корректирующее воздействие, обеспечивающее устранение отклонения текущего изображения от заданного.

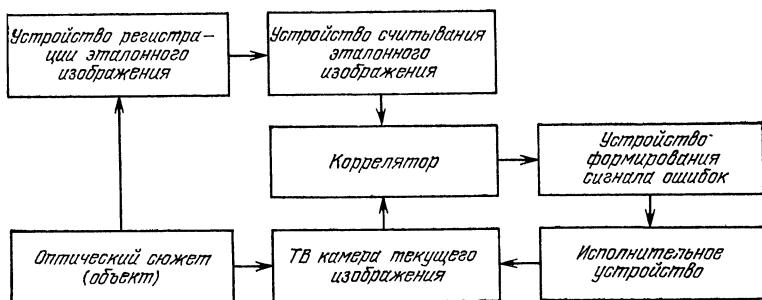


Рис. 7.21. Структурная схема ТВ визира корреляционного типа.

На рис. 7.21 приведена в общем виде структурная схема ТСС корреляционного типа. Эталонное изображение в ТСС получается и запоминается в устройстве регистрации эталонного изображения путем непосредственного фотографирования или записи одним из известных методов регистрации видеосигналов ТВ камеры, преобразующей оптическое изображение объекта. Для получения видеосигналов текущего изображения используется отдельная ТВ камера. С выхода устройства формирования видеосигнала от эталонного изображения в процессе работы ТСС снимается соответствующий сигнал. В определенных случаях в качестве эталонного изображения может использоваться изображение предшествующего ТВ кадра, сигналы которого предварительно регистрируются и воспроизводятся для сравнения в течение времени последующего кадра, рассматриваемого как текущее изображение.

Структура построения ТСС корреляционного типа и выбор метода сравнения изображений (тип коррелятора) определяются в основном реализуемыми в ней способами получения текущего и эталонного изображений. Коррелятор вычисляет значение взаимокорреляционной функции между видеосигналами эталонного и текущего изображений. Выходной сигнал устройства формирования

сигнала рассогласования характеризует величину и направление отклонения текущего изображения от эталонного.

Исполнительное устройство под действием сигнала рассогласования осуществляет соответствующий поворот ТВ камеры или летательного аппарата с жестко закрепленной камерой с тем, чтобы взаимокорреляционная функция сравниваемых сигналов была максимальна. При этом эталонное и текущее изображения будут совпадать. Так осуществляется слежение текущим изображением за положением эталонного изображения в ТСС корреляционного типа.

По принципу действия рассматриваемая система является экстремальной, так как корректирующее воздействие обеспечивает максимизацию сигнала на выходе коррелятора. Характерной чертой алгоритма работы любой системы экстремального регулирования является наличие процесса автоматического поиска экстремального значения функции корреляции сравниваемых изображений. Известно много способов поиска экстремума взаимокорреляционной функции ТСС. Однако наибольшее применение находят такие, которые обеспечивают простую реализацию коррелятора и устройства формирования сигнала рассогласования. Рассмотрим один из наиболее простых методов поиска корреляционной функции, часто реализуемой в ТСС.

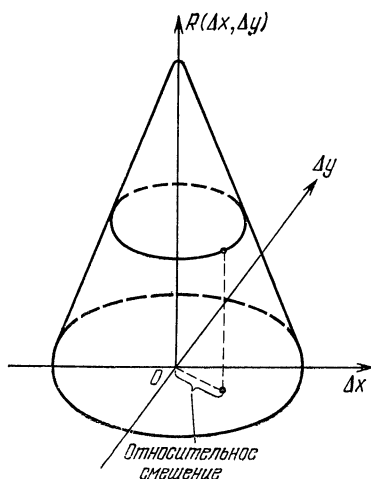


Рис. 7.22. К пояснению взаимокорреляционной функции, используемой в ТВ визире.

На рис. 7.22 показан примерный вид двумерной взаимокорреляционной функции двух идентичных оптических изображений и соответствующих им видеосигналов. Эта функция максимальна при полном совпадении сигналов в течение кадра изображения. При боковых (Δx) и продольных (Δy) отклонениях значение корреляционной функции уменьшается.

В ТВ визирах с корреляционной обработкой видеосигналов управляющий сигнал вырабатывают путем пробных смещений по двум осям эталонного и текущего изображений. Если смещение вызывает увеличение корреляционной функции, то вырабатывается соответствующий ему управляющий сигнал. В ТСС пробные смещения могут производиться как в канале формирования видеосигнала

от эталонного изображения, так и в канале формирования сигнала от текущего изображения в результате соответствующего изменения закона развертки в передающей ТВ трубке.

В качестве примера построения ТСС корреляционного типа рассмотрим аналоговый видеокоррелятор для навигационной привязки местоположения самолета. Функциональная схема системы приведена на рис. 7.23. Камера текущего изображения производит обзор местности под самолетом. Ее выходные видеосигналы поступают

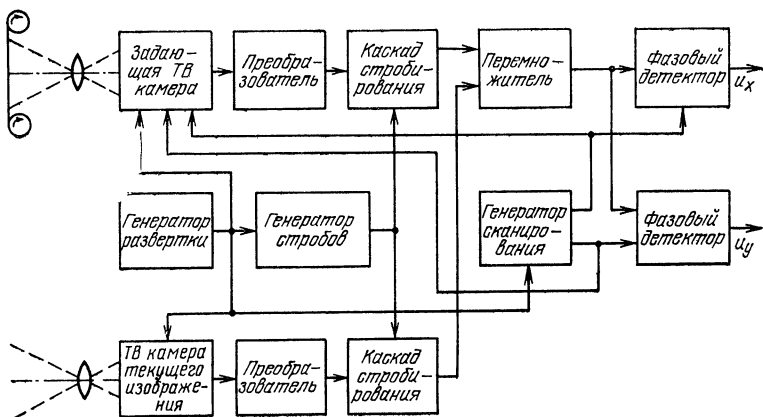


Рис. 7.23. Функциональная схема ТВ визира корреляционного типа.

в преобразователь, где нормализуются по амплитуде и дифференцируются для выделения наиболее крутых фронтов и спадов. Это позволяет использовать только контрастные световые переходы наблюдаемого участка земной поверхности.

Выходной сигнал преобразователя представляет собой однополярные видеопульсы длительностью несколько микросекунд. Совокупность этих импульсов однозначно определяет индивидуальность каждого участка земной поверхности, находящегося в поле зрения телекамеры. ТВ камера и преобразователь эталонного видеосигнала работают аналогично с той разницей, что объектом наблюдения ТВ камеры является заранее сфотографированная на фотопленку полоса местности, над которой должен пролетать управляемый с помощью ТСС самолет. Развертка раstra обеих телекамер осуществляется синхронно от единого генератора. Масштабы эталонного и текущего изображений должны быть согласованы путем подбора фокусных расстояний объективов камер. В системе осуществляется стробирование видеосигналов так, что исполь-

зуется только часть каждой строки того и другого сигнала. Коррелятором является перемножитель сигналов, поступающих с выходов стробирующих устройств. Поиск экстремума осуществляется градиентным способом с использованием синхронного детектирования. Поисковые движения задаются путем периодического смещения (сканирования) раstra задающей ТВ камеры: вверх, вниз, влево, вправо от некоторого среднего положения. Период сканирования равен двум периодам кадровой развертки, а время нахождения поля зрения в каждом из четырех смещенных положений равно половине периода кадра.

При наличии рассогласования между положениями текущего и эталонного изображений на выходе перемножителя появляется переменное напряжение, частота которого в два раза меньше частоты кадровой развертки. Амплитуда этого сигнала зависит от величины рассогласования, а фаза — от направления смещения изображения. Указанное напряжение подается на входы двух фазовых детекторов как сигнал рассогласования. Выходные сигналы u_x и u_y фазовых детекторов, пропорциональные величине рассогласования, могут использоваться для индикации отклонения самолета от заданного курса, а также для автоматического управления положением натурной ТВ камеры (камеры текущего изображения) или летательного аппарата, на котором установлена эта камера. При использовании подобных систем для вождения по заданному маршруту их выходное напряжение u_x используется для исправления курса самолета, а напряжение u_y — для соответствующего смещения фотопленки с эталонным изображением синхронно с полетом самолета.

В ТСС корреляционного типа информацией является относительное смещение текущего и эталонного изображений. Поэтому стремятся задать такой режим работы системы, при котором любой другой вид дезориентации указанных изображений был бы исключен. Другими словами, необходимо устранить влияние на воспринимаемое ТВ камерой изображение местности колебаний самолета вокруг трех его осей: продольной (по крену), поперечной (по тангажу) и вертикальной (по курсу), а также по изменению высоты полета. Этого можно достичь путем стабилизации углового положения ТВ камеры в пространстве и стабилизации высоты полета летательного аппарата с помощью гироскопических и инерциальных устройств, а также путем измерения углов тангажа, крена и курса, высоты полета с помощью специальных датчиков и использования полученной информации для коррекции результатов измерения взаимного смещения текущего и эталонного изображений с помощью ТСС. Для устранения влияния неустойчивости параметров полета летательного аппарата на работу ТСС могут применяться и другие способы.

К достоинствам ТВ визиров корреляционного типа можно отнести их способность обеспечить наведение управляемых объектов на малоконтрастные, хорошо замаскированные цели. Недостатком корреляционных визиров является их сложность, препятствующая их широкому применению. В качестве исполнительных устройств в ТВ визирах с механическим слежением обычно используются электродвигатели с редукторами. Также широко применяются в качестве обрабатывающих устройств силовые гироскопические устройства, обладающие рядом преимуществ перед обычными электродвигателями, в частности они могут считаться практически безынерционными исполнительными устройствами, обеспечивают хорошую «развязку» угловых движений визира и летательного аппарата, на котором установлен этот визир. Кроме того, гироскопические исполнительные устройства выполняют функцию стабилизирующего и отслеживающего элемента визира.

7.5. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ АВИАЦИОННЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ

Основными элементами ТВ системы без радиоканала (рис. 7.24) являются передающая камера и видеоконтрольное устройство. Для упрощения передающей камеры, уменьшения ее массы и габаритов в ней размещаются только объектив, первичный ТВ преобразователь, предварительный видеоусилитель, который усиливает ТВ сигнал до подачи его в кабель. В видеоконтрольном устройстве находятся основной видеоусилитель, синхрогенератор и блок развертки, который обычно является общим для кинескопа и передающей трубки. Отсутствие устройств синхронизации существенно упрощает систему без радиоканала. Большинство органов управления, в том числе и органов управления передающей камерой, располагаются обычно в видеоконтрольном устройстве. Примером неавтоматических замкнутых ТВ систем, используемых на летательных аппаратах, являются ТВ стрелковые прицелы, которые входят в комплекс оборонительного вооружения самолетов-бомбардировщиков. Они служат для визирования целей, находящихся в некотором телесном угле, и для дистанционного управления пулеметно-пушечным вооружением.

Особенностью ТВ прицела является применение в нем спиральной развертки. При этом скорость движения луча по спирали максимальна на краю раstra и уменьшается до нуля в центре экрана. Поэтому элементы ТВ разложения, а следовательно, и разрешающая способность не остаются постоянными для различных участков поля зрения: разрешающая способность имеет наибольшее значение в центре раstra и уменьшается к периферии в 1,5—2 раза.

Однако этот недостаток спиральной развертки согласуется с задачами обнаружения и прицеливания по воздушной цели: на краях раstra, где разрешение ниже, происходит обнаружение цели, прицеливание же ведется во время нахождения цели в центре экрана при максимальной разрешающей способности. Вторым весьма важным для прицела свойством спиральной развертки является то, что начало спирали довольно точно определяет электронно-оптическую ось передающей трубки и прицеливание по воздушной цели сводится к совмещению начала спиральной развертки с изображением цели. Данные об угловых координатах цели и скорости их изменения, а также о дальности до нее поступают в бортовую ЭВМ и используются при управлении оружием. Комплексное сочетание различных по принципу действия средств управления оружием на борту самолета-бомбардировщика существенно повышает надежность обнаружения и уничтожения воздушных целей.

Широкое применение на борту летательного аппарата находят ТВ индикаторы [9]. На транспортных вертолетах они используются при взлете и посадке, погрузке и выгрузке, для ориентирования и т. п.

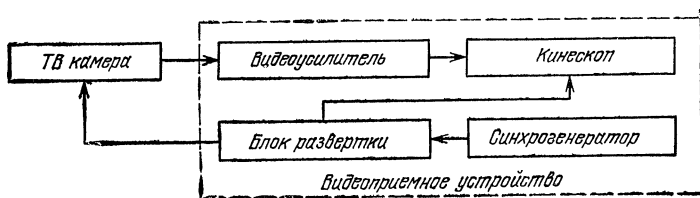


Рис. 7.24. Функциональная схема замкнутой ТВ системы.

Широкое применение на ЛА находят ТВ системы ориентирования на местности в сложных условиях, индикации горизонтальной и вертикальной обстановки и т. п. Многие из этих задач могут решать низкоуровневые ТВ системы (т. е. системы, сохраняющие работоспособность при весьма низких уровнях освещенности, в том числе ночью), устанавливаемые на борту летательных аппаратов. По данным зарубежной печати, низкоуровневые ТВ системы становятся основным элементом комплексных систем, обеспечивающих ночные боевые действия самолетов и вертолетов ВВС США [18]. На входе системы устанавливается высокочувствительная передающая трубка, иногда в сочетании с электронно-оптическим преобразователем. С помощью оптического устройства на фотокатод трубки проецируется изображение местности или посадочной площадки, находящейся под летательным аппаратом. Изображение местности с кинескопа специальным устройством отображается на лобовое

стекло в масштабе и форме, соответствующих визуальному наблюдению той же местности при нормальной видимости. Подобные системы устанавливаются на вертолетах и самолетах различного назначения [9]. Они позволяют воспроизвести на одном экране разнообразную информацию, необходимую для самолетовождения и управления оружием. В состав простейшего ТВ индикатора могут входить несколько кинескопов, на которых воспроизводятся выходные данные системы навигации, радиолокационного обзора, приборов управления оружием и т. п. С помощью передающих трубок (обычно видиконов) и обычных и полупрозрачных зеркал изображения с кинескопов объединяются и в удобной для восприятия форме воспроизводятся на выходном кинескопе с малым экраном и повышенной яркостью. В качестве выходного может использоваться проекционный кинескоп.

Более сложные системы индикации сочетаются с ЭВМ и образуют бортовой комплекс. В таком комплексе видеоконтрольное устройство индикатора вертикальной обстановки располагается на приборной доске пилота. По данным, полученным от системы навигации, радиолокационной системы, гировертикали и других приборов, ЭВМ синтезируют на ТВ экране индикатора вертикальной обстановки изображение. Оно аналогично тому, которое пилот видел бы через лобовое стекло с углом 18° по вертикали и 23° по горизонтали. Одновременно на экране отображается командная информация о скорости, высоте полета и ориентации самолета в пространстве.

Индикатор горизонтальной обстановки имеет двухлучевое видеоконтрольное устройство, расположенное на полу кабины. На нем при помощи видиконной передающей камеры воспроизводится навигационная карта, снятая на фотопленку, радиолокационное изображение местности и указываются местоположение самолета и некоторые другие данные, характеризующие обстановку в горизонтальной плоскости под самолетом.

Существуют ТВ системы для посадки самолетов ночью и в сложных метеоусловиях. Краткие сведения об одной из таких систем приводятся в [9]. В системе используется модель, имитирующая в некотором масштабе взлетно-посадочную полосу аэродрома и подходы к ней. Над моделью движется ТВ камера, управляемая так, что положение ее в каждый момент времени соответствует положению самолета, идущего на посадку на данную взлетно-посадочную полосу. Исходная информация о положении самолета передается с самолета на землю, а также поступает от обзорного радиолокатора аэродрома. ТВ изображение модели аэродрома с передающей камеры передается на самолет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксеногов Ю. В., Джакония В. Е., Жебель Б. Г. Телевидение/ Под ред. П. В. Шмакова. — М.: Связь, 1970.
2. Ворбанский А. М. Телевидение. — М.: Связь, 1973.
3. Брацлавец П. Ф., Росселевич И. А., Хромов Л. И. Космическое телевидение. — М.: Связь, 1973.
4. Левит А. Б. Введение в общую теорию телевидения. — М.: Сов. радио, 1967.
5. Рыфтин Я. А. Телевизионная система. — М.: Сов. радио, 1967.
6. Гуревич С. Б. Теория и расчет не вещательных систем телевидения. — М.: Энергия, 1970.
7. Михалков К. В. Основы телевизионной автоматики. — М.: Энергия, 1964.
8. Теоретические основы электрической передачи изображений в 2-х т./ Е. Л. Орловский, А. М. Халфин, Л. Д. Хазов, Г. Д. Зава-рин, Б. В. Круссер, Л. Н. Шелеванов. — М.: Сов. радио, 1962.
9. Телевидение в военном деле/ В. И. Быков, Е. П. Гусев, И. М. Кокурин, В. А. Поляков. — М.: Воениздат, 1969.
10. Костыков Ю. В. Основы проектирования систем и аппаратуры прикладного телевидения. — М.: Энергия, 1964.
11. Шумихин Ю. А. Телевидение в науке и технике. — М.: Энергия, 1970.
12. Красильников Н. Н. Помехоустойчивость телевизионных устройств. — Л.: Госэнергоиздат, 1961.
13. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Сов. радио, 1966.
14. Дерюгин Н. Г. Некоторые статистические характеристики теле-визионного сигнала. — Радиотехника и электроника, 1958, № 6.
15. Лебедев Д. С. Экспериментальное исследование статистики теле-визионных сообщений. — Техника кино и телевидения, 1959, № 3.
16. Scheiber W. F. Picture coding, — Proc. IEEE, 1967, v. 55, № 3.
17. Kretzmer E. R. Statistic of television signals. — BSTJ, 1952, v. 31, p. 751.
18. Бакаев Ю. Н. Исследование инерционной системы синхрониза-ции. — Радиотехника и электроника, 1958, № 3.
19. Барсуков Ф. И., Русанов Ю. Б. Элементы и устройства радио-телеметрических систем. — М.: Энергия, 1973.
20. Миронов М. А. Системы радиосвязи через искусственные спуг-ники Земли. — Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника, 1975, т. 7.
21. Величкин А. И. Теория дискретной передачи непрерывных сооб-щений. — М.: Сов. радио, 1970.
22. Левин Л. С., Плоткин М. А. Основы построения цифровых си-стем передачи. — М.: Связь, 1975.

23. Дроздов Е. А., Пятибратов А. П. Автоматическое преобразование информации. — М.: Сов. радио, 1964.
24. Roberts R. G. Picture coding using pseudorandom noise. — Trans. IRE, 1962, IT-8, № 2.
25. Tompson J. E. A pseudo-random quantizer for television signals. — Proc. IEEE, 1967, v. 55, № 3.
26. Дерюгин Н. Г. Спектр мощности и функции корреляции телевизионного сигнала. — Электросвязь, 1957, № 1.
27. Певзнер Б. М. Системы цветного телевидения. — М.: Энергия, 1969.
28. Шаров А. И. Передача дополнительной телевизионной программы в стандартном телевизионном канале. — Техника кино и телевидения, 1966, № 2.
29. Кажаяев С. И., Анфимов Ю. С., Зубарев Ю. Б. Передача звукового сопровождения в комплексе внестудийного телевизионного вещания. — Техника кино и телевидения, 1968, № 1.
30. Разработка бортовых ЦВМ. — Радиоэлектроника за рубежом, 1975, № 19.
31. Яценко К. Я., Зверев Ю. Б. Передача звукового сопровождения телевидения путем временного уплотнения видеосигнала импульсами, модулированными по фазе. — Электросвязь, 1964, № 3.
32. Кашаев С. Н., Зубарев Ю. Б. Передача изображения и звукового сопровождения в смещенном спектре. — Техника кино и телевидения, 1965, № 7.
33. Валик И. Л. Узкополосные малокадровые телевизионные системы. — Техника кино и телевидения, 1958, № 12.
34. Кочин В. И., Хромов Л. И. Сбор первичной видеоинформации с помощью малокадровых телевизионных систем. — Радиотехника, 1966, № 5.
35. Телевизионные системы с однострочным разложением: Реферат. — Техника кино и телевидения, 1959, № 2.
36. Котыс Г. П. Информационные сканирующие системы. — М.: Машиностроение, 1965.
37. Сонин Е. К. Радиоэлектронное оборудование космических аппаратов. — М.: Энергия, 1972.
38. Селиванов А. С. Панорамная телевизионная камера для автоматических лунных станций. — Техника кино и телевидения, 1968, № 1.
39. Применение нитевой оптики в электронно-оптических системах. — Зарубежная радиоэлектроника, 1961, № 4.
40. Малахов Н. К. Применение волоконной оптики при передаче телевизионных изображений. — Техника кино и телевидения, 1967, № 2.
41. Соул Д. Электронно-оптическое фотографирование. — М.: Воениздат, 1972.
42. Богатов Г. Б. Телевидение на Земле и в космосе/ АН СССР. — 1962.
43. Шумихин Ю. А. Телевидение в военном деле. — М.: Воениздат, 1959.
44. Верешкин А. Е. О статистической динамике телевизионных следящих систем. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. 9, 1969, вып. 3.

45. **Середницкий А. В.** Выделение элементарных изображений из шумов. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. 9, 1969, вып. 2.
46. **Середницкий А. В., Цыкунова Т. М.** О логической пространственной фильтрации телевизионных контурных изображений. — Вопросы радиоэлектроники, Сер. 9, 1965, вып. 3.
47. **Середницкий А. В., Кочетков Ю. Д., Нощенко В. С., Ляхов А. П.** Телевизионный логический фильтр. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. 9, 1968, вып. 1.
48. **Межов Ф. Д., Нощенко В. Р., Середницкий А. В.** Двумерный фильтр для подавления помех в телевизионном изображении. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. 9, 1968, вып. 1.
49. **Межов Ф. Д.** О весовой функции телевизионного фильтра пространственных частот. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. 9, 1968, вып. 1.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

В

Вторичная эмиссия электронов
49

Видикон 59

ВЭП — видикон 62

Визеры ТВ 225

с амплитудной обработкой
233

с корреляционной обработкой
241

Д

Дымка 17

Диссектор 52

Дискретизация ТВ сигналов 99

Дельта-модуляция 103

Дальность ТВ визирования 176

З

Закон Бугера 15

И

Импульс синхронизирующий 34

— гасящий 34

— уравнивающий 36

— вырезки 36

Искажения фазочастотные 110

— амплитудно-частотные 110

— амплитудные 112

К

Коэффициент ощущения 11

— отражения 12

— пропускания 12

— формы кадра 26

Контраст 11

Корреляционная функция изображения 21

Коррелометр оптический 21

Корреляционная функция ТВ сигналов 38

Кинескоп 73

Квантование ТВ сигналов по уровням 99

Кодово-импульсная модуляция
100

М

Метеорологическая дальность
видимости 16

Магнитная запись сигналов изображения 82

О

Освещённость 10

П

Плотность вероятности изображения 20

— ТВ сигналов 37

Период развертки по строкам
26

— — — кадрам 27

Приёмные электронно-лучевые
трубки 73

Потенциалоскоп 81

Помехи 88

Предварительный усилитель 88

Противошумовая коррекция 91

Р

Развертка изображения 7

Растр 24

Развертка:

однострочная 25

многострочная однокадровая
26

многокадровая построчная
27

многокадровая чересстрочная
29

многокадровая спиральная
30

шаговая 31

Разрешающая способность ТВ
системы 164

С

Сила света 10

Световой поток 10

Скоростной сдвиг изображения
28

Сигнал изображения 34
— позитивный 34
— негативный 34
— цветности 159
Суперортикон 53
Сэкон 63
Синхронизация 61
 автономная 64
 принудительная 65
 безынерционная 67
 инерционная 68
Система ТВ 5
 с электронной развёрткой 23
 со световой развёрткой 23
 активная 23
 пассивная 24
 узкополосная 127
 широкополосная 127
 с составной строкой 149
 цветная 155
 космических летательных аппаратов 178
 с оптико-механической развёрткой 196
 автоматическая 204
 с обратной связью 207
 замкнутая 246

Т

Телевидение 5

У

Уровень:
 белого 34
 чёрного 34
 гасящих импульсов 34
 синхронизирующих импульсов 34
Устройство фоторегистрации 79
— фиксирующее 114
— видеоконтрольное 136
— оптическое ТВ камеры 216

Уплотнение ТВ радиолнии 116
 методом частотной синхронизации 118
 методом фазовой синхронизации 118
 методом коммутации фазы 118
 временное 119

Ф

Фотоэффект:
 внешний 47
 внутренний 48
Фоторезистор 48
Фотоэлектронный умножитель 51
Фазовая автоматическая подстройка частоты 69

Ч

Число строк разложения 26
Число активных строк разложения 26
Чувствительность ТВ системы 168

Ш

Ширина спектра ТВ сигналов 43

Э

Энергетический спектр ТВ сигналов 40
Электронный оптический преобразователь 62
Эйбикон 62
Электронно-оптический модулятор света 78
Эпсилон — энтропия ТВ сигналов 106

Я

Яркость 10

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Световая информация и принципы телевизионной передачи изображений	5
1.1. Общие сведения о телевизионных системах	5
1.2. Световые характеристики объектов и освещенность первичного преобразователя	10
1.3. Статистические характеристики изображений местности	20
Глава 2. Структура и характеристики телевизионных сигналов	23
2.1. Виды телевизионной развертки изображения	23
2.2. Структура телевизионных сигналов	34
2.3. Статистические характеристики телевизионных сигналов	37
2.4. Ширина спектра телевизионных сигналов	43
Глава 3. Основные устройства телевизионных систем летательных аппаратов	47
3.1. Физические явления, используемые в первичных телевизионных преобразователях	47
3.2. Первичные преобразователи без накопления энергии	51
3.3. Первичные преобразователи с накоплением энергии	53
3.4. Некоторые специальные телевизионные преобразователи	62
3.5. Устройства синхронизации	64
3.6. Устройства для воспроизведения телевизионных изображений	73
3.7. Устройства регистрации телевизионной информации	79
Глава 4. Телевизионные каналы передачи информации	88
4.1. Помехи в телевизионном канале изображения	88
4.2. Аналоговые телевизионные радиоканалы	92
4.3. Дискретные (цифровые) телевизионные радиоканалы	97
4.4. Искажения телевизионного сигнала и их коррекция	110
4.5. Методы уплотнения телевизионной радиолинии	116
Глава 5. Способы построения и общие характеристики телевизионных систем летательных аппаратов	126
5.1. Классификация телевизионных систем летательных аппаратов по техническим признакам	126
5.2. Многокадровые телевизионные системы летательных аппаратов	131

5.3. Однокадровые телевизионные системы летательных аппаратов	139
5.4. Однострочные телевизионные системы летательных аппаратов	144
5.5. Способы построения систем цветного телевидения	155
5.6. Основные характеристики телевизионных систем летательных аппаратов	163
Глава 6. Телевизионные системы космических летательных аппаратов	178
6.1. Классификация телевизионных систем космических летательных аппаратов по их назначению	178
6.2. Особенности построения телевизионных систем космических летательных аппаратов	182
6.3. Примеры построения телевизионных систем космических аппаратов	193
Глава 7. Автоматические телевизионные системы летательных аппаратов	204
7.1. Общие сведения об автоматических телевизионных системах (телевизионных автоматах)	204
7.2. Оценка условий, определяющих возможность автоматической индикации телевизионных сигналов	210
7.3. Общие сведения об основных устройствах телевизионных автоматических систем	215
7.4. Телевизионные визиры	225
7.5. Особенности построения замкнутых авиационных телевизионных систем	246
Список литературы	249
Предметный указатель	252

Барсуков Ф. И. и др.
Б 24 Телевизионные системы летательных аппаратов:
Учеб. пособие для вузов/ Ф. И. Барсуков, А. И. Величкин, А. Д. Сухарев; Под ред. А. И. Величкина. —
М.: Сов. радио, 1979. — 256 с., ил.

В пер. 65 к.

В книге кратко излагаются общие принципы построения и особенности работы основных типов телевизионных систем летательных аппаратов (систем обзора земной поверхности и поверхности других планет, телевизионных систем посадки, телевизионных прицелов, вертолетных телевизионных установок и др.). Определяются задачи, которые решаются с помощью телевизионных систем летательных аппаратов. Анализируются статистические и специальные характеристики телевизионных сигналов для случая обзора земной поверхности. Излагаются методы построения радиоканалов телевизионных систем и возможности их уплотнения. Рассматриваются вопросы синтеза телевизионных автоматов различного назначения, автоматические телевизионные измерители координат объектов систем самонаведения и командного управления.

Б 30403-035
046(01)-79 01-79 2402020000

ББК 32.94-5
6Ф3

ИБ № 496

Филипп Иванович Барсуков
Александр Ильич Величкин
Александр Дмитриевич Сухарев

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Под редакцией проф. А. И. Величкина

Редактор Е. В. Вязова
Художественный редактор А. Н. Алтунни
Переплет художника В. Е. Карпова
Технический редактор Т. П. Сафонова
Корректор Н. М. Давыдова

Сдано в набор 10.08.78

Подписано в печать 13.03.79

Т-03192

Формат 84×103/32 Бумага машинописная Литерат. гарн. Печать высокая

Объем 12,44 усл. п. л.

14,55 уч.-изд. л.

Тираж 8200 экз.

Зак. 793

Цена 65 к.

Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 10 «Союзполиграфпрома»
при Государственном Комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.