

В. М. ГОРОДИЛИН

# Регулировщик радиоаппаратуры

Издание второе,  
переработанное и дополненное

Одобрено Ученым советом  
Государственного комитета СССР  
по профессионально-техническому образованию  
в качестве учебника для средних  
профессионально-технических училищ

**Scan Pirat**



Москва «Высшая школа» 1983

ББК 32.844  
Г70  
УДК 621.396.6

Рецензент — канд. техн. наук, доц. Р. Г. Варламон (Московский технологический институт)

Со всеми предложениями и замечаниями просим обращаться по адресу: 101430, Москва, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

**Городилин В. М.**

**Г70** Регулировщик радиоаппаратуры. Учебник для сред. проф.-техн. училищ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1983. — 176 с., ил. (Профтехобразование).

30 к.

В книге излагаются основы регулировки и настройки узлов и блоков РЭА, рассматриваются основные методы их осуществления. Приводятся описание измерительных приборов, принципы конструирования и технологии производства РЭА на базе микроэлектроники.

Во второе издание внесены изменения в связи с новыми схемотехническими решениями в области конструирования и регулировки РЭА.

Книга предназначена для подготовки учащихся в средних профессионально-технических училищах, а также может быть использована при профессиональном обучении рабочих на производстве.

Г 2402020000—180  
052(01)—83 18—83

ББК 32.844  
6Ф2.1

**ВАЛЕНТИН МИХАЙЛОВИЧ ГОРОДИЛИН**

**Регулировщик радиоаппаратуры**

Редактор Е. А. Варшавская, Художник В. М. Боровков, Художественный редактор Т. В. Панина, Технический редактор Л. А. Грингорчук, Корректор Г. А. Четчина.

ИБ № 3429

Изд. № ЭГ—11. Сдано в набор 06.08.82. Подп. в печать 17.03.83. Т—04695. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. тип. № 2 Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 11 усл. печ. л. 11,25 усл. кр.-отт. 12,28 уч.-изд. л. Тираж 80 000 экз. Зак. № 1364. Цена 30 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

© Издательство «Высшая школа», 1979

© Издательство «Высшая школа», 1983, с изменениями

## ВВЕДЕНИЕ

XXVI съезд КПСС поставил задачу — обеспечить дальнейший экономический прогресс, глубокие качественные сдвиги в материально-технической базе на основе интенсификации общественного производства и повышения его эффективности.

За последние годы в отечественной радио- и электронной промышленности достигнуты значительные успехи в области освоения новой технологии производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в том числе с широким использованием интегральных микросхем и микросборок, многослойных печатных плат и элементов функциональной микроэлектроники, основанных на опто-, акусто-, криоэлектронике и других физических явлениях. Усовершенствованы технологические процессы на основе максимального внедрения механизации и автоматизации в наиболее трудоемких операциях сборки, монтажа и контроля.

На базе широкого использования достижений научно-технического прогресса созданы и освоены в массовом производстве изделия электронной промышленности высокого качества, микропроцессоры и микро-ЭВМ различного назначения.

Массовый выпуск транзисторных радиоприемников, магнитол и телевизоров наряду с автоматизацией сборки и монтажа потребовал внедрения автоматизации настройки и контроля с использованием дискретной измерительной техники и встроенных микропроцессоров. В процессе производства радиоаппаратуры широко внедряются агрегатные комплексы средств электроизмерительной техники, повышающие качество регулировки, настройки и испытания аппаратуры и надежность ее работы.

В настоящее время внедряется единая отраслевая система управления качеством продукции, разработанная на базе государственной стандартизации, с широким использованием средств вычислительной техники и программно-целевых методов планирования.

Бурное развитие производства РЭА обусловлено необходимостью обеспечения научно-технического прогресса, требует подготовки большого числа квалифицированных рабочих, в том числе монтажников и регулировщиков радиоаппаратуры, для практи-

ческой деятельности которых изучение методов регулировки и испытаний аппаратуры становится особенно актуальным.

В процессе прохождения учебного курса учащийся должен уяснить себе основные приемы и этапы экспериментально-проверочных и регулировочных работ производственного процесса РЭА, а также всесторонне ознакомиться с кругом вопросов, связанных с испытанием аппаратуры и ее элементов.

В основу настоящей книги положены программа курса «Специальная технология для сборщиков и регулировщиков радиоаппаратуры», а также опыт работы отечественных и зарубежных радиотехнических предприятий в области организации и технологии электромонтажа аппаратуры, ее регулировки и испытаний. Наибольшее внимание в учебнике уделено основным принципам и последовательности выполнения регулировочно-настроечных и испытательных работ, проводимых на заключительном этапе производственного процесса, а также организации контроля качества выпускаемой продукции.

В книге § 2 главы I, § 3 главы II и глава V написаны Городилиным В. В.

**§ 1. Конструкторская и технологическая документация**

В Советском Союзе стандартизация имеет общегосударственное значение. Во всех отраслях промышленности действуют Государственные стандарты, в том числе: ГСС — Государственная система стандартизации; ГСИ — Государственная система, обеспечивающая единство измерений; ЕСКД — Единая система конструкторской документации; ЕСТД — Единая система технологической документации.

Наряду с Государственными стандартами СССР разработаны стандарты Совета экономической взаимопомощи (СТ СЭВ), которые также в обязательном порядке применяют в народном хозяйстве СССР. Порядок разработки, оформления и обращения конструкторской документации устанавливается ЕСКД, а технологической документации — ЕСТД.

Государственный стандарт (ГОСТ) имеет силу закона, публикуется только в качестве официальных документов и обязателен для всех организаций СССР.

Стандартизация — это установление уровня норм и требований к физическим и размерным величинам, сырью и продукции массового производства.

Нормализация — это разновидность стандартизации, которая устанавливает единые нормы и требования к однотипным изделиям по размерам, параметрам и методам испытаний, распространяется на устройства и детали механизмов, аппараты, приборы, средства автоматизации, инструмент и детали приспособлений, а также другую технологическую оснастку.

Нормаль — это технический документ, имеющий межотраслевое или заводское значение.

Основная цель стандартизации и нормализации — создание условий, способствующих высокому уровню выпускаемой продукции при резком сокращении трудоемкости монтажно-регулирующих работ и стоимости устройства. Продукцию радиоэлектронной промышленности выпускают в строгом соответствии с требованиями ГОСТов; межведомственных и отраслевых нормалей и технических условий (ТУ).

Для проведения работ по проектированию, изготовлению, настройке, регулировке, эксплуатации и ремонту РЭА разрабатывается техническая (конструкторская и технологическая) документация.

*Конструкторская документация* разрабатывается конструктором на стадии изготовления новых образцов РЭА.

В конструкторскую документацию входят различные схемы (принципиальные, монтажные и др.), эксплуатационные, ремонтные и другие документы

Правильно подобранный и достаточный по объему графический материал, входящий в конструкторскую документацию, позволяет дать наглядное представление о схеме, принципе работы и

конструкции устройства и облегчить детальное знакомство с монтажом и регулировкой отдельных элементов и РЭА в целом.

В радиоэлектронной промышленности при проектировании, а также при выполнении сборочно-монтажных и регулировочных работ применяют различные схемы. Схема представляет собой документ, на котором в виде условных изображений или обозначений показаны составные части устройства и связи между ними. Правила выполнения схем и условные графические обозначения, используемые в них, предусмотрены ГОСТ 2.701—2.799.

Наименование схемы, входящей в состав конструкторской документации по ГОСТ 2.701—76, определяется ее видом и типом. Вид схемы зависит от элементов и связей между ними, например электрическая (Э), кинематические (К) и др. В зависимости от назначения схемы бывают семи типов: структурные (1), функциональные (2), принципиальные (3), монтажные (4), подключения (5), общие (6), расположения (7). Типы схем, их определение и назначение приведены в табл. 1.

В технической документации схемы обозначаются шифрами, например монтажная электрическая схема имеет чертежный шифр Э4. Количество разрабатываемых схем определяется особенностями каждого устройства, при этом надо стремиться к тому, чтобы количество схем на устройство было минимальным, но в то же время содержало все достаточные для выполнения работ сведения.

Правила выполнения электрических схем установлены ГОСТ 2.702—75. При выполнении схем применяют следующие основные термины:

*элемент схемы* — ее неделимая составная часть, выполняющая определенную функцию в изделии (резистор, конденсатор и др.);

*функциональная группа* — совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию;

*устройство* — совокупность элементов, представляющая собой единую конструкцию (например, блок выпрямителя);

*функциональная цепь* — линия, канал, тракт определенного назначения (канал звука, видеоканал, тракт СВЧ и т. п.).

*Технологическая документация* разрабатывается технологами и предназначена для обеспечения технологического процесса производства РЭА. Основой при разработке являются конструкторская документация (в том числе принципиальные и монтажные схемы, ТУ, ГОСТы, отраслевые и заводские нормы), характеристика производства, количество выпускаемых изделий.

В состав технологической документации входят: маршрутная карта технологического процесса, операционная карта, технологические инструкции.

*Маршрутная карта* устанавливает последовательность операций. В ней перечисляются все названия технологических операций по сборке, монтажу, регулировке и т. д. в порядке их выполнения. Указывается также необходимое оборудование, измерительные

Таблица 1. Типы схем, их определение и назначение

Тип схемы	Определение	Назначение
Структурная	Схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязь	Разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, предшествующих разработке схем других типов. Ими пользуются при эксплуатации для общего ознакомления с изделием
Функциональная	Схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в функциональных цепях изделия или изделия в целом	Необходимы для изучения принципа работы изделия. Их также используют при наладке, регулировке, контроле и ремонте изделий
Принципиальная (полная)	Схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и дающая детальное представление о принципах работы изделия	На основании принципиальных схем разрабатывают другие схемы и чертежи. Принципиальные схемы служат основным документом для изучения принципов работы изделия, а также используются при работах по настройке, регулировке, контролю и ремонту аппаратуры
Монтажная (схема соединений)	Схема, показывающая конструктивное выполнение электрических соединений составных частей изделия и определяющая марку провода, жгута и кабеля, которыми эти соединения осуществляются, а также места их ввода (зажимы, разъемы, фланцы и т. д.)	При разработке других конструкторских документов, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей, а также для осуществления присоединений при наладке, контроле, ремонте и эксплуатации изделий
Подключения	Схема, показывающая внешние подключения изделий	При осуществлении подключений изделий при их эксплуатации
Общая	Схема, определяющая составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации	При ознакомлении с комплексами, а также при их контроле и эксплуатации
Расположения	Схема, определяющая относительное расположение составных частей изделия	При разработке других конструкторских документов, а также для расположения и эксплуатации изделий

приборы и инструмент. К маршрутной карте прикладывается чертеж устройства.

*Операционная карта* на каждую операцию разрабатывается только для массового производства и содержит описание типовой (базовой) технологической операции с указанием переходов, режимов обработки и регулировки, используемого оборудования, приборов и приспособлений. На операционной карте указывается

эскиз регулируемого устройства. Для выполнения операций по контролю технологического процесса разрабатывается контрольная карта.

## **§ 2. Этапы разработки РЭА**

Создание современной РЭА представляет весьма сложный процесс, требующий четкой организации работ на всех этапах, начиная с творческого замысла и кончая поставкой аппаратуры заказчику. Все это возможно только на основе системного подхода.

Основные направления и важнейшие проблемы конструирования сводятся к разработке научных основ и методологии; автоматизации; максимальному использованию стандартизации; переходу на микроэлектронную элементную основу; совершенствованию конструкций межэлементных соединений; применению цифровых принципов построения РЭА; замене электромеханических устройств электронными; интенсификации отвода тепла; обеспечению электромагнитной совместимости; достижению технологичности РЭА; учету требований дизайна (технической эстетики). Согласно ГОСТ 2.103—68 при создании РЭА устанавливают следующие стадии разработки: техническое задание, технические предложения, эскизный проект, технический проект, рабочий проект и их этапы (табл. 2).

При разработке новых образцов РЭА особое внимание обращают на:

- правильность выбора электрических и геометрических допусков, обеспечивающих выполнение требований ТУ в процессе эксплуатации;

- обеспечение соответствия устройства или изделия ТУ по радиотехническим параметрам при смене электровакуумных и полупроводниковых приборов, интегральных схем и других электрорадиоэлементов;

- правильность и целесообразность ведения регулировочных работ, целесообразность уменьшения их объема и увеличения сложности;

- проверку взаимозаменяемости устройств, наличие (при необходимости) соответствующих органов регулировки;

- проверку инструкций по регулировке, контролю блоков и изделия непосредственно на опытных образцах;

- разработку методики термотренировок устройств для обеспечения устойчивости их радиотехнических параметров при различных климатических воздействиях;

- разработку пооперационной технологии сборки, монтажа, регулировки и контроля;

- разработку предложений по автоматизации и механизации сборочных, монтажных и регулировочных работ;

- проектирование и изготовление технологической оснастки.



Таблица 2. Стадии и этапы разработки РЭА, их содержание

Стадии разработки	Этапы разработки и их содержание
Техническое задание (ТЗ)	Разработка ТЗ на РЭА общего применения и РЭА, выполняемую по особым условиям ТЗ — основание для проектирования РЭА. Назначение, состав РЭА и перечень конструкторской документации определяется ТЗ, при рассмотрении которого необходимо обратить внимание на: целесообразность проведения работы; сравнение с мировым уровнем техники и научно-техническим прогрессом в этой области; экономические характеристики работы (эффективность, трудоемкость, стоимость и наличие необходимых комплектующих изделий); подготовку научно-технической и технологической базы, необходимой для создания РЭА с требуемыми характеристиками
Техническое предложение (ПТ)	Подбор материалов, разработка технических предложений с присвоением документации литеры «П», рассмотрение и утверждение технических предложений. ПТ — совокупность конструкторской документации, содержащей технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки РЭА по ТЗ, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемой и существующей РЭА, а также патентных материалов
Эскизный проект (ЭП)	Разработка ЭП с присвоением документации литеры «Э», изготовление и испытание макетов, рассмотрение и утверждение ЭП. ЭП — совокупность конструкторской документации, содержащей принципиальные конструктивные решения, общие представления об устройстве и принципе работы РЭА, а также данные по назначению, основным параметрам и габаритам разрабатываемой РЭА
Технический проект (ТП)	Разработка ТП с присвоением документации литеры «Т», изготовление и испытание действующих макетов, рассмотрение и утверждение ТП — совокупность конструкторской документации, содержащая окончательное техническое решение и дающая полное представление об устройстве разрабатываемой РЭА и исходных данных для следующего этапа разработки — рабочей конструкторской документации
Рабочий проект	Разработка конструкторских документов для изготовления макетов экспериментальных (лабораторных) и опытных образцов; подготовка производства для изготовления опытных (головных) образцов (партий), их изготовление; заводские испытания; корректировка конструкторских документов по результатам изготовления и заводским испытаниям, государственные испытания. Присвоение конструкторской документации литеры «О»
Серийное или массовое производство	Подготовка серийного или массового производства; корректировка конструкторских документов по результатам изготовления и испытания опытных серий. Присвоение конструкторской документации литеры «О <sub>1</sub> »

Проектирование РЭА заключается в разработке принципиальной схемы и выборе номинальных значений и допусков на элементы РЭА и их параметры.

При традиционном методе проектирования сложная РЭА разбивается на функциональные группы, производится ориентировочный расчет с помощью методик, разработанных для различных функциональных групп, изготавливаются макеты, осуществляется настройка и регулировка (доводка) отдельных устройств и РЭА в целом.

Выполняя сложные операции, например регулировку блока УКВ радиоприемника, разрабатывают технологические инструкции, которые являются дополнением к технологической карте.

С появлением вычислительной техники появился новый метод проектирования РЭА — математическое моделирование. Математическая модель радиоэлектронного устройства позволяет изобразить поведение изделия и процессы, происходящие в нем, с помощью математической зависимости. Как известно из курса «Радиотехника», любую электрическую цепь на основе законов Ома и Кирхгофа можно представить в математическом виде. Одним из простейших элементов схемы является сопротивление, математическая модель которого выражается вольт-амперной характеристикой, т. е. зависимостью тока  $I$  от напряжения  $U$  на его выводах:  $U = RI$ .

Для постоянного тока эта зависимость — линейная. В высокочастотных цепях она будет нелинейной.

Еще более сложной является зависимость токов и напряжений в транзисторе. Математическая модель транзистора (рис. 1) определяется уравнениями, описывающими режимы его работы и процессы, происходящие в нем:  $i_K = f_1(U_{KB}, U_{ЭБ})$ ;  $i_Э = f_2(U_{KB}, U_{ЭБ})$ ;  $i_Б = i_Э - i_K$ , где  $i_K$ ,  $i_Э$ ,  $i_Б$  — токи коллектора, эмиттера и базы,  $U_{KB}$ ,  $U_{ЭБ}$  — напряжения коллектор — база и эмиттер — база.

Математическая модель радиоэлектронного устройства представляет собой систему дифференциальных и алгебраических (трансцендентных) уравнений, в общем случае нелинейных, описывающих электрические процессы в устройстве.

Таким образом, для того чтобы получить математическую модель схемы РЭА или отдельных ее устройств, нужно определить вид математических зависимостей, связывающих токи и напряжения в схеме.

Выбор математической зависимости (математического аппарата) определяется характером явлений, происходящих в схеме, так как основные задачи радиоэлектронных устройств состоят в формировании, передаче и преобразовании электрических сигналов. Процессы, происходящие в радиоэлектронных устройствах, характеризуются токами, напряжениями или потенциалами, взаимосвязаны и определяются способами

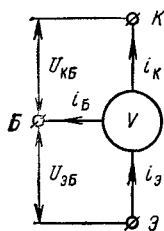


Рис. 1. Математическая модель транзистора

соединения элементов, их электрофизическими свойствами (емкостью, индуктивностью, сопротивлением, температурой и др.), а также значениями входных и питающих напряжений.

При разработке РЭА на интегральных микросхемах и микросборках основными исходными данными являются: назначение РЭА, количество и конструктивные параметры микросхем, вид технологии микросборок, вариант конструкции РЭА (кассетная, книжечная и т. д.), условия эксплуатации.

В процессе разработки необходимо научно обосновать выбор оптимального уровня интеграции микросхем и микросборок, технологию изготовления микросборок, конструкцию РЭА; реализацию РЭА при ограниченном объеме, массе и затратах, заданных в ТЗ.

Автоматизация конструкторского проектирования с помощью ЭВМ позволяет, применяя математические методы моделирования и оптимизации, выбрать лучший вариант конструкции и избежать анализа всех промежуточных решений.

Используя систему автоматизированного проектирования (САПР), можно осуществлять оптимальную трассировку соединений многослойных печатных плат, разработку фотошаблонов и автоматический контроль всех операций проектирования функциональных групп и устройств.

Высокая степень стандартизации конструктивных элементов и четкая регламентация правил выполнения документации в САПР создают предпосылки для автоматической разработки конструкторской документации. Документация представляется и выводится на носителях информации (перфорированные и магнитные ленты), хранится и обращается в цифровой форме. Эта информация при необходимости может быть переведена в нормальную конструкторскую документацию для использования в производстве РЭА.

Для перевода информации созданы чертежные автоматы по принципу станков с программным управлением. Здесь перфорированная лента управляет двухкоординатным чертежным устройством, которое перемещает по горизонтальному столу рабочую головку со сменным чертежным инструментом. Производительность автомата превышает производительность квалифицированного чертежника в десятки раз при значительно большей точности вычерчивания.

Разработаны также автоматические устройства, вычерчивающие конструкции в трехмерной проекции по данным, взятым из чертежей в ортогональной проекции.

В настоящее время созданы устройства — дисплей, позволяющие получать визуальное отображение буквенно-цифровой и графической информации. На электронно-лучевой трубке этого устройства с помощью специального светового пера конструктор может вести диалог с ЭВМ, так как данные о движении пера вводятся в память ЭВМ, обрабатываются ею и выдаются нужные результаты.

## Контрольные вопросы

1. Какие виды технической документации в соответствии с ЕСКД вы знаете?
2. Что изображают структурная и функциональная схемы и каково их назначение?
3. Каково практическое значение принципиальных схем? Что изображают на них в соответствии с ГОСТом?
4. Что представляют собой схемы соединения? Какие виды схем соединений вы знаете?
5. Для чего составляют перечни элементов к принципиальным схемам?
6. Что представляет собой общая схема и какие элементы в ней указывают?
7. Что определяет схема расположения и в каких случаях ее разрабатывают?
8. Что определяют монтажные схемы? Что изображают на них в соответствии с ГОСТом?
9. Какие основные конструкторские документы вы знаете и для чего их предназначают?
10. Какие основные технологические документы вы знаете?
11. Какие этапы разработки РЭА вы знаете?
12. Каковы новые методы проектирования?

## Глава II. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕ РЭА

### § 3. Особенности производства РЭА

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) выпускается на специализированных радиотехнических заводах, основным производственным звеном которых является цех. Цехи делятся на основные и вспомогательные.

В основных (производственных) цехах изготавливают детали, сборочные единицы, комплекты и комплексы РЭА. По производственному циклу эти цехи делятся на заготовительные (механические, штамповочные, гальванические, лакокрасочные и др.), сборочно-монтажные, регулировочные и контрольно-испытательные.

Вспомогательные цехи (инструментальный, энергетический и др.) служат для обеспечения бесперебойной работы основных цехов.

Производственная структура цехов характеризуется участками, специализирующимися на изготовлении определенной номенклатуры изделий. В зависимости от вида производства и выпускаемого количества готовых изделий производственные участки могут быть отдельными цехами (например, участок печатных плат илимоточных изделий при большом выпуске изделий может быть преобразован в цех).

В радиотехнической и электронной промышленности в зависимости от количества выпускаемых изделий различают следующие типы производства: единичное (опытное), серийное и массовое. При организации каждого типа производства требуется определенный подход к разработке технологического процесса изготовления деталей, сборочных единиц, а следовательно, проектированию того или иного оборудования.

Единичное (опытное) производство РЭА, при котором изделия выпускают небольшими партиями, строится по технологическому принципу и характеризуется использованием универсального технологического оборудования и специальной оснастки. С помощью оснастки можно быстро осуществлять переналадку оборудования при переходе от одной операции обработки детали к другой. Трудоемкость единичного производства велика и требует высокой квалификации рабочих.

При серийном и массовом производстве РЭА дифференцируют их процессы. При этом изготовление РЭА расчленяют на простые операции, которые выполняются на одном рабочем месте рабочими более низкой квалификации. Это позволяет использовать специальные автоматизированные линии — конвейеры.

При изготовлении сложной РЭА на одном предприятии может существовать несколько типов производства: крупносерийное ( типовые детали), серийное (сборка блоков и устройств), мелкосерийное (окончательная сборка и настройка).

Радиотехническое производство отличается многообразием и сложностью изделий, собираемых из ограниченного количества деталей и сборочных единиц, широкой номенклатурой используемых материалов, разнообразием технологических процессов, большим объемом сборочно-регулировочных и контрольно-испытательных работ.

В настоящее время большинство деталей и сборочных единиц общего применения (например, трансформаторы, реле, полупроводниковые приборы, микросхемы и др.) выпускают на специализированном производстве. Кроме предметной и поддетальной специализации широко развита технологическая специализация, при которой для централизованного производства выделены отдельные стадии технологического процесса (например, изготовление жгутов и печатных плат, литье, каркасное производство). Поэтому при специализации предприятий особое значение приобретают кооперация предприятий и централизованное снабжение радиозаводов всеми видами полуфабрикатов.

В связи с сокращением номенклатуры деталей и сборочных единиц, изготавливаемых на отдельных предприятиях, широко внедряют автоматизированную систему управления производством (АСУП).

Техническую и технологическую подготовку производства, планирование, нормирование, материально-техническое снабжение и сбыт выполняют отделы заводоуправления: главного конструктора, технолога, механика и энергетика, технического контроля, труда и зарплаты, планово-производственный, материально-технического снабжения, финансовый, кадров и др. При многих радиозаводах имеются конструкторские бюро, которые разрабатывают опытные образцы РЭА.

Особую роль на радиозаводах отводят отделу технического контроля (ОТК), который через своих представителей осуществляет контроль хода технологического процесса и качества выпускае-

мой продукции с целью предотвращения и ликвидации производственного брака и обеспечения установленного стандартами и ТУ качества выпускаемой продукции. В обязанности ОТК входят также разработка методов контроля, учета и анализа производственного брака.

Структура и взаимодействие служб заводов по контролю и анализу качества продукции показаны на рис. 2.

Текущий контроль, которому подвергаются сборочные единицы и блоки, выпускаемые различными цехами, позволяет исключить

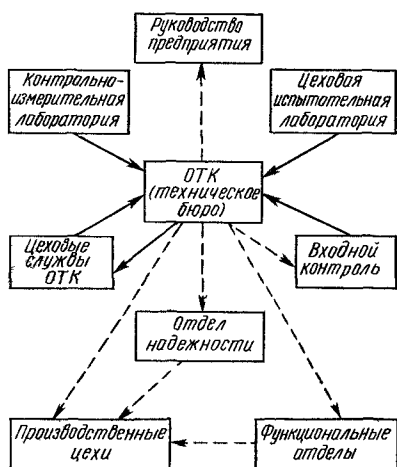


Рис. 2. Структура и взаимодействие служб завода по контролю и анализу качества продукции

поступление на сборку (монтаж) бракованных узлов или сборочных единиц. Для повышения ответственности рабочих за выпуск высококачественной продукции контроль на отдельных операциях осуществляют сами рабочие, причем многим из них предоставлено право сдачи продукции с личным клеймом.

Выходной контроль качества готовой продукции может быть сплошным и выборочным.

Проблема повышения качества и эффективности производства РЭА является сложной, многоплановой комплексной задачей и требует системного решения целого ряда мероприятий, в том числе: улучшение управления, планирования и организации производства; создание полностью автоматизированных систем про-

ектирования с использованием ЭВМ; унификация математического обеспечения и оборудования; перевод отдельных систем машинного проектирования на единую методологическую основу; совершенствование технологии производства и оборудования, создание автоматических систем управления технологическими процессами; улучшения качества исходных материалов и деталей; совершенствование системы контроля, контрольных операций и внедрение в производство автоматизированных систем управления качеством; повышение уровня подготовки и квалификации работников радиоэлектронной отрасли; экономическое обоснование проводимых мероприятий.

С развитием унификации и стандартизации в радиотехнической промышленности открылась широкая возможность типизации технологических процессов, которая позволяет: упростить, ускорить и удешевить технологию разработки; упорядочить существующие и внедрить более прогрессивные технологические процессы; создать предпосылки для их комплексной механизации и автоматиза-

ции; освободить человека от тяжелого труда, связанного с однообразной быстроутомляемой работой и профессиональными заболеваниями.

Дальнейшее развитие и совершенствование вычислительной техники позволило внедрить в производственный процесс автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУТП).

Применение АСУТП помогает: повысить качество и надежность выпускаемых изделий; сократить потери от брака и увеличить процент выхода годных изделий; обеспечить управление производством с учетом заданного плана выпуска изделий; повысить производительность труда; сократить трудоемкость изготовления; обеспечить контроль качества изделия на всех этапах технологического процесса и связь между различными уровнями производства.

Характеристика уровней АСУТП РЭА на микросхемах приведена в табл. 3.

Информация и команды, поступающие с различных уровней АСУТП, позволяют оператору принимать необходимые решения для управления всем технологическим процессом.

Таблица 3. Характеристика уровней АСУТП

Уровень	Характеристика
I	<p>Единичные технологические операции (механическая и химическая обработка подложек, окисление, фотолитография, защита и герметизация, измерение электрических параметров), характеризующиеся поэтапным выполнением. Технологические переходы могут осуществляться как по времени, так и по достижении контролируемого параметра. На данном уровне используют простые управляющие устройства — программаторы («время — команда» или «параметр — команда»)</p>
II	<p>Групповые технологические операции, позволяющие непрерывно оптимизировать процесс производства (уменьшать влияние разброса параметров исходных материалов и деталей на качество изделия, изменять режимы работы оборудования и др.) с учетом состояния технологического оборудования, квалификации рабочих и других факторов. На данном уровне достигают стабильности характеристик однотипных технологических операций в условиях серийного и массового производства</p>
III	<p>Сложные технологические операции, оказывающие влияние на качество интегральных микросхем (диффузия, эпитаксия и др.). На данном уровне используют системы, обеспечивающие автоматический поиск оптимальных режимов и непрерывную регулировку параметров технологического процесса с использованием статистического анализа</p>
IV	<p>Управление полным технологическим процессом. Высший уровень АСУТП включает все нижние уровни и решает задачи технологического процесса с учетом качества материалов, состояния оборудования и информации о качестве изделий, поступающей с выхода технологического процесса</p>

Широкое применение прогрессивных технологических процессов, стандартных средств технологического оснащения, а также комплексной механизации и автоматизации проектных и управленческих работ позволило внедрить единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Основными документами для проведения сборки РЭА являются технологические карты, в которых указываются приспособления, инструмент и последовательность проведения операций. В зависимости от типа производства сборка проводится либо вручную, либо на автоматических поточных линиях. Ручную сборку деталей или сборочной единицы слесарь-сборщик проводит на монтажном столе или конвейере. После сборки деталей, сборочных единиц и блоков аппаратуры на основании платы (шасси) приступают к электрическому монтажу.

#### § 4. Электрический монтаж РЭА

Электрическим монтажом называют монтаж электро- и радиодеталей, сопровождаемый соединением электрических цепей или включением в электрические цепи изделий.

При производстве РЭА применяют объемный, жгутовый и печатный монтаж.

*Объемный и жгутовый монтаж* обладает повышенной жесткостью и применим в основном для производства стационарной аппаратуры. Для электрических соединений между электро- и радиодетальями используют различные монтажные провода и кабели. Отечественная промышленность выпускает большую номенклатуру монтажных проводов и кабельных изделий, которую классифицируют по сечению проволоки, количеству проволок в жиле, виду изоляции, количеству ее слоев, наличию экранирующей оплетки и цвету.

Сечение монтажных проводов выбирают в зависимости от проходящего по ним тока, а изоляцию — от напряжения и условий, в которых аппаратура должна работать. Допустимые токовые нагрузки приведены ниже.

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2	4
Допустимый ток, А	1,3	2,5	3,5	5	7	10	14	17	25

Объемный электромонтаж в зависимости от особенностей конструкции аппаратуры и условий ее эксплуатации осуществляют либо медными неизолированными, либо изолированными проводами и кабелями.

Для объемного жесткого монтажа применяют одножильную медную проволоку диаметром 0,4—4 мм с антикоррозионным покрытием. Чаще всего применяют медную луженую или посеребренную проволоку.

Электрический монтаж аппаратуры, если он не связан с подвижными элементами, должен быть механически прочным и не менять своего первоначального положения в процессе эксплуатации



и транспортировки аппаратуры. Для межузловых, межблочных и межприборных соединений, а также для соединения многоконтактных элементов (переключателей, реле, контакторов и др.) используют многожильный провод, отличающийся гибкостью и эластичностью.

В настоящее время для внутриблочного фиксированного монтажа малогабаритной и слаботочной аппаратуры широко применяют многожильные и ленточные провода, имеющие поливинилхлоридную изоляцию.

В подготовку проводов и кабелей к монтажу входят: нарезка заготовок требуемой длины, зачистка концов проводов от изоляции, заделка концов проводов и кабелей, скрутка и облуживание жил провода, заделка экранирующей плетенки на проводе и другие технологические операции.

Нарезка мерных заготовок монтажных проводов и кабелей производится в строгом соответствии с технической документацией (таблицей монтажных соединений и указанием марки сечения и цвета провода).

При единичном производстве провода и кабели нарезают вручную кусачками или гильотинными ножницами по масштабной линейке. В серийном и массовом производстве провода изготавливают специальными автоматами, которые кроме мерной резки производят и зачистку концов проводов. Это значительно повышает производительность труда и резко снижает себестоимость операции.

После нарезки концы монтажных проводов и кабелей вручную (механическими, электрическими приспособлениями, щипцами) или автоматами зачищают от изоляции на длине 7—10 мм.

Для снятия изоляции с концов монтажных проводов, не содержащих в изоляционном слое стекловолокна, эмали и других негорючих или токсичных материалов, на заводах РЭА применяют электрообжиг.

Зачищенные и скрученные концы монтажных проводов лудят горячим способом, опуская их на 1—2 с в электрованну с расплавленным припоем ПОС-40. При лужении концов провода применяют бескислотные флюсы. Способ заделки изоляции определяется маркой применяемого провода и выполняется в соответствии с технической документацией.

Концы монтажных проводов, имеющие изоляцию или оплетку из стекловолокна, шелка и капрона для предохранения от разломачивания закрепляют нитроклеем или электроизоляционными трубками.

Экранирующую оплетку проводов и выводы для заземления заделывают скруткой самой оплетки или к концу оплетки припаивают отрезок гибкого луженого провода.

В настоящее время для объемного электрического монтажа созданы автоматические устройства с программным управлением, производящие соединение проводников со штырями накруткой (навивкой), что обеспечивает большую гибкость монтажа при

проектировании опытных образцов аппаратуры и свободное изменение компоновки схемы. При автоматической накрутке сохраняется идентичность монтажа однотипных блоков. Монтаж накруткой экономически эффективен при выпуске малых партий изделий.

*Внутриблочный и внутристоечный электрический монтаж* осуществляют монтажными проводами, связанными в жгуты, что повышает механическую прочность изделия, снижает трудоемкость монтажных работ, делает внутренний монтаж аппаратуры более доступным для ремонта.

При разработке РЭА конструктор устанавливает необходимость вязки монтажных проводов отдельными жгутами. Необходимо сводить к минимуму одиночные соединительные проводники, объединяя их в жгуты и кабели.

Рассмотрим технологический процесс изготовления жгутов в единичном производстве.

Перед началом вязки жгута заготавливают монтажные провода, кабели и в соответствии с таблицей соединений нарезают их требуемой длины, сечения, марки и цвета. Концы проводов зачищают, лудят, заделывают и раскладывают в пучки. Каждый пучок имеет свой номер. Сначала провода закрепляют на начальной шпильке, затем прокладывают по схеме жгута и закрепляют на конечной шпильке. Начальная и конечная шпильки имеют один и тот же номер. Когда все провода уложены, их обвязывают льняными нитками и пробником проверяют правильность укладки проводников.

В многожильных жгутах, где невозможно заменить вышедшие из строя провода, предусматривают запасные провода из расчета 8—10% от общего количества и укладывают их по всей длине жгута.

В серийном производстве монтаж сложной крупногабаритной или многоблочной аппаратуры с большим количеством проводов и кабелей разбивают на ряд отдельных жгутов, изготавливаемых на самостоятельных шаблонах. Этим значительно повышается технологичность конструкции, упрощается процесс изготовления жгутов и их последующий монтаж.

В крупносерийном производстве для изготовления монтажных жгутов применяют специальные стенды со световой сигнализацией, показывающей направление укладки проводов и места их подключения. Применение таких стендов облегчает труд монтажников, исключает ошибки в раскладке проводов и не требует дополнительной проверки.

Наряду с монтажом аппаратуры жгутами при производстве РЭА применяют специальные ленточные плоские кабели с пластмассовой изоляцией. Токопроводящие жилы этих кабелей изготавливают из медной луженой проволоки, уложенной параллельно в одной плоскости и опрессованной цветным полиэтиленом или другим изоляционным пластиком. Кабели различного сечения могут состоять из 20 жил.

## § 5. Оборудование рабочего места радиомонтажника

Рабочим местом радиомонтажника при индивидуальном и мелкосерийном производстве РЭА является монтажный стол, оснащенный необходимым оборудованием и приспособлениями (рис. 3).

Крышку стола покрывают гладким износостойчивым пластиком. При монтаже крупногабаритных блоков и приборов на поверхность рабочего стола кладут специальный коврик. Ящики стола предназначены для хранения в них инструмента, деталей, материалов и измерительных приборов, используемых при монтаже.

Для освещения рабочего места применяют раздвижную электроарматуру с глубоким поворотным отражателем. Для отсоса продуктов сгорания при выполнении электромонтажных работ на панель стола выведены два штуцера, которые резиновыми шлангами подсоединяются к общей вытяжной вентиляции.

Для уменьшения шума и вибрации при использовании пневматического или другого вибрационного инструмента на рабочем месте имеются различные приспособления, а для подключения электропаяльника и приборов — специальные колодки — зажимы. В целях безопасности работы радиомонтажника на монтажном столе применяют изолированную электропроводку. Зажимы ввода электроэнергии к рабочему месту должны иметь ограждения. Пол под ногами радиомонтажника должен быть сухим и изолированным от металлических частей. Допускается напряжение для электропаяльников и тиглей не более 36 В, а для обжигалок и пробников — 6 В.

При работе с полупроводниковыми приборами и микросхемами необходимо заземлить корпуса паяльника, полуавтоматических и автоматических установок, измерительной и другой аппаратуры. Для соединения электрических цепей используют зажимы, разъемы и другие приспособления, исключающие их самопроизвольное отключение. Рабочее место радиомонтажника по ГОСТ 6433. 2—71 должно изготавливаться из материалов, удельное поверхностное электрическое сопротивление которых выше  $10^9$  Ом.

Радиомонтажники, работающие с микросхемами, должны быть обеспечены хлопчатобумажными халатами, антиэлектростатиче-

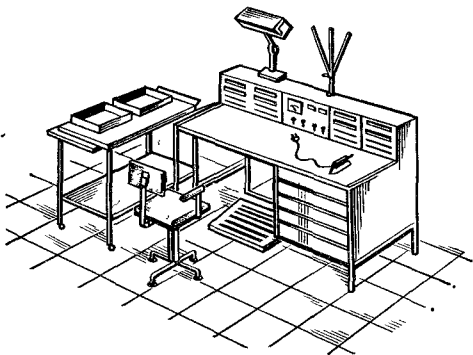


Рис. 3. Рабочий стол радиомонтажника

ской обувью и заземляющими браслетами, плотно прилегающими к руке для отвода электростатических зарядов.

Производительность и качество монтажных работ, сокращение расхода материала и энергии во многом зависит от правильной организации рабочего места, применяемого оборудования, инструмента и приспособлений.

Количество инструмента, необходимое для выполнения электромонтажных работ, должно быть минимальным. Специальные инструменты и приспособления целесообразно выдавать только на временное пользование. Постоянно или периодически употребляемые инструменты должны находиться в поле зрения радиомонтажника на одном и том же месте.

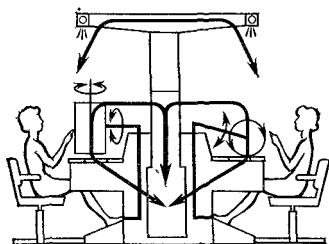


Рис 4 Рабочее место радиомонтажника на конвейере

Секция на два рабочих места типового конвейера сборки и монтажа приборов и блоков в условиях серийного производства показана на рис. 4. Секция состоит из: рабочего места (стол, стул, ящики для инструмента и личных вещей), средств освещения

и вентиляции (притяжной и вытяжной), связи и информации (переговорное устройство, табло отсчета времени и ритма) и технологических средств (кантователи с ножным управлением и ручной регулировкой, монтажные кассеты).

### Контрольные вопросы

1. Каковы особенности производства РЭА?
2. Какова основная структура современного производства РЭА?
3. Какие типы производства вы знаете?
4. Какова роль ОТК в процессе производства?
5. Какие основные виды монтажа вы знаете?
6. Что такое АСУП и АСУТП?
7. Охарактеризуйте рабочее место радиомонтажника.

## Глава III. ПЕЧАТНЫЙ МОНТАЖ

### § 6. Понятие о печатном монтаже

Трудоемкость сборки и монтажа РЭА, в которой электрические соединения выполнены монтажными проводами (объемный монтаж), составляет более 50% от общей трудоемкости производства. Причина таких больших затрат труда заключается в малой механизации сборочных и монтажных работ и невозможности осуществления групповых методов монтажа и пайки.

Одним из методов снижения трудоемкости указанных работ является применение печатного монтажа.

Печатный монтаж заключается в определенной пространственной ориентации, закреплении радиодеталей относительно плоскости платы и упорядоченном плоскостном расположении всех соединительных проводников и мест паяк с целью одновременной пайки всех радиодеталей, установленных на плате. Роль проводников печатной платы (рис. 5) выполняют участки тонкой

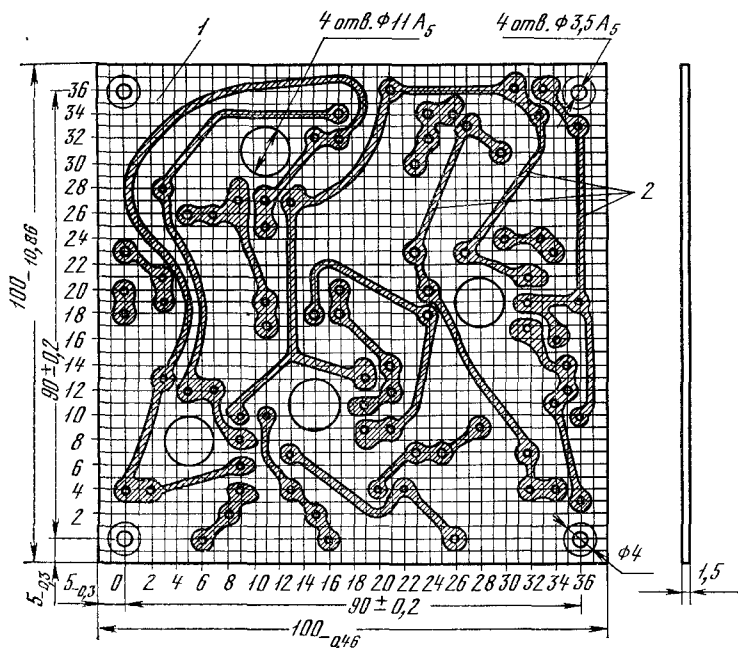


Рис. 5. Печатная плата

медной фольги 2, нанесенной на изоляционное основание платы 1.

Печатный монтаж РЭА по сравнению с объемным имеет следующие преимущества: значительное снижение трудоемкости производства аппаратуры за счет механизации и автоматизации сборочно-монтажных работ; повторяемость параметров от образца к образцу за счет идентичности форм и размеров печатных проводников; сокращение объема контрольно-испытательных операций и их автоматизация; повышение надежности изделий из-за сокращения числа паяк и уменьшения ошибок при монтаже за счет автоматизации монтажно-сборочных и контрольных операций.

Помимо производственного печатный монтаж имеет другие достоинства: печатные проводники выдерживают в пять раз большую плотность тока, чем объемные; упрощается процесс поиска неисправностей; уменьшается масса изделия из-за ликвидации деталей промежуточного крепления радиоэлементов и проводов.

## § 7. Конструкции печатного монтажа

В производстве РЭА применяют различные конструкции печатных плат: односторонние, двусторонние, на гибких основаниях, многослойные. Наиболее широкое применение в производстве бытовой РЭА (радиоприемников, телевизоров, магнитофонов и др.) получили односторонние и двусторонние печатные платы, имеющие простую конструкцию. Основные размеры печатных плат регламентированы ГОСТ 10317—62.

При односторонних печатных платах проводники и печатные элементы располагают с одной стороны изоляционного основания, при двусторонних — с обеих сторон. Односторонний печатный монтаж позволяет успешно решать задачу механизации и автоматизации производства радиоаппаратуры благодаря механизации изготовления монтажных и переходных отверстий, а также обеспечению групповых методов пайки. По сравнению с односторонними платами двусторонние сложнее в разработке, дороже, но позволяют в неизменном объеме РЭА разместить большое число деталей, т. е. увеличить плотность монтажа.

Рис. 6. Печатные платы на гибких основаниях

При конструировании печатных плат наиболее важным является ограничение размеров и упрощение формы платы. Обычно печатные платы имеют квадратную или прямоугольную форму с размерами не более  $240 \times 360$  мм. Но во всех случаях рисунок монтажа должен максимально использовать площадь платы при условии, что собственные шумы схемы, нежелательные емкостные связи монтажа и другие паразитные связи должны быть минимальными.

В вычислительной технике, технике средств связи и других областях находят широкое применение печатные платы на гибких основаниях (рис. 6). В зависимости от расположения проводников на изоляционном основании различают два вида гибкого печатного монтажа: плоский кабель 1 в сочетании с гибкой печатной платой 2, плоский кабель 1 в сочетании с многослойной печатной платой 3. При применении этого вида монтажа значительно уменьшаются размеры устройств, повышаются точность компоновки и надежность соединений, сокращаются расходы на изготовление, монтаж и регулировку РЭА, что позволяет легко осуществлять автоматизацию производства.

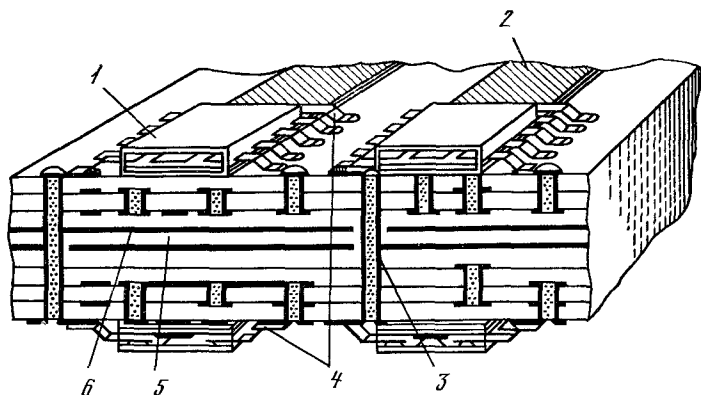


Рис. 7. Многослойная печатная плата

Разработка и производство РЭА и ЭВМ с использованием интегральных микросхем, имеющих высокую плотность компоновки, т. е. высокую степень интеграции (в  $1 \text{ см}^3$  объема микросхемы — сотни элементов и десятки выводов), привели к необходимости создания методов соединений, соответствующих высокой степени интеграции. Из многих методов печатного монтажа применение многослойных печатных плат в настоящее время является единственным эффективным решением этой проблемы. Многослойная печатная плата состоит из ряда тонких слоев односторонних или двусторонних печатных плат, соединенных между собой определенным способом, от которого в значительной степени зависят ее свойства. Конструкция многослойной печатной платы, состоящей из токопроводящих печатных проводников 6, диэлектриков 5, контактных площадок 4, соединительных штырей 3, теплоотводов 2 и микросхем 1 показана на рис. 7.

Печатным способом могут быть изготовлены не только односторонние и многослойные платы с соединительными проводниками, но и некоторые печатные радиодетали: катушки индуктивности, переключатели и разъемы. На рис. 8, а показана конструкция печатной катушки индуктивности, выполненной в виде тонкой плоской спирали, а на рис. 8, б — печатных переключателей. Технология изготовления

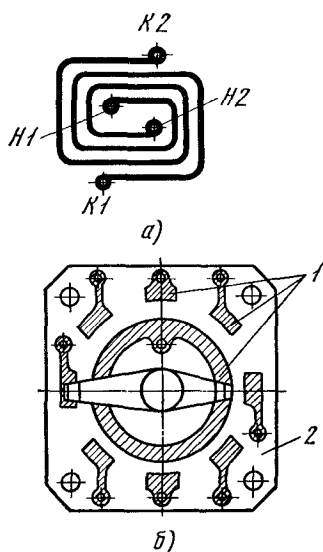


Рис. 8. Печатные радиодетали: а — катушки индуктивности. б — переключатели; 1 — контакты соединений, 2 — основание печатной платы

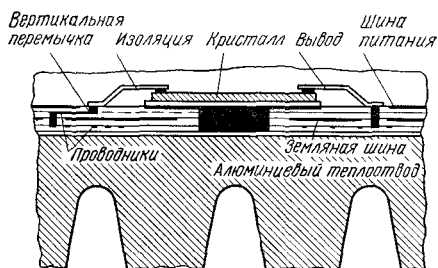


Рис 9. Металлокерамические печатные платы

печатных схем позволяет создавать переключатели со сложной схемой коммутации.

Технология изготовления плат для переключателей аналогична технологии изготовления печатных плат. Изготовление печатным методом других электрорадиодеталей (трансформаторов, дросселей, резисторов, конденсаторов и др.) из-за технологической сложности, а также низких электрических характеристик прак-

тического применения не нашло.

Дальнейшее развитие печатного монтажа с использованием интегральных микросхем, БИС, СБИС и микросборок привело к созданию многослойной структуры из органического диэлектрика на металлической подложке (алюминий, железоникелевые сплавы и др.). Структура такого основания показана на рис. 9 (поперечный разрез).

## § 8. Материалы, применяемые для изготовления оснований печатных плат

Основание печатных плат изготовляют из плоского изоляционного материала: гетинакса, стеклотекстолита, эластичных полимеров, полиэфирных пленок и различной керамики.

Материал выбирают, исходя из конкретных условий эксплуатации, климатических воздействий и механических перегрузок, а также в зависимости от частотного диапазона работы схемы и максимально допустимых электрических напряжений.

Наибольшее применение для изготовления печатных плат получили фольгированные диэлектрические материалы (гетинакс, стеклотекстолит), представляющие собой диэлектрик с нанесенной с одной или двух сторон медной фольгой. Основные фольгированные материалы, применяемые для изготовления печатных плат химическим методом приведены в табл. 4. Эти материалы обладают достаточной механической прочностью и минимальным короблением в процессе производства и эксплуатации, высокими электроизоляционными свойствами, стабильностью при воздействии агрессивных сред и изменяющихся условий эксплуатации.

Для изготовления микромодулей, микросхем и микросборок применяют печатные платы (подложки) из эластичных полимеров, полиэфирных пленок, керамики и стекла.

Эластичные полимеры применяют в качестве изоляционных оснований плат (подложек) для повышения надежности радиоаппаратуры, например для гибких печатных плат. Пластмассы



Таблица 4. Фольгированные материалы для изготовления печатных плат

Наименование	Марка	Толщина		Диапазон рабочих температур, °С
		материала, мм	фольги, мкм	
Фольгированный гетинакс односторонний двусторонний	ГФ-1-50	1,0—3,0	50	От —60 до +110 От —60 до +110
	ГФ-1-35	1,5—3,0	35	
	ГФ-2-50	1,5—3,0	50	
	ГФ-2-35	1,5—3,0	35	
Фольгированный стеклотекстолит	СФ-1; СФ-2	0,8—3,0	35(50)	От —60 до +120
Низкочастотный фольгированный диэлектрик	НФД-180	0,8—3,0	50	От —60 до +180
Фольгированный армированный фторопласт	ФАФ-4	1,5—2,5	50	От —60 до +250

К11-35 и АГ-4 обладают высокой химической стойкостью к щелочам и кислотам и имеют хорошие показатели при работе на сверхвысоких частотах.

Полиэфирные пленки и другие термопластики имеют малую плотность, обладают химической стойкостью к щелочам и кислотам и применяются также при изготовлении многослойных и гибких печатных плат.

Керамические подложки применяют для изготовления высоконадежных микроминиатюрных электронных схем и микросборок. Эти изоляционные материалы обладают высокой теплопроводностью, малой диэлектрической проницаемостью и способны выдерживать высокие температуры. К таким материалам относят ситаллы или стеклокерамику, представляющие собой стеклокристаллические вакуумплотные материалы, высокоглиноземистую керамику, ультрафарфор и стеатит.

## § 9. Методы изготовления печатных плат

Изготовление печатных плат состоит из нанесения изображения рисунка схемы и создания проводников на диэлектрическом основании платы.

Существует несколько способов нанесения рисунка схемы на плату, выбор которых зависит от материала платы и способа металлизации проводников. Наибольшее распространение получили следующие способы: фотографический, сеточно-графический и офсетный.

При фотографическом способе рисунок получают проектированием изображения схемы с фотопленки на плату, по-

крытую светочувствительной эмульсией. Под действием света экспонированные участки эмульсии переходят в нерастворимое состояние. Неэкспонированные участки подлежат растворению, вымыванию; на фольге платы в этих местах остается рисунок схемы (негативный способ).

При сеточно-графическом способе рисунок наносят на плату краской через специальную сетку (трафарет), соответствующую заданной схеме. Краску продавливают через участки сетки на фольгу платы с помощью специальных станков.

При офсетном способе рисунок схемы наносят на плату краской посредством литографской матрицы (клише).

Нанесение токопроводящего покрытия на основание платы, т. е. металлизацию поверхности диэлектрика платы, также производят различными методами. Например, применяют метод, заключающийся в химическом травлении меди с незащищенных участков поверхности диэлектрика, и электрохимический метод, представляющий собой гальваническое наращивание меди по всей поверхности платы или только по рисунку, наносимому на нее. Метод электро-

Таблица 5 Методы изготовления односторонних и двусторонних печатных плат

Название метода	Сущность метода	Способ нанесения рисунка схемы	Область применения
Химический	Печатную плату получают химическим травлением фольгированного диэлектрика	Фотографический, сеточно-графический, офсетный	В серийном и опытном производстве сложных односторонних печатных плат
Электрохимический	Печатную плату получают химическим и электрохимическим (гальваническим) осаждением металла на изоляционное основание и в монтажные отверстия	То же	В серийном и опытном производстве при большой номенклатуре двусторонних плат — фото-электрохимический, при малой номенклатуре — сеточно- и офсетноэлектрохимический
Электрохимическое осаждение с переносом	Печатную плату получают переносом готового рисунка схемы со стальной матрицы на изоляционное основание	»	В серийном и опытном производстве при большой номенклатуре двусторонних плат — фото-перенос, при малой номенклатуре — сеточный или офсетный перенос
Комбинированный (позитивный, негативный)	Печатную плату получают химическим травлением фольгированного диэлектрика с последующей металлизацией отверстий гальваническим способом	»	В серийном и опытном производстве при изготовлении одно- и двусторонних печатных плат

химического осаждения с переносом и комбинированный являются производными первых двух.

Наиболее распространенные методы изготовления односторонних и двусторонних печатных плат приведены в табл. 5.

Метод изготовления платы выбирают при разработке аппаратуры, в результате которой определяются габариты платы и плотность печатного монтажа. При этом исходят из электрических параметров схемы, климатических и механических требований,

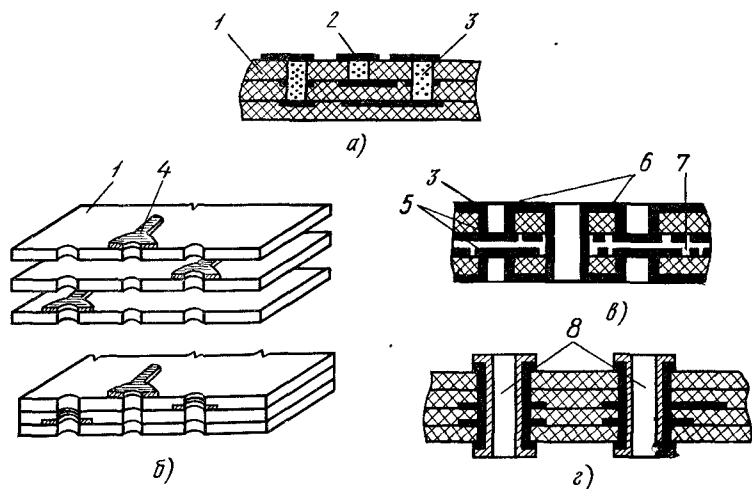


Рис 10 Многослойные печатные платы, изготовленные различными методами: а — послойного наращивания, б — открытых контактных площадок, в — попарного прессования г — металлизации сквозных отверстий, 1 — изоляция, 2 — печатный проводник, 3 — межслойные соединения, 4 — вывод, 5 — печатная плата, 6 — фольга, 7 — стеклоткань, 8 — межслойное отверстие

предъявляемых к конструкции изделия, условий эксплуатации, учитывая экономические факторы изготовления плат данным методом.

Платы гибкого печатного монтажа изготовляют химическим осаждением металлического покрытия на изоляционное основание, вытравливанием проводников схемы на фольгированном основании, а также штамповкой схемы из медной фольги с последующей наклейкой на основание платы.

Для изготовления многослойных печатных плат в промышленности используют четыре основных метода: послойного наращивания; открытых контактных площадок; попарного прессования; электрохимической металлизации сквозных отверстий.

Метод послойного наращивания заключается в последовательном нанесении изоляции 1 (рис. 10, а) и печатных проводников 2. Межслойные соединения 3 могут проходить по всей глубине и соединять любые внутренние слои между собой. В качестве изоляционного слоя используют изоляционный лак или эпоксидную

смолу. Метод обладает большой надежностью и позволяет получить высокую плотность монтажа. Количество слоев может быть более шести. Недостатком этого метода является большая трудоемкость, связанная с необходимостью строго выдерживать последовательность операций.

Метод открытых контактных площадок заключается в прессовании заготовок изоляции 1 (рис. 10, б) с нанесенным рисунком в виде полосок медной фольги, переложенных слоями стеклоткани. Прессование печатных слоев платы ведется одновременно. Выводы 4 от каждого слоя платы отгибаются наружу. Метод отличается простотой и позволяет получить плату с количеством слоев до 15. Недостатком метода является низкая плотность монтажа.

Метод попарного прессования заключается в прессовании предварительно изготовленных двусторонних печатных плат (рис. 10, в). На одну из сторон двустороннего фольгированного диэлектрика комбинированным способом наносится рисунок схемы внутренних слоев многослойной печатной платы 5 (вторая сторона сплошь покрыта фольгой). На каждой заготовке между рисунком схемы и фольгой выполняются межслойные соединения 3 в виде металлизированных отверстий. Изготовленные таким методом двусторонние печатные платы склеиваются (прессуются) фольгой 6 наружу с помощью стеклоткани 7. Процесс дальнейшей обработки наружных слоев фольги аналогичен получению двусторонних печатных плат. Этот метод позволяет получить многослойные печатные платы с количеством слоев не более четырех. Достоинства метода — высокая надежность и простота изготовления печатных плат.

Метод электрохимической металлизации сквозных отверстий является наиболее перспективным для изготовления многослойных печатных плат. Этот метод заключается в одновременном прессовании предварительно изготовленных односторонних печатных плат 3 (рис. 10, г) с дополнительной металлизацией межслойных отверстий 2 электрохимическим способом.

Последовательность операций технологического процесса заключается в заготовке и химической очистке материала основания, фотолитографии (нанесении рисунка), изготовлении печатных проводников травлением фольгированного диэлектрика.

Далее отдельные слои собирают в пакет, прессуют (склеивают) их в единую многослойную структуру, создают переходные отверстия в многослойных структурах и металлизуют их стенки. При этом электрически соединяют все металлические контактные площадки на наружных и внутренних слоях, вышедшие торцами в данное отверстие.

Метод металлизации сквозных отверстий отличается простотой, малой трудоемкостью, высокой плотностью монтажа и позволяет получить многослойные печатные платы с большим (более шести) количеством слоев. Недостатком его является трудность получения надежного межслойного соединения из-за малой толщины

фольги. Надежность соединений повышают дополнительным гальваническим осаждением меди.

Технология изготовления многослойных печатных плат более сложная, чем технология изготовления двусторонних, так как в первом случае должны быть обеспечены:

точность линий рисунка схемы, что достигается применением специального оборудования (прецизионных автоматических координатографов с оптической головкой, фоторезистов с высокой разрешающей способностью, приспособлений для нанесения, экспонирования, обработки резистов, вытравливания рисунка проводников или его нанесения и др.);

точность совмещения рисунков слоев, что достигается изготовлением фотооригиналов и негативов с применением малоусадочных материалов и использованием прецизионного оборудования совмещения;

точность выдерживания толщины диэлектриков между слоями при прессовании;

позиционная точность сверловки;

стабильность режимов химико-гальванических процессов создания печатных плат и межслойных переходов.

При этом должен быть обеспечен тщательный контроль технологических процессов изготовления многослойных печатных плат и готовых изделий.

## **§ 10. Контроль качества печатных плат**

Изготовление печатной платы (от рисунка схемы до готового изделия) проходит через большое количество операций производственного и технологического процессов. Ошибка или брак в изготовлении на любом этапе снижает надежность платы. Поэтому при изготовлении печатных плат производят пооперационный контроль, который позволяет своевременно устранить брак, а также причины его возникновения.

Контроль начинают с проверки на соответствие ТУ изоляционных материалов основания платы. Оценку качества материалов проводят выборочно на входном контроле по одиночным образцам из каждой партии.

Физико-химические и электрические параметры основания изоляционных фольгированных материалов, применяемых для изготовления печатных плат, приведены в ГОСТ 10316—70. К основным контролируемым электрическим параметрам относят электрическую прочность, сопротивление изоляции и др.

Электрическая прочность диэлектрика определяется его способностью выдерживать без пробоя приложенное напряжение; она зависит от материала и толщины диэлектрика, частоты, формы и времени приложения напряжения, окружающей температуры и влажности.

Сопротивление изоляции между двумя проводниками или отверстиями на печатной плате зависит от объемного и поверхност-

ного сопротивлений материала платы и определяется отношением постоянного напряжения, действующего между проводниками, к общему току, проходящему между ними через изоляционный материал. Сопротивление изоляции может существенно меняться в зависимости от температуры и влажности окружающей среды; оно падает с повышением температуры и увеличением влажности.

Поверхностное сопротивление между двумя точками поверхности изоляционного материала выражают в омах, объемное сопротивление (отношение разности потенциалов между электродами, запрессованными в материал, к току между ними) — в омах на сантиметр.

Контроль электрических параметров печатных плат на этапе приемо-сдаточных испытаний осуществляют автоматическими средствами для всей цепи. Для этого проверяют наличие соединений, сопротивление изоляции разобренных цепей и устойчивость к испытательному напряжению в соответствии с ТУ.

В проверочные испытания входит контроль устойчивости электрических, конструктивных и эксплуатационных параметров к действию повышенной влажности, холода, тепла и др. Качество печатных плат, смонтированных с навесными радиодеталями, контролируют, кроме того, испытанием на вибропрочность.

## **§ 11. Сборка и монтаж узлов и блоков РЭА на печатных платах**

Печатный монтаж позволяет успешно решать задачу механизации и автоматизации изготовления монтажных и переходных огверстий, а также осуществлять групповые методы пайки выводов и установленных на платах электрорадиоэлементов.

На радиотехнических предприятиях в зависимости от оснащенности производства применяют различные типовые технологические процессы сборки и монтажа узлов и блоков радиоаппаратуры на печатных платах:

- пооперационную сборку с ручной установкой деталей на печатную плату и индивидуальной пайкой;

- пооперационную сборку с частичной механизацией операций заготовки радиодеталей;

- комплексную механизированную подготовку и вставку выводов деталей в печатную плату и групповую пайку;

- полную автоматизацию всех процессов сборки, монтажа, пайки и контроля. Этот типовой процесс сборки и монтажа радиоаппаратуры является наиболее прогрессивным и используется при массовом производстве. Подготовка деталей к монтажу ведется на специализированном участке.

Последовательность типовых технологических процессов сборки и монтажа узлов и блоков радиоаппаратуры показана на рис. 11.

Для индивидуального производства подготовку проводов ведут пооперационно (рихтовка, обрезка по длине, гибка и лужение выводов). При массовом производстве радиоаппаратуры на поточных

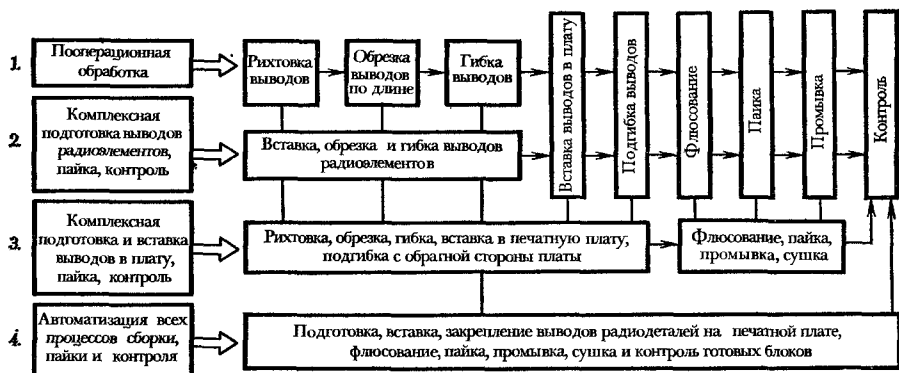


Рис. 11. Схема последовательности типовых технологических процессов сборки и монтажа узлов и блоков РЭА на печатных платах

линиях сборки и монтажа подготовка элементов совмещается с их установкой на печатных платах. Выводы вставляют в отверстие платы и для большей прочности подгибают, а затем соединяют с печатным проводником пайкой. На рис. 12 показаны различные способы крепления навесных радиодеталей (резисторов и конденсаторов) на платах 1 с печатными проводниками 2. На рис. 12, а, б изображен односторонний монтаж (под корпусом нет печатных проводников), а на рис. 12, в, г — двусторонний (под корпусом детали проходит печатный проводник).

Специальные детали (реле, разъемы и др.) устанавливают на плату и закрепляют держателями, предотвращающими поломку их выводов при механических нагрузках. Детали значительной массы и

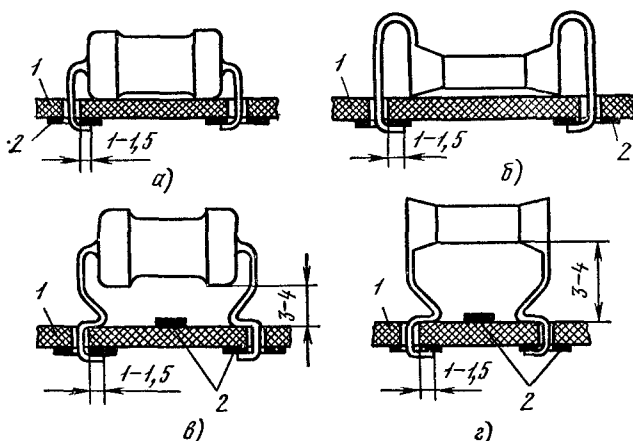


Рис. 12. Способы крепления навесных радиодеталей на печатных платах.

а, б — односторонний монтаж, в, г — двусторонний монтаж

больших габаритов (например, силовые трансформаторы, радиаторы мощных полупроводниковых диодов, громкоговорители) размещают вне платы и присоединяют к ней жгутами из монтажного провода со специальными разъемами.

Заземление выполняют перемычками из мягкого монтажного провода и лепестками, впаянными в монтажные отверстия печатной платы. Непосредственный контакт печатного проводника с корпусом или шасси не разрешается. Переход с одной платы на другую осуществляется через переходные элементы (перемычки, разъемы, переходные колодки), устанавливаемые на платах так же, как и навесные радиодетали.

Устанавливать и закреплять навесные радиодетали на печатных платах можно полностью на автоматических линиях. Из-за сложности установки и настройки автоматических линий их целесообразно применять только в крупносерийном и массовом производстве. Основным оборудованием механизированной и автоматизированной сборки и монтажа являются транспортеры и агрегативные устройства со специальными установочными головками.

Для повышения надежности печатных плат при работе РЭА в тяжелых климатических условиях на основание платы печатного монтажа наносят защитные покрытия. Основная цель покрытия — предотвратить возникновение на плате продуктов коррозии, способных проводить ток. При выборе покрытия необходимо учитывать его эластичность, сопротивление к растрескиванию при резком изменении температуры (термическом ударе). Покрытие должно быть оптически прозрачно, чтобы можно было прочесть маркировку на радиодеталях и платах, а также легко отремонтировать платы печатного монтажа.

В качестве материалов для защитных покрытий применяют электроизоляционные лаки. Для аппаратуры, работающей в тропических условиях, в качестве защитного покрытия используют эпоксидные лаки и компаунды. Покрытия на основе кремнийорганических смол применяют для аппаратуры, работающей при высоких температурах.

## **§ 12. Пайка печатных плат**

Для создания электрических контактов между отдельными радиодеталями и проводниками печатных плат в процессе сборки и монтажа РЭА используют пайку с применением флюсов и припоев.

Флюсы (канифоли и др.) предназначены для очистки поверхностей проводников, подлежащих пайке.

Оловянисто-свинцовые припои (ПОС) обеспечивают высокую надежность пайки, имеют низкую температуру плавления, обладают высокой электропроводностью и хорошо смачивают поверхность пайки. Кроме того, припои ПОС позволяют осуществлять групповую пайку при изготовлении РЭА с применением печатного монтажа. Наиболее простым и распространенным способом груп-



повой пайки печатных плат является погружение платы в ванну с расплавленным припоем.

При пайке погружением в расплавленный припой (рис. 13, а) печатную плату 1 с установленными на ней радиодеталями закрепляют в специальном держателе и погружают в ванну 2 с расплавленным припоем 3. Этот способ обеспечивает одновременную пайку всех соединений, но требует строго выдерживать темпера-

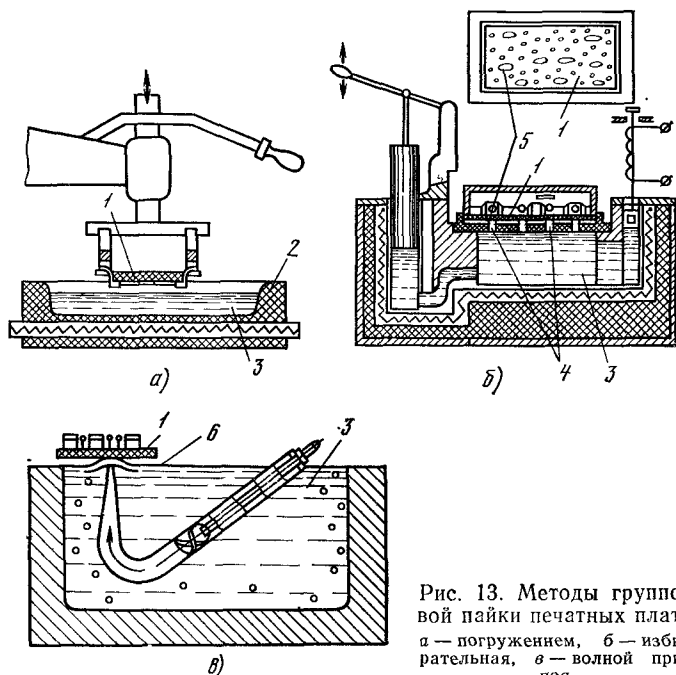


Рис. 13. Методы групповой пайки печатных плат: а — погружением, б — избирательная, в — волной припоя

туру и время пайки. При перегреве платы вспучивается диэлектрик, при недогреве — снижается качество пайки. При массовом производстве радиоаппаратуры для защиты диэлектрика от перегрева применяют защитную маску из бумаги, лотокани и других материалов. Маску с отверстиями для пайки наклеивают на основание платы с нижней стороны. По окончании пайки маску снимают.

Другим способом групповой пайки с использованием защитных масок является избирательная (фильерная) пайка (рис. 13, б), при которой припой 3 через фильер 4 подается к точкам паяния 5, уменьшая тем самым нагрев радиоэлементов и основание платы 1.

Наиболее эффективным способом механизированной групповой пайки, нашедшим широкое распространение в массовом производстве радиоаппаратуры в СССР и за рубежом, является пайка волной припоя (рис. 13, в). Этот способ пайки заключается в том,

что монтажная плата 1 проходит с определенной скоростью по гребню волны 6 расплавленного припоя 3, создаваемого специальным устройством на его поверхности.

Последний способ дает возможность легко автоматизировать процесс пайки печатных плат. Непрерывное движение конвейера с паяемой платой позволяет создавать автоматизированные линии производства печатных плат, включающие в себя полный комплекс операций: установку элементов, их обезжиривание, флюсование, наклейку маски, предварительный подогрев, пайку, снятие маски, отмывку от флюса, сушку и лакирование.

К основным достоинствам групповой пайки можно отнести: строгое поддержание постоянства температуры и времени пайки, повышение производительности, увеличение технологической и эксплуатационной надежности соединений, облегчение механизации и автоматизации производства радиоаппаратуры.

Пайку алюминия и его сплавов осуществляют специальными припоями, применяя активные флюсы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что представляют собой печатная плата и печатный монтаж?
2. Какие требования предъявляют к печатному монтажу?
3. Расскажите об основных видах конструкций печатных плат.
4. Какие материалы применяют для печатных плат?
5. Перечислите методы изготовления печатных плат.
6. Как осуществляют контроль печатных плат?
7. Какие испытания проводят с печатными платами?
8. Какие методы групповой пайки печатных плат вы знаете?
9. Каковы характерные особенности многослойных печатных плат?
10. Какие новые конструкции печатных плат вы знаете?

## **Глава IV. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВКИ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **§ 13. Основные направления развития миниатюризации и микроминиатюризации РЭА**

Современное развитие электронной техники позволяет создавать РЭА, ЭВМ, аппаратуру связи, способные обеспечить решение сложных задач. Одновременно с усложнением аппаратуры резко возрастает число электро- и радиоэлементов, входящих в ее состав, следовательно, становятся более важными проблемы микроминиатюризации аппаратуры.

Первые попытки миниатюризации РЭА были направлены на уменьшение размеров радиодеталей и в первую очередь на создание миниатюрных электровакуумных и полупроводниковых приборов, резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, переключателей.

Разработка радиодеталей в миниатюрном исполнении привела к появлению модулей и микромодулей, а объемный (навесной) монтаж аппаратуры заменен печатным. Модульная и микромо-

дульная конструкции позволили существенно уменьшить массу и габариты аппаратуры по сравнению с объемным монтажом, резко повысить надежность ее работы и снизить трудоемкость производственного процесса. Модульное, микромодульное конструирование радиоаппаратуры резко изменило характер производства: значительно повысилась степень механизации и автоматизации, упростились сборочно-монтажные и регулировочные работы благодаря тщательной отработке, наладке и тренировке модулей или микромодулей до установки их в блоки. В настоящее время выпускают большую номенклатуру микромодулей и аппаратуры на их базе.

Основной тенденцией в конструировании РЭА и ЭВМ является комплексная микроминиатюризация — микроэлектроника.

Микроэлектроника — это область электроники, охватывающая проблемы исследования, конструирования, изготовления и применения микроэлектронных изделий (интегральных микросхем).

Конструктивно-технологические процессы производства интегральных микросхем разделяют на толсто пленочные, тонко пленочные и полупроводниковые. В соответствии с этим микросхемы подразделяются на пленочные интегральные микросхемы и полупроводниковые.

Трудности в создании пленочных активных элементов (диодов, транзисторов) вызвали необходимость в разработке и широком применении гибридных интегральных микросхем, пассивная часть которых состоит из проводников, конденсаторов, резисторов, изготовленных методами пленочной технологии, а активная — из готовых дискретных элементов.

Наибольшее распространение получили полупроводниковые интегральные микросхемы, основные элементы которых выполнены в виде транзисторных структур различных свойств и видов.

В настоящее время ученые работают над увеличением количества активных элементов в одном кристалле полупроводниковой интегральной микросхемы, т. е. повышением степени интеграции. Созданы микросхемы с плотностью в несколько сотен (большие интегральные схемы — БИС) и даже тысяч элементов (сверхбольшие интегральные системы — СБИС) на одном кристалле.

Это позволило перейти к новому этапу микроэлектроники — функциональной (молекулярной) микроэлектроники и созданию на ее базе новых типов приборов — функциональных молекулярных схем. Для функциональной микроэлектроники характерно использование различных объемных явлений, молекулярных и межмолекулярных связей. Помимо чисто электрических связей здесь используют оптические, акустические, магнитные, химические и другие явления.

Таким образом, развитие микроэлектроники происходило последовательно и микроминиатюризация аппаратуры, начатая с простого уменьшения размеров радиодеталей, шла по пути применения новых материалов, технологии и использования совершенно новых принципов, основанных на молекулярных свойствах веществ. Однако следует иметь в виду, что задача уменьшения размеров РЭА

на основе микроэлектроники не является самоцелью, все это должно сочетаться с увеличением надежности и долговечности, снижением стоимости и упрощением технологии изготовления аппаратуры.

Некоторые сравнительные параметры схемы в различном конструктивном исполнении: на лампах с печатным монтажом, на полупроводниковых приборах в микромодульном исполнении и на интегральных микросхемах приведены в табл. 6.

Таблица 6. Зависимость параметров схемы и занимаемого ею объема от конструктивного исполнения

Параметры схемы и занимаемый ею объем	Конструктивное исполнение		
	на лампах с печатным монтажом	микромодульное	на микросхемах
Надежность (частота отказов на 100 ч работы) . . . . .	0,1	0,05	0,0070
Объем блока, см <sup>3</sup> . . . . .	65,0	16,20	0,0016
Потребляемая мощность, Вт . . . . .	5,0	0,75	0,0008

В настоящее время микроэлектроника развивается в следующих основных направлениях (рис. 14): унифицированные функциональные модули (микромодули), интегральные микросхемы и молекулярные функциональные устройства (молекулярные схемы).



Рис. 14. Основные направления развития микроэлектроники

## § 14. Унифицированные функциональные модули (микромодули)

Увеличение сложности современной РЭА и повышение ее надежности при уменьшении размеров, объема и потребляемой мощности потребовало изыскания новых методов ее конструиро-

вания и производства. Функционально-узловой метод конструирования позволяет сложную радиоэлектронную схему разделить на ряд простейших типовых схем, которые могут выполнять функции законченных узлов РЭА и ЭВМ (например, каскад усилителя, мультивибратор, ячейка памяти ЭВМ). Дальнейшим развитием этого метода конструирования явилась унификация функциональных узлов электрических схем и их конструкций. Созданы стандартизованные унифицированные функциональные узлы и блоки, наименьшей конструктивной единицей которых является не отдельный радиоэлемент, а функциональный узел, с определенными электрическими параметрами (модуль или микромодуль).

Модулем называется конструктивно законченный элемент, который образует узел, изготавливаемый в едином технологическом процессе и выполняющий определенную функцию электрической схемы. В настоящее время серийно выпускают унифицированные функциональные модули. Печатную плату модуля изготавливают одним из описанных в § 9 способов.

Модули могут быть плоскими или объемными. Наибольшее распространение получили плоские модули (рис. 15, *a—г*). В плоских модулях навесные радиодетали 1 расположены на одной стороне платы 2 и закреплены на специальных держателях или подгибкой концов выводов деталей на плате. В объемных модулях детали расположены между платами. Для сборки отдельных модулей в узлы и блоки в платы запрессовывают штыри 3.

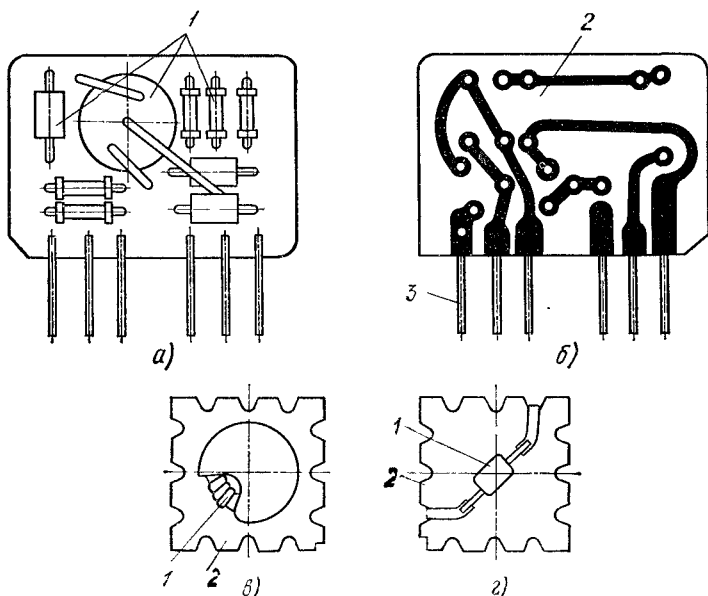


Рис. 5. Виды унифицированного функционального модуля:  
*a* — со стороны деталей, *б* — со стороны печатных проводников, *в* — микроплата с катушкой индуктивности, *г* — микроплата с дном

При использовании печатных плат с двусторонним монтажом плотность компоновки элементов повышается. Поскольку часть электрических соединений осуществляется внутри самого модуля, сокращается объем, занимаемый коммутацией, что существенно упрощает сборочно-монтажные работы. Кроме того, упрощается регулировка и настройка аппаратуры, так как модули, из которых она состоит, имеют стандартизованные входные и выходные электрические параметры.

Например, в ЭВМ применяют большое количество радиодеталей, исчисляемое сотнями тысяч. Модульный принцип конструирования ЭВМ позволил сгруппировать все радиодетали в модули нескольких типов. Собранные из этих модулей ячейки, в свою очередь, объединяют в законченные узлы и блоки ( типовые элементы замены — ТЭЗ). Производство модулей ведут на специальном оборудовании поточной линии и выпускают их крупными сериями централизованно.

Дальнейшее уменьшение элементной базы привело к созданию микромодуля. Микромодулем называется функциональный узел, собранный из микроэлементов (субминиатюрных радиодеталей, размещенных на микроплатах), которые объединены в общую конструкцию, обеспечивающую его герметизацию и защиту от механических воздействий.

Пайку модулей и микромодулей осуществляют автоматизированным способом — волной припоя или погружением в расплавленный припой.

Для придания модулям и микромодулям механической прочности и защиты от воздействий внешней среды их герметизируют, заливая эпоксидным компаундом или специальным лаком. Так как изготовленные модули или микромодули не подлежат разборке и ремонту, в процессе их производства необходимо проводить пооперационный контроль (проверять электрические параметры радиодеталей перед сборкой, а также правильность сборки и монтажа готового изделия) и регулировку. Контроль проводят на специализированной проверочной аппаратуре. Готовые модули (или микромодули) устанавливают на плату с печатным монтажом, создавая микроблоки. В зависимости от механических нагрузок применяют печатные платы из фольгированного диэлектрика толщиной 0,5—1,5 мм. Микромодули крепят на плате микроблока, пропуская выводы (штыри) в отверстия.

Конструкция микроблоков, у которых микромодули установлены через ряд, характеризуются плотностью компоновки, технологичностью и ремонтоспособностью. Такая компоновка при многоблочной конструкции дает наилучшее заполнение объема.

Для объединения микроблоков в субблоки (несколько блоков, расположенных на одной плате) используют объемный монтаж с различными соединительными разъемами. Несущие конструкции микроблока и субблока выполняют штамповкой, литьем, прессованием. Унифицированная конструкция каркаса субблока с установленными на нем микроблоками 1 и экранами

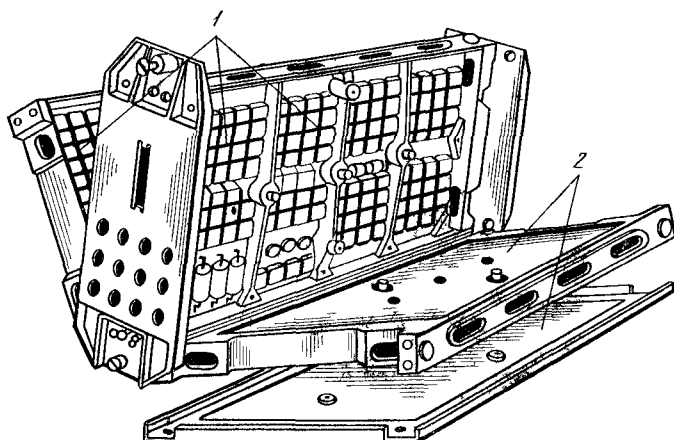


Рис 16 Унифицированная конструкция каркаса субблока

2 показана на рис. 16. Для защиты от атмосферных воздействий изготовленные микроблоки после проверки покрывают лаком. Части схемы, требующие экранировки, выделяют отдельно и экранируют общим экраном.

## § 15. Интегральные микросхемы

Существенное увеличение надежности аппаратуры при одновременном уменьшении ее массы, габаритов и потребляемой мощности возможно благодаря созданию различных интегральных микросхем: пленочных, гибридных и полупроводниковых (рис. 17, а—г).

Важнейшим параметром интегральной микросхемы является степень интеграции (коэффициент степени сложности  $K$ , характеризующий числом  $N$  элементов и компонентов):  $K = \lg N$ .

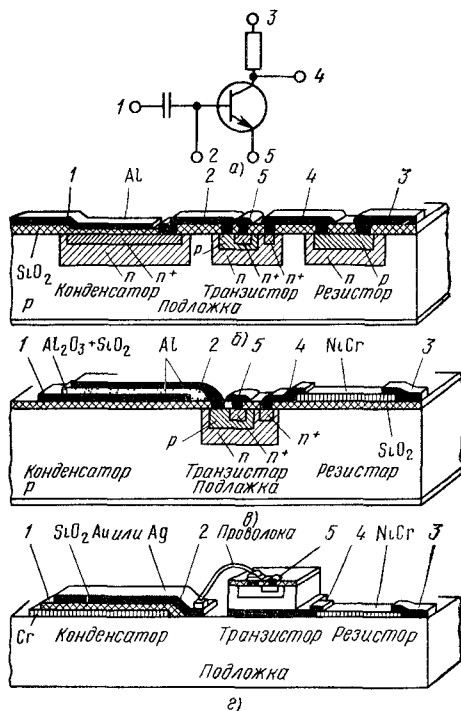


Рис 17 Интегральные микросхемы:  
а — принципиальная электрическая схема, б — полупроводниковая, в — совмещенная, г — гибридная, 1—5 — нумерация соответствующих выводов

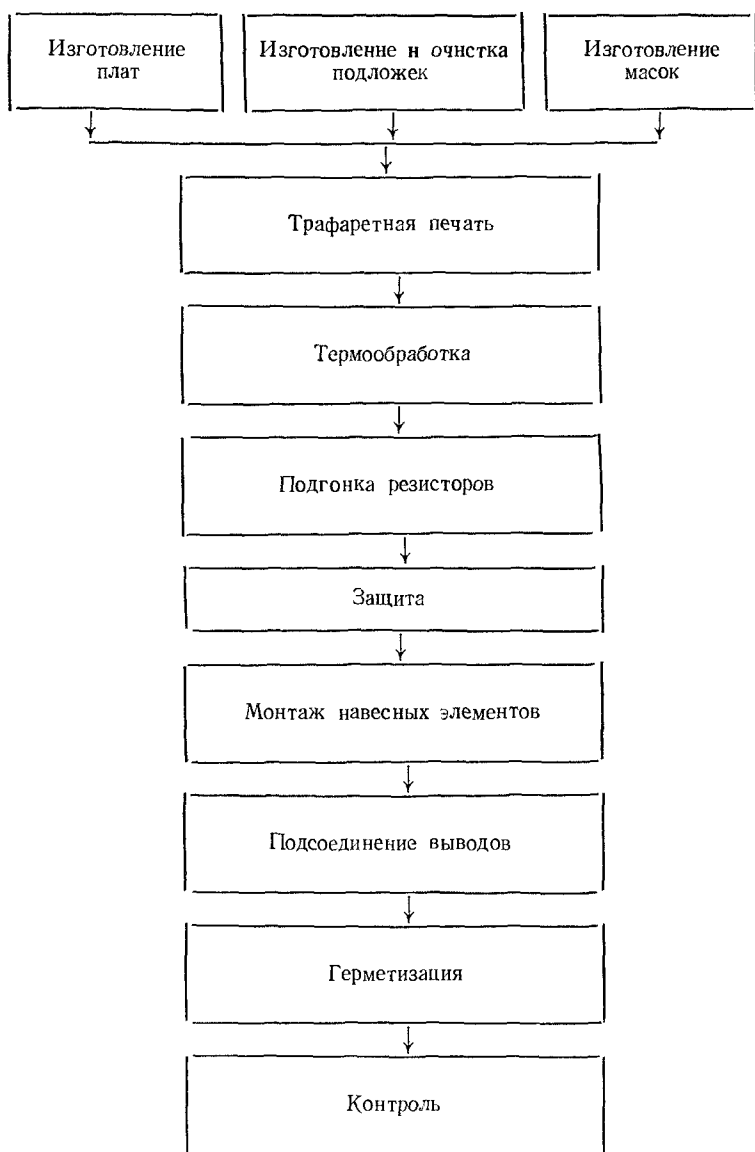


Рис. 18. Схема изготовления толсто пленочных микросхем

Согласно ГОСТ 17021—75 интегральные микросхемы имеют пять степеней интеграции: первая — содержащая до 10 элементов и компонентов; вторая — до 100; третья — до 1000; четвертая — до 10 000; пятая — более 10 000 и до 100 000 элементов и компонентов.

В настоящее время степень интеграции микроэлектроники определяется технологическим уровнем (литографий и совмещения-



ми), позволяющим получать минимальные размеры элемента —  $3 \cdot 10^2$ — $10^2$ А.

Рассмотрим технологию производства интегральных микросхем и аппаратуру, изготавливаемую на их базе.

Пленочной интегральной схемой называется схема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в виде пленок. Практическое применение получили пленочные микросхемы, состоящие из резисторов, конденсаторов и соединительных проводников. Составные части микросхем (пленочные элементы) получают последовательным нанесением на общее основание (подложку) пленок из токопроводящих, магнитных, диэлектрических и других материалов.

В зависимости от технологии изготовления пленочные микросхемы подразделяют на толстопленочные (толщина пленки больше 10 мкм) и тонкопленочные (толщина пленки меньше 10 мкм).

Толстопленочные микросхемы изготавливают с помощью трафаретной печати и последующего вжигания. На очищенную подложку специальным печатающим устройством наносят через трафарет толстопленочные пасты.

Достоинство толстопленочных интегральных микросхем — возможность применения для их изготовления простейшей технологии без использования дорогостоящего оборудования. Схема изготовления толстопленочной микросхемы показана на рис. 18.

Тонкопленочные интегральные микросхемы изготавливают различными способами: термическим испарением металлов в вакууме, распылением, ионной бомбардировкой и химическим осаждением (табл. 7).

Тонкопленочная технология позволяет создать пассивные элементы микросхем с параметрами более стабильными, чем при толстопленочной технологии. Однако производство тонкопленоч-

Таблица 7. Способы получения тонких пленок и области их применения

Наименование способа	Область применения
Термическое испарение в вакууме: резистивное электровакуумной дугой лазерным лучом электронной бомбардировкой	Создание резисторов, конденсаторов, индуктивностей и электропроводников. Этот способ позволяет получить пленки большой чистоты и однородного состава, а также легко контролировать и регулировать мощность нагрева и скорость напыления
Распыление ионной бомбардировкой: катодное испарение реактивное распыление	Создание резисторов, конденсаторов и проводников. Этот способ позволяет получить пленки, обладающие высокой адгезией
Химическое осаждение	Создание электропроводников из серебра, платины, золота, радия и палладия

ных микросхем требует больших затрат на специальное вакуумное оборудование по сравнению с производством толсто пленочных.

Выбор оптимальных геометрических размеров пленочных элементов микросхемы, их форма, соединение, а также последовательность нанесения слоев пленки на подложку, называется топологией.

Термическое испарение в вакууме основано на том, что все вещества при температуре выше абсолютного нуля, способны испаряться. Концентрация паров будет тем больше, чем выше температура материала. При термическом испарении материал, напыляемый в специальных устройствах — испарителях, помещают в вакуумную камеру напротив подложки и нагревают до температуры испарения так, что давление его паров становится выше рабочего давления в камере. В результате поток атомов испаряемого вещества достигает поверхности подложки и оседает на ней. Рабочее давление в камере обычно равно  $10^{-3}$ — $10^{-8}$  Па. Наибольшее распространение получили испарители прямого и косвенного подогрева.

Испарители прямого подогрева состоят из проволоки или ленты испаряемого металла, через которые пропускают электрический ток, достигающий  $10^6$  А/см<sup>2</sup>. Этот тип испарителей применяют при резистивном испарении электровакуумной дугой для напыления тугоплавких металлов.

Испарители косвенного подогрева более универсальны. Необходимый для распыления металл помещают в специальные подогреватели (тигли) и испаряют с помощью электронной бомбардировки или лазерного луча.

Наиболее совершенным способом нагрева испаряемого металла является электронная бомбардировка. При этом способе испаряемый металл, являясь анодом электронной пушки, бомбардируется электронами и нагревается до температуры парообразования. Подложки для напыления вместе с трафаретами (рисунками микросхемы) располагают вокруг анода. Поскольку подложка имеет более низкую температуру, чем анод, пары металла анода конденсируются на подложке в виде пленки, образуя рисунок микросхемы.

Хорошие результаты по напылению однородных пленок можно получить испарением металла с помощью лазерного луча. Мощности лазерного луча достаточно, чтобы легко расплавить и превратить в газообразное состояние любые тугоплавкие металлы, причем сам лазерный источник может находиться вне стеклянного колпака вакуумной камеры.

Термическим испарением в вакууме получают наиболее чистые пленки. Достоинствами этого способа являются простота напыления, высокая скорость осаждения пленок и возможность напыления различных металлов. Пленки из материалов сложного состава, которые имеют различные скорости испарения отдельных компонентов, получить этим способом сложно.

Распыление ионной бомбардировкой основано на явлении тле-

ющего разряда в инертной (аргон) или химически активной (кислород) среде при понижении давления в камере до  $10^{-0,1}$  Па. Процесс распыления в химически активной среде называют реактивным распылением.

Способ распыления ионной бомбардировкой позволяет получить пленки тугоплавких материалов, сплавов, многокомпозиционных соединений и диэлектриков, имеющих хорошую адгезию к подложке.

В процессе распыления толщина пленки регулируется за счет изменения напряжения на электродах, разрядного тока, времени процесса, а также давления инертного и реактивного газов.

Получение металлических пленок на подложке интегральных микросхем способом химического осаждения мало чем отличается от способов получения гибких печатных плат, рассмотренных в § 9.

В зависимости от топологии для изготовления микросхемы используют различные трафареты, выполняемые методом фотолитографии или электроискровым из медной фольги, никеля, стали и других материалов толщиной  $0,07-0,15$  мм. Трафареты накладывают на подложку и закрывают ту ее часть, которая не предназначена для напыления. Наиболее сложным процессом при нанесении пленочных элементов является совмещение трафаретов, так как для изготовления отдельных микросхем иногда требуется наложение до 15 трафаретов.

Рассмотрим технологию изготовления тонкопленочных интегральных микросхем наиболее распространенным способом — термическим испарением металла в вакуумной камере. Вакуумная камера (рис. 19) состоит из колпака 3, под которым с помощью вакуумного 5 и диффузионного 6 насосов создается необходимое разрежение. Под колпак помещают распыляемое вещество 4 с нагревателем.

На предварительно очищенные подложки 2 в соответствии с топологией микросхем накладывают трафареты 1 и помещают их в вакуумную камеру. Вакуумными насосами создают нужное для напыления разреженное давление; начинается разогрев распыляемого материала. Напыление пленки занимает от нескольких секунд до нескольких минут.

Для получения резистивных пленок используют тантал, хром, вольфрам, титан, платину, нихром, металлосилицидные сплавы МЛТ-2 и керметы (смесь диэлектрика с металлом).

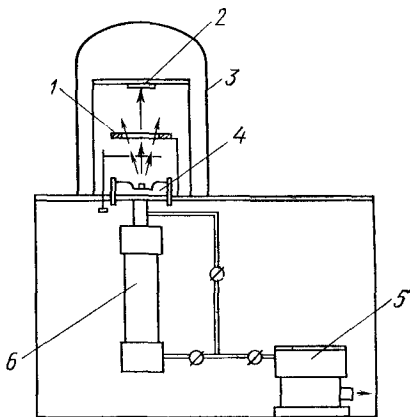


Рис. 19. Вакуумная камера для нанесения тонких пленок термическим испарением

Сопротивление резистора определяется удельным сопротивлением металла, формой и толщиной пленки. Обычно пленки имеют толщину 200—800 Å. Диапазон тонкопленочных резисторов — от единиц ом до единиц мегаом.

Тонкопленочные конденсаторы изготавливают нанесением двух слоев металла, разделенных слоем диэлектрика. В качестве диэлектрика используют монооксид кремния, а для обкладок конденсатора — пленку алюминия.

Нанесение пленок производят в следующем порядке: сначала наносят резистивную пленку, затем проводниковую и контактные

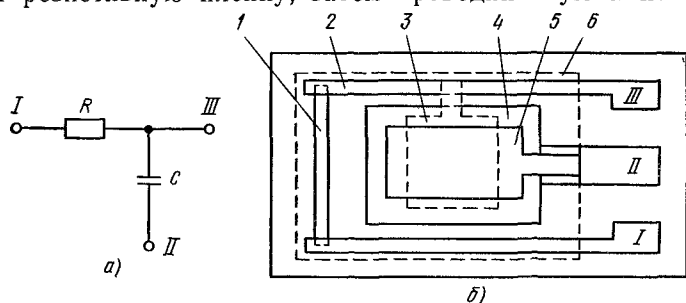


Рис 20. Часть пленочной интегральной  $RC$ -микросхемы:

$a$  — принципиальная электрическая схема,  $b$  — топология, 1 — резистор (хром), 2 — проводящие дорожки и контактные площадки (медь с подслоем хрома), 3, 5 — нижняя и верхняя обкладки конденсатора (алюминий), 4 — диэлектрик конденсатора (монооксид кремния), 6 — защитный слой (монооксид кремния)

площадки, далее пленку нижних обкладок конденсаторов и защитную. Часть принципиальной электрической схемы и топографическая карта пленочной интегральной  $RC$ -микросхемы показана на рис. 20.

В процессе напыления электрические параметры наносимых элементов контролируют автоматически. Контроль толщины пленки основан на измерениях сопротивления  $R$  контрольного образца, помещаемого рядом с подложкой:  $R = \rho b / hl$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление материала пленки, Ом·см,  $b$ ,  $l$ ,  $h$  — ширина, длина и толщина, см.

Этот метод используют в измерительных приборах ИС-1, ИС-2. Контроль структур пленок проводят визуально микроскопом МБС-1.

Гибридная интегральная схема (ГИС) представляет собой схему, в которой на подложке методами толсто- и тонкопленочной технологии получены пассивные элементы схемы и токопроводящие проводники, а активные элементы готовыми подключаются в схему.

Гибридные интегральные микросхемы позволяют снизить потребляемую мощность, повысить быстродействие, улучшить электромагнитную совместимость из-за сокращения длины соединительных линий, уменьшить восприимчивость узлов к помехам за счет уменьшения индуктивности и емкости линий, что, в свою очередь, повышает надежность аппаратуры.

Особый интерес ГИС представляют для микроминиатюризации бытовой РЭА (радиоприемники, магнитофоны, телевизоры, различные усилители). ГИС имеют меньший, чем микромодули, объем, более технологичны в изготовлении; их активные элементы способны работать при больших напряжениях, чем у пленочных микросхем, усиливать напряжение на высоких и сверхвысоких частотах, усиливать большие мощности. Особенно важно, что ГИС могут работать в тяжелых климатических условиях, так как отвод тепла у них значительно лучше, чем у других схем.

Отечественная промышленность выпускает большую номенклатуру ГИС. Номенклатура схем на основе толстопленочной технологии с применением бескорпусных транзисторов охватывает все каскады радиоприемных устройств, цветных и черно-белых телевизоров. Относительная простота технологического процесса позволяет при необходимости расширять данную номенклатуру и изменять технологию изготовления аппаратуры в зависимости от конкретных технологических решений.

Для переносных и автомобильных радиоприемников I, II и III классов выпускают ГИС по тонкопленочной технологии с применением бескорпусных транзисторов.

Микросхемы имеют обозначение, например, К2УС241, где первый элемент (буква) указывает назначение микросхемы (К — для аппаратуры широкого применения); второй элемент (цифра 2) определяет технологию изготовления; третий элемент (буквы

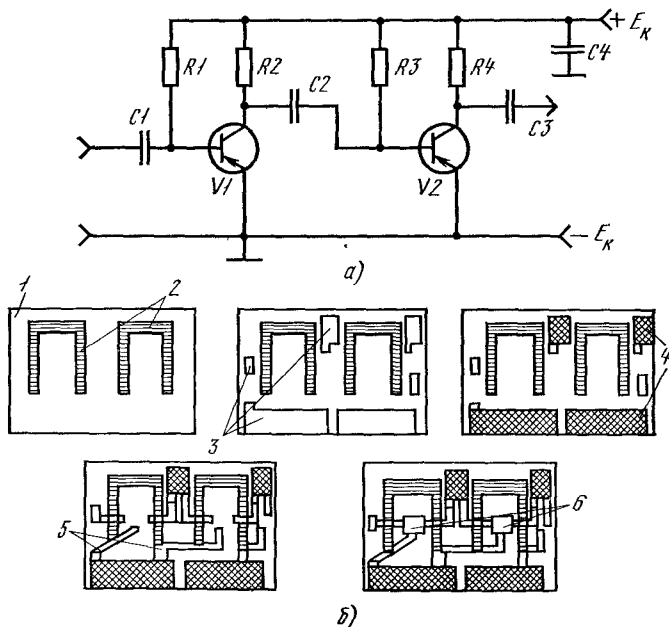


Рис 21. Принципиальная электрическая схема (а) и технологические этапы изготовления ГИС (б) двухкаскадного УЗЧ

УС — функциональное назначение микросхемы (усилитель синусоидальный); четвертый элемент (число) — порядковый номер серии и пятый (цифра) — разновидность микросхемы данного функционального назначения.

Принципиальная электрическая схема двухкаскадного усилителя звуковой частоты (УЗЧ) показана на рис. 21, а, а на рис. 21, б — технологические этапы изготовления ГИС.

В вакуумной установке способом резистивного испарения (через трафареты) на основание 1 наносят пленки резисторов 2, шин заземления и металлического покрытия 3; пленку диэлектрика конденсатора 4, металлические пленки 5, выполняющие функции обкладок конденсаторов и соединительных проводников.

На основание (подложку) микросхемы с пленочными резисторами, конденсаторами и проводниками приклеивают транзисторы 6. Электрическое соединение навесных микроэлементов (диодов, транзисторов и др.) с пленками осуществляют микропайкой, микросваркой или термокомпрессией.

## § 16. Полупроводниковые интегральные микросхемы

Полупроводниковой интегральной микросхемой называют схему, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности кристалла полупроводника.

Основным преимуществом полупроводниковых интегральных микросхем является повышенная степень интеграции и более высокие параметры, однако стоимость изготовления полупроводниковых микросхем более высокая по сравнению с пленочной и гибридной.

Для изготовления полупроводниковых микросхем используют кремний, германий и др.

Наиболее распространенным является кремний, обладающий более высокими электрическими и физико-химическими характеристиками по сравнению с другими полупроводниковыми элементами. Кремний имеет большую ширину запрещенной зоны, что обеспечивает более широкий (почти в 2 раза) интервал рабочих температур (до 150°C), обратные токи  $p$ - $n$ -переходов в тысячу раз меньше, чем у германия и большее пробивное напряжение. Пробой  $p$ - $n$ -перехода наступает при более высокой температуре. Оксид кремния служит защитным покрытием от воздействий внешней среды при проведении ряда технологических процессов.

Кремний получают в виде монокристаллических стержней, которые в зависимости от типа проводимости делятся на восемь групп. Марки стержней обозначаются буквами. Например, КЭФ — кремний электронной проводимости ( $n$ -типа), легированный фосфором; КДБ — кремний дырочной проводимости ( $p$ -типа), легированный бором.

Стержневые монокристаллы полупроводников разрезают на пластины (подложки).

Чтобы получить чистую поверхность, подготовленные пластины (подложки) подвергают специальной обработке. Концентрация примесей не должна превышать  $10^{-8}$ — $10^{-7}$  г/см<sup>2</sup>. От процесса обработки и очистки во многом зависит количество микросхем. Заготовки пластин (подложек) для предохранения поверхностей от новых загрязнений покрывают полимерными лаками. Контроль осуществляют визуально с помощью микроскопов МБС-1 и МБС-2 или микроинтерферометров МИИ-4.

**Технология изготовления полупроводниковых микросхем.** В зависимости от разновидности полупроводниковой технологии (локализация и литография, вакуумное напыление и гальваническое осаждение, эпитаксия, диффузия, легирование и травление) получают области с различной проводимостью, которые эквивалентны емкости, либо активным сопротивлениям, либо различным полупроводниковым приборам. Изменяя концентрацию примесей, можно получить в кристалле многослойную структуру, воспроизводящую заданную электрическую схему.

В настоящее время применяют групповые способы изготовления полупроводниковых интегральных микросхем, позволяющие за один технологический цикл получить несколько сотен заготовок микросхем. Наибольшее распространение получил групповой планарный способ, заключающийся в том, что элементы микросхем (конденсаторы, резисторы, диоды и транзисторы) располагаются в одной плоскости или на одной стороне подложки.

Рассмотрим основные технологические процессы, применяемые при изготовлении полупроводниковых микросхем (термическое оксидирование, литография, эпитаксия, диффузия и ионное легирование).

Термическое оксидирование мало чем отличается от типовых технологических процессов, известных при производстве полупроводниковых приборов. В технологии кремниевых полупроводниковых микросхем оксидные слои служат для изоляции от

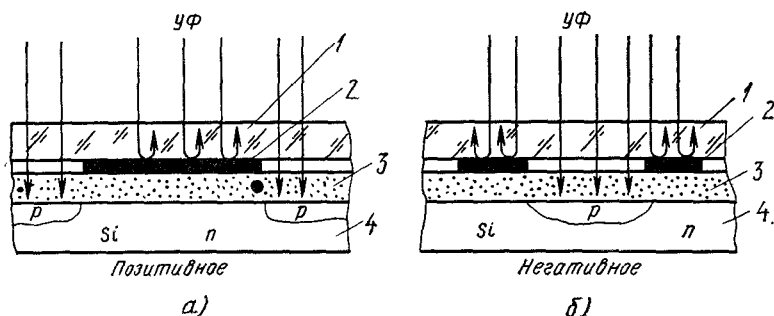


Рис. 22. Перенос изображений с помощью негативного (а) и позитивного (б) фоторезистов:

1 — основа фотошаблона, 2 — непрозрачные участки рисунка фотошаблона, 3 — фоторезистивный слой, 4 — подложка

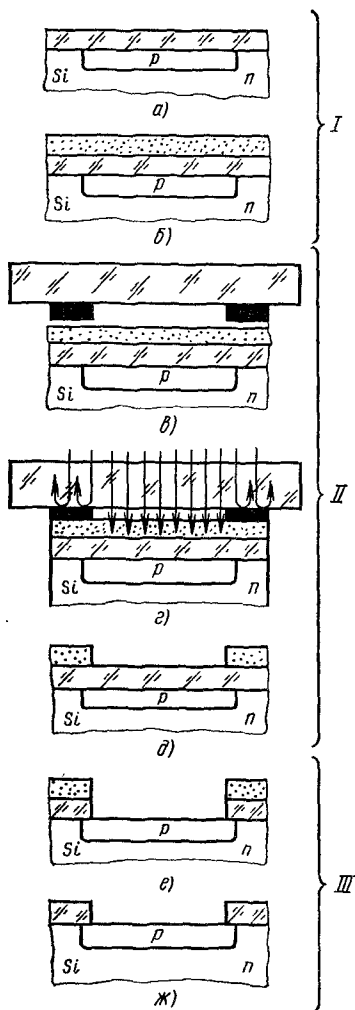


Рис. 23. Схема технологического процесса фотолитографии:

*I* — этап формирования фоторезистивного слоя, *II* — этап формирования фоторезистивной маски, *III* — этап передачи изображения на подложку; *а* — подготовка подложки, *б* — нанесение фоторезиста и сушка, *в* — совмещение, *г* — экспонирование, *д* — проявление и термообработка, *е* — травление, *ж* — удаление фоторезистивной маски

дельных участков полупроводникового кристалла (элементов, микросхемы) при последующих технологических процессах.

Литография является самым универсальным способом получения изображения элементов микросхемы на кристалле полупроводника и делится на три вида: оптическая, рентгеновская и электронная.

В производстве полупроводниковых интегральных микросхем самым универсальным технологическим процесс — это оптическая литография или фотолитография. Сущность процесса фотолитографии основана на использовании фотохимических явлений, происходящих в светочувствительных покрытиях (фоторезистах) при экспонировании их через маску. На рис. 22, *а* показан процесс негативного, а на рис. 22, *б* — позитивного переноса изображений с помощью фоторезистов, а на рис. 23 приведена схема технологического процесса фотолитографии.

Весь процесс фотолитографии с помощью фоторезистивной маски состоит из трех основных этапов: формирования на поверхности подложки фоторезистивного слоя *I*, фоторезистивной контактной маски *II* и передачи изображения с фотошаблона на фоторезистивный слой *III*.

Фотолитография может производиться бесконтактным и контактным способами. Бесконтактная фотолитография по сравнению с контактной дает более высокую степень интеграции более высокие требования к фотооборудованию.

Процесс получения рисунка микросхемы фотолитографическим способом сопровождается рядом контрольных операций, предусмотренных соответствующими картами технологического контроля.

Рентгеновская литография позволяет получить более высокую разрешающую способность (большую степень интеграции), так как длина волны рентгеновских лучей короче, чем све-



товых. Однако рентгенолитография требует более сложного технологического оборудования.

Электронная литография (электронно-лучевое экспонирование) выполняется в специальных вакуумных установках и позволяют получить высокое качество рисунка микросхемы. Этот вид литографии легко автоматизируется и имеет ряд преимуществ при получении больших интегральных микросхем с большим (более  $10^5$ ) числом элементов.

В настоящее время полупроводниковые элементы и компоненты микросхем получают тремя методами: эпитаксии, термической диффузии и ионного легирования.

Эп и т а к с и я — процесс выращивания слоев с упорядоченной кристаллической структурой путем реализации ориентирующего действия кристалла подложки. Ориентированно выраженные слои нового вещества, закономерно продолжающие кристаллическую решетку подложки, называют эпитаксиальными слоями. Эпитаксиальные слои на кристалле выращивают в вакууме. Процессы эпитаксиального выращивания полупроводниковых слоев аналогичны получению тонких пленок. Эпитаксию можно разделить на следующие этапы: доставка атомов или молекул вещества слоя на поверхность кристалла подложки и миграция их по поверхности; начало группирования частиц вещества около поверхностных центров кристаллизации и образование зародышей слоя; рост отдельных зародышей до их слияния и образования сплошного слоя.

Эпитаксиальные процессы могут быть очень разнообразными. В зависимости от используемого материала (полупроводниковой пластины и легирующих элементов) с помощью процесса эпитаксии можно получить однородные (мало отличающиеся) по химическому составу электронно-дырочные переходы, а также однослойные и многослойные структуры наращивания слоев различных типов проводимости. Этим методом можно получить сложные сочетания: полупроводник — полупроводник; полупроводник — диэлектрик; полупроводник — металл.

В настоящее время наиболее широко применяют избирательный локальный эпитаксиальный рост с использованием  $\text{SiO}_2$  — контактных масок с эпитаксиально-планарной технологией.

Для получения заданных параметров эпитаксиальных слоев осуществляют контроль и регулировку толщины, удельного сопротивления, распределения концентрации примеси по толщине слоя и плотности дефектов. Эти параметры слоев определяют пробивные напряжения и обратные токи  $p$ - $n$ -переходов, сопротивления насыщения транзисторов, внутреннее сопротивление и вольт-фарадные характеристики структур.

Термическая диффузия — это явление направленного перемещения частиц вещества в сторону убывания их концентрации, которое определяется градиентом концентрации.

Термическую диффузию широко используют для введения легирующих примесей в полупроводниковые пластины или в выра-

щенные на них эпитаксиальные слои с целью получения элементов микросхемы противоположного по сравнению с исходным материалом типа проводимости, либо элементов с более низким электрическим сопротивлением. В первом случае получают, например, эмиттеры, во втором — коллекторы.

Диффузию, как правило, проводят в специальных кварцевых ампулах при 1000—1350° С. Способ проведения диффузии и диффузант (примесь) выбирают в зависимости от свойств полупроводника и требований, предъявляемых к параметрам диффузионных структур. Процесс диффузии предъявляет высокие требования к оборудованию и частоте легирующих примесей и обеспечивает получение слоев с высокой точностью воспроизведения параметров и толщин. Свойства диффузионных слоев тщательно контролируют, обращая внимание на глубину залегания *p-n*-перехода, поверхностное сопротивление или поверхностную концентрацию примеси, распределение концентрации примеси по глубине диффузионного слоя и плотность дефектов диффузионного слоя.

Дефекты диффузионных слоев (эрозию) проверяют с помощью микроскопа с большим увеличением (до 200<sup>x</sup>) или электрорадиографии.

Ионное легирование также получило широкое применение при изготовлении полупроводниковых приборов с большой плоскостью переходов, солнечных батарей и др.

Процесс ионного легирования определяется начальной кинетической энергией ионов в полупроводнике и выполняется в два этапа. Сначала в полупроводниковую пластину на вакуумной установке с дуговым разрядом внедряют ионы, а затем проводят отжиг при высокой температуре, в результате чего восстанавливается нарушенная структура полупроводника и ионы примеси занимают узлы кристаллической решетки. Метод получения полупроводниковых элементов наиболее перспективен при изготовлении различных СВЧ-структур.

Основные технологические этапы получения полупроводниковых микросхем показаны на рис. 24. Самым распространенным методом получения элементов в микросхеме (разделения участков микросхемы) является изоляция оксидной пленкой, получаемой в результате термообработки поверхности кристалла (подложки).

Чтобы получить изолирующие *p-n*-переходы на подложке кремниевой пластины 1, ее обрабатывают в течение нескольких часов в окислительной среде при 1000—1200° С. Под действием окислителя эпитаксиальный полупроводниковый поверхностный слой кремния 2 окисляется. Толщина оксидной пленки 3 — несколько десятых долей микрона. Эта пленка препятствует проникновению в глубь кристалла атомов другого вещества. Но если снять пленку с поверхности кристалла в определенных местах, то с помощью диффузии или других рассмотренных выше методов можно ввести в эпитаксиальный слой кремния примеси, создав

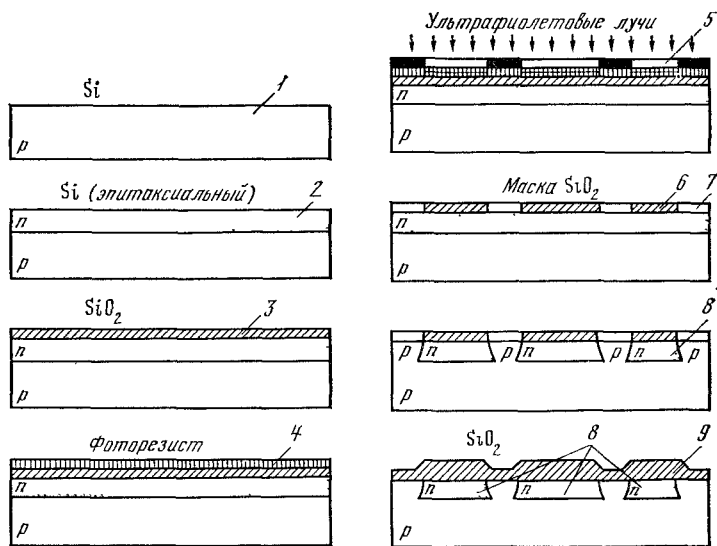


Рис. 24. Основные технологические этапы получения полупроводниковых микросхем

тем самым участки различной проводимости. После того как на подложке получена оксидная пленка, на подложку наносят светочувствительный слой — фоторезист 4. Далее этот слой используют для получения в нем рисунка фотошаблона 5 в соответствии с топологией микросхемы.

Перенос изображения с фотошаблона на окисленную поверхность кремниевой пластины, покрытую слоем фоторезиста, чаще всего производят фотографией, а экспонирование — ультрафиолетовым светом или рентгеном. Затем подложку с экспонированным рисунком проявляют. Те участки, которые освещались, растворяются в кислоте, обнажая поверхность оксида кремния 6. Те же участки, которые не экспонировались, кристаллизуются и становятся нерастворимыми участками 7. Полученную подложку с нанесенной на ней рельефной схемой расположения изолирующих переходов промывают и сушат. После травления незащищенных участков оксида кремния защитный слой фоторезиста удаляют химическим способом. Таким образом, на подложке получают «окна». Такой способ получения рисунка схемы называют позитивным.

Через обнаженные участки 6 подложки методом диффузии вводят примеси атомов бора или фосфора, которые создают изолирующий барьер 8. На полученных изолированных друг от друга участках подложки методом вторичной диффузии, травления, наращивания или другим методом получают активные и пассивные элементы схемы и токопроводящие пленки 9.

Технология получения полупроводниковых интегральных схем состоит из 15—20, а иногда и более операций. После того как

получены все компоненты схем и пленка оксида вытравлена с тех мест, где будут находиться выводы компонентов, полупроводниковую схему покрывают методом напыления или гальванического осаждения пленкой алюминия. С помощью фотолитографии с последующим травлением получают внутрисхемные соединения.

Поскольку в едином технологическом цикле на подложке изготавливают большое количество однотипных интегральных схем, пластины разрезают на отдельные кристаллы, каждый из которых содержит готовую микросхему. Кристаллы приклеивают к держателю корпуса, а электрические контакты микросхемы методом пайки, сварки и термокомпрессии соединяют с выводами проводочными перемычками. Готовые микросхемы при необходимости герметизируют одним из описанных ниже способов.

Промышленность выпускает большую номенклатуру полупроводниковых интегральных микросхем. Например, кремниевые микросхемы с диодно-транзисторными связями предназначены для работы в логических узлах ЭВМ и узлах автоматики; германиевые полупроводниковые микросхемы с непосредственными связями являются универсальными логическими переключателями элементов НЕ — ИЛИ.

Дальнейшим развитием технологии производства интегральных микросхем явилось создание схем с большой интеграцией элементов.

В совмещенной интегральной микросхеме элементы выполнены в объеме и на поверхности полупроводниковой подложки комбинированием технологии изготовления полупроводниковых и пленочных микросхем. В монокристалле кремния — подложке методами диффузии, травления и другими получают все активные элементы (диоды, транзисторы и др.), а затем на эту подложку, покрытую плотной пленкой оксида кремния, напыляют пассивные элементы (резисторы, конденсаторы) и токопроводящие проводники. Совмещенную технологию применяют для изготовления мощных и быстродействующих интегральных микросхем.

Для получения контактных площадок и выводов микросхемы на подложку осаждают слой алюминия. Подложка со схемой крепится на внутреннем основании корпуса, контактные площадки на монокристалле соединяются проводниками с выводами корпуса микросхемы.

Совмещенные интегральные микросхемы конструктивно могут быть выполнены в виде моноблока довольно малых размеров. Например, двухкаскадный высокочастотный усилитель, состоящий из двух транзисторов и шести пассивных элементов, размещается на монокристалле кремния размером  $2,54 \times 1,27$  мм.

Быстрый рост интеграции полупроводниковых микросхем при разработке РЭА привел к созданию микросхем высокой степени сложности: БИС, СБИС и БГИС (микросборок).

Большая интегральная схема представляет собой сложную полупроводниковую микросхему с высокой степенью интеграции. В последние годы созданы полупроводниковые БИС, имеющие

на кристалле кремния размером  $1,45 \times 1,6$  мм до 1000 и более элементов (транзисторов, диодов, резисторов и др.) и выполняющие функции 300 и более отдельных интегральных микросхем. Разработан микропроцессор (микро-ЭВМ), имеющий степень интеграции свыше  $10^7$  элементов на кристалле.

Используя несколько навесных структур БИС на диэлектрической подложке с пассивной пленочной частью микросхем, можно получить микросборки (БГИС), которые просты в проектировании и изготовлении.

Повышение интеграции микросхем достигается автоматизацией и введением в технологический процесс математического моделирования с машинным проектированием топологии и применением новых методов формирования элементов микросхем (ионное легирование и др.).

Основной цикл проектирования БИС состоит из двух этапов: архитектурно - схемотехнического и конструкторско - технологического.

Архитектурно-схемотехнический этап включает разработку архитектуры и структуры микросхемы, функциональных и принципиальных электрических схем, математическое моделирование и другие работы.

Конструкторско-технологический этап включает разработку топологии и конструкции микросхемы, технологии ее изготовления, а также их испытания.

Большие и сверхбольшие интегральные микросхемы на современном уровне представляют последний этап развития классических интегральных микросхем, в которых можно выделить области, эквивалентные пассивным и активным элементам. Дальнейшее развитие элементной базы электроники возможно при использовании различных эффектов и физических явлений в молекулах твердого тела (молекулярная электроника).

## **§ 17. Молекулярные функциональные устройства**

Молекулярная электроника — это раздел электроники, решающий комплекс физических, химических, схемотехнических и технологических проблем с целью создания микроминиатюрной электронной аппаратуры путем использования различных эффектов и физических явлений в молекулах твердого тела.

При построении молекулярных функциональных устройств используют следующие явления и эффекты: формирование, накопление и перенос электрических зарядов (доменов), взаимодействие потока электронов с акустическими волнами (акустоэлектроника), фотоэлектрические, оптические, тепловые, термоэлектрические и другие явления.

Примером функционального элемента является кварцевый резонатор, выполняющий функцию частотной селекции, в котором электрическая функция реализуется за счет прямого и обратного пьезоэлектрических эффектов. Эквивалентная электрическая схе-

ма кварцевого резонатора состоит из индуктивности, емкости и сопротивлений. Однако в конструкции резонатора мы не можем обнаружить их прототипы в общепринятом конструктивном оформлении.

При создании электронных схем особые требования предъявляют к чистоте материала и внутреннему строению его кристаллической решетки, так как малейшие примеси и изменения в строении кристаллической решетки оказывают значительное влияние на физико-электрические параметры материала.

Электронные схемы получают подобно интегральным микросхемам, создавая внутри кристалла локальные неоднородности, позволяющие осуществлять необходимое управление потоком объемных зарядов с помощью электрических или магнитных полей. Технология изготовления молекулярных функциональных устройств имеет много общего с технологией полупроводниковых интегральных схем. В основе создания молекулярных функциональных устройств лежат те же физические явления, что и в основе создания интегральных схем, однако функции первых многообразнее. Отличие состоит в том, что в молекулярных устройствах нельзя отождествлять отдельные структурные области с элементами радиосхемы; эти устройства можно оценивать только в целом по выполняемым ими функциям.

Новым направлением в развитии микроэлектронных устройств на МОП-структурах являются приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Принцип действия ПЗС основан на хранении заряда неосновных носителей в потенциальных ямах, образующихся у поверхности полупроводника под действием внешнего электрического поля, и на перемещении этого заряда вдоль поверхности при сдвиге потенциальных ям. Для ПЗС характерны два режима работы: хранение и передача информационного заряда. На основе ПЗС создаются логические приборы для ЭВМ, линии задержки, полупроводниковые передающие телевизионные трубки и др.

В основе акустоэлектроники лежит использование явлений взаимодействия акустических и электрических колебаний. Элементами акустоэлектронных функциональных устройств являются пьезоэлектрические преобразователи, осуществляющие превращение энергии электрических колебаний в энергию упругих колебаний и обратно. На этом принципе созданы линии задержки для цветных телевизоров. Такие приборы состоят из подложки (звукопровода) и двух преобразователей, предназначенных для возбуждения и приема поверхностных акустических волн (ПАВ). Время задержки сигнала определяется расстоянием между преобразователями и скоростью распространения ПАВ. Максимальное время задержки ограничивается размерами пьезокристалла (подложки) и равно 100 мкс. Объем, занимаемый линией задержки ПАВ по сравнению с волноводными и коаксиальными линиями задержки СВЧ-диапазона, уменьшается в  $10^4$  раз, а масса — в 500 раз.

Приборы магнитоэлектроники основаны на использовании эффектов в магнитоуправляемых веществах, возникающих

при наличии магнитного поля. К таким приборам относятся структуры на магнитных доменах (полосковых или цилиндрических). Принцип работы приборов заключается в формировании и продвижении одиночных доменов в узких низкокоэрцитивных каналах, образованных в высококоэрцитивной магнитной пленке.

Создание принципиально новых устройств хранения и переработки информации на цилиндрических доменах (запоминающих устройствах большой емкости, логических и переключающих устройствах) открывает новую страницу в вычислительной технике.

Новый многообещающий класс прозрачных магнитных кристаллов позволяет создавать большой набор устройств управления. Эти устройства способны в ближайшие годы вытеснить существующие аналоги электронных, электрооптических, акустических и других приборов. Таким образом, один функциональный блок, созданный в едином монолите твердого тела, осуществляет преобразование сложных функций, заменяя собой целую схему, составленную из дискретных активных и пассивных элементов.

Принцип действия прибора хемотроники основан на электрохимическом преобразовании. В качестве носителей заряда используются ионы в жидких и твердых электролитах. Хемотронные приборы (ионисторы, мимисторы и др.) применяют в различных микроэлектронных устройствах, где они выполняют функции выпрямления, электропитания, преобразования, усиления, интегрирования и запоминания информации.

Приборы криоэлектроники основаны на эффекте скачкообразного уменьшения (в миллиарды раз) сопротивления металлов (ниобия и др.) при охлаждении до температур, близких к абсолютному нулю. Это явление называется сверхпроводимостью. Наиболее существенно на свойства сверхпроводников влияет внесение магнитного поля.

На этом принципе построен прибор криотрон, в котором ток входной цепи своим магнитным полем управляет переходом выходной цепи из сверхпроводящего состояния в нормальное, если ее ток меньше практического значения. Криотрон обладает высоким быстродействием и может работать на очень высоких частотах (свыше 1 ГГц) в логических ячейках, сумматорах, дешифраторах и других устройствах ЭВМ.

Оптоэлектронные устройства основаны на использовании светового луча для передачи и обработки информации. Совместное использование электрических и оптических связей на основе различных физических эффектов (например, электролюминесценция, фотопроводимость, электромагнитоакустический эффект, фотодиоды) позволяет по-новому строить функциональные оптоэлектронные устройства. Эти устройства могут получать, хранить, передавать и перерабатывать информацию.

В зависимости от организации оптоэлектронного устройства и физической природы входной и выходной информации преобразователи электрический сигнал — свет и свет — электрический сигнал

могут выполнять роль входных и выходных элементов. Например, оптический сигнал, воздействуя на фотоприемник, преобразует световую энергию в электрическую. В оптоэлектронном устройстве возможны самые разнообразные сочетания взаимодействия входных и выходных сигналов: электрический — электрический, электрический — оптический, оптический — электрический, оптический — оптический.

В измерительной технике широкое применение получили фотоприемники, излучатели, светодиоды, оптронные (оптроны) преобразователи, а также различные световые индикаторы.

Биотроника — это область функциональной микроэлектроники, основанная на явлениях живой природы. Она призвана использовать принципы и сами структуры хранения и обработки информации, приближающиеся по своим функциональным возможностям к человеческому мозгу.

Учеными ряда стран ведутся интенсивные работы в этом направлении. Достижения последних лет позволили создать устройства ассоциативной памяти, самонастраивающиеся фильтры и др. Перспектива развития биотроники — это создание биопреобразователей информации.

## **§ 18. Герметизация микроэлементов, микромодулей и микросхем**

Для увеличения срока службы микроэлементов, микромодулей и микросхем, а также повышения их надежности большое значение имеют защитные материалы и методы герметизации. Для решения этих вопросов важно знать физические, химические и технологические свойства герметизирующих материалов, область их применения, методы наиболее рационального использования. В качестве защитных материалов используют эпоксидные и силиконовые материалы, кремнийорганические смолы и др.

Герметизация микроэлементов, модулей и схем бывает корпусная, бескорпусная и комбинированная и производится несколькими способами: пропиткой, заливкой, обволакиванием и корпусированием. Выбор способа определяется в основном условиями эксплуатации, имеющимся оборудованием и необходимой производительностью. В каждом конкретном случае следует выбирать оптимальные материалы и метод герметизации.

Рассмотрим наиболее распространенные методы герметизации микроэлементов, модулей и микросхем.

Для бескорпусной герметизации применяют методы литьевого прессования, заливку под вакуумом, обволакивание и поверхностные покрытия окунанием и распылением.

При литьевом прессовании (литье под давлением) процесс герметизации выполняют на литьевых машинах. Метод основан на способности пластмассовых материалов расплавляться и в жидком состоянии заполнять все пустоты в специальной литьевой форме. Герметизация пластмассой интегральных микросхем, широко



ко применяемая в последнее время, позволяет упростить технологию производства интегральных микросхем.

Автоматизированная линия изготовления микросхем с пластмассовой герметизацией выполняет следующие технологические операции. Из металлизированной ленты штампуются выводы интегральной микросхемы, на которые подсоединяют структуру кристалла (подложки). После подсоединения кристалла прибор герметизируют пластмассой в специальных пресс-формах. Пластмассовая оболочка готовой микросхемы имеет четко выраженные форму и расстояние между выводами. В одной пресс-форме можно одновременно герметизировать до сотен микросхем.

Корпусная герметизация осуществляется в унифицированных стандартизованных металлических или пластмассовых корпусах, служащих для защиты элементов микросхем от механических и климатических воздействий.

Внутри корпуса к его основанию пайкой или приклеиванием крепится подложка микросхемы. Выводы корпуса соединяют с контактными площадками подложки микросхемы.

При промышленном изготовлении микроблоков из интегральных микросхем становятся более экономичными групповые методы размещения схем в одном корпусе. Стандартный микроблок имеет размеры  $200 \times 25$  мм. На таком микроблоке может разместиться до 100 интегральных микросхем. Внутренние соединения микроблоков осуществляют с помощью печатного монтажа.

Достаточно большое расстояние между осями выводов облегчает процесс изготовления печатного монтажа, сверление отверстий в платах под штырьки и размещение контактных площадок. Такое расположение выводов позволяет осуществлять автоматизацию сборки и монтажа микросхем с использованием многослойных печатных плат. Относительно большие размеры корпусов микросхем облегчают процессы сборки аппаратуры, что в равной степени относится как к ручной, так и к автоматической сборке, хотя и приводит к небольшому увеличению габаритов аппаратуры.

## **§ 19. Сборка, монтаж и контроль параметров микросхем и микросборок**

При производстве микросхем и микросборок совершенно неприемлемы обычные методы монтажа, пайки и сварки, используемые при производстве функциональных узлов и микромодулей, так как большинство полупроводниковых материалов и диэлектрических подложек из керамики и стекла обладают низкой теплопроводностью, узкой зоной пластичности и малой сопротивляемостью к воздействию термических и механических напряжений.

Внутренний монтаж микросхем включает в себя технологические операции по ориентированию и разделению пластин с готовыми структурами на кристаллы (подложки), установке и креплению одной или нескольких микросхем в корпусе и выполнению внутрисхемных соединений.

Крепление кристаллов микросхемы осуществляют методом пайки, сварки или приклеиванием.

Внутрисхемные соединения между напыленными на кристаллы контактными площадками микросхемы и выводами ее корпуса выполняют проволочными перемычками, в качестве которых используют медные и золотые микропровода толщиной от 8 до 60 мкм или осуществляют беспроволочный монтаж. К беспроволочному монтажу относятся подсоединение кристаллов с выводами, сборка на рамке, ленте или гибком носителе.

В зависимости от сочетания материалов и конструкции выводов при сборке микросхем применяют микросварку (термокомпрессионную, ультразвуковую, контактную, электронно-лучевую, лазерную) и микропайку. Наибольшее распространение получили термокомпрессионная и ультразвуковая микросварка и микропайка.

Самый распространенный способ монтажа кристаллов, поддающийся автоматизации — эвтектическая пайка.

Термокомпрессионная микросварка заключается в одновременном воздействии на свариваемые детали давления и повышенной температуры. Соединяемые металлы разогреваются до определенной температуры (начало рекристаллизации), при которой начинает появляться заметное сцепление (диффузия) очищенных от окислов поверхностей металлов при приложении даже небольшой нагрузки. Этим способом можно присоединять электрические выводы толщиной не более нескольких десятков микрон к контактными площадкам кристаллов, размеры которых не превышают 20—50 мкм. Соединение проводят следующим образом: микропровод из алюминия или золота прикладывают к кристаллу полупроводника и прижимают нагретым стержнем инструмента.

Основными параметрами, определяющими режим термокомпрессионной микросварки, являются удельное давление, температура нагрева и время сварки. Метод термокомпресии требует тщательного контроля этих параметров.

Область применения термокомпрессионной микросварки очень широка: для присоединения выводов к полупроводниковым кристаллам; проволочных микропроводников к напыленным контактными площадкам микросхем, монтажа БИС и микросборок. С помощью термокомпрессионной микросварки можно осуществлять групповую сварку микросхем с планарными выводами, а также прецизионную микросварку элементов с минимальной толщиной проводников.

Ультразвуковая микросварка позволяет получить надежное соединение металлов с оксидными поверхностями кристаллов при минимальном тепловом воздействии на структуру чувствительных к нагреву элементов микросхем. Этот вид сварки применяют для соединения металлов, отличающихся электро- и теплопроводностью, а также для сварки металлов с керамикой и стеклом.

Отечественной промышленностью выпускаются ультразвуковые

установки ЭМ-424А, УЗП-02 и НПЗ-2 для присоединения микропровода или микроленты из алюминия и золота к кристаллам полупроводниковых микросхем, внутрикорпусного монтажа микросхем и сборки БИС и микросборок.

При сварке ультразвуком неразъемное соединение металлов образуется при совместном воздействии на детали механических колебаний с частотой 15—60 кГц, относительно небольших сдвигающих усилий и теплового эффекта, сопровождающего процесс сварки. В результате в сварной зоне наблюдается небольшая пластическая деформация, которая обеспечивает надежное соединение деталей.

В последние годы при монтаже микросхем широкое применение получил комбинированный способ, основанный на термокомпрессии с косвенным импульсным нагревом и наложением ультразвуковых колебаний, а также лазерная точечная сварка. Сварка лазерным пятном диаметром 0,25—1 мм и удельной мощностью  $10^5$ — $10^6$  Вт/см<sup>2</sup> при длительности импульса 4—6 мс позволяет сваривать самые тугоплавкие материалы, не разрушая структуру расположенных рядом элементов. Сварные соединения обладают малым переходным сопротивлением.

Микропайка характеризуется простотой соединения деталей сложной конфигурации, что трудно осуществимо при микро-сварке. В настоящее время разработаны высокотехнологичные способы микропайки. Одним из таких способов является микропайка в атмосфере горячего (до 400°C) инертного газа или водорода при проведении которой предварительно облуженный участок обдувается из миниатюрных сопел горячей струей газа. Установка обладает высокой производительностью, кроме того, нет необходимости в применении флюса.

Процесс пайки упрощается, когда используют дозированный припой в виде таблеток или пасты. Его предварительно наносят на места соединений. При этом способе можно точно контролировать количества тепла в месте сварки, а используя средства автоматики, регулировать ток и его время прохождения.

Для механизированной микропайки характерны шаговые перемещения паяльного инструмента, обычно осуществляемые по программе, и прижим инструментом паяного соединения во время пайки. Автоматизация процессов пайки присоединений интегральных микросхем с монтажной платой наряду с повышением производительности труда обеспечивает повышение качества соединений.

Процесс сборки и монтажа микросхем должен находиться под постоянным контролем. При этом применяют визуальный контроль с помощью микроскопа, позволяющий обнаружить обрывы, микротрещины и другие деформации, электрическую проверку параметров, а также рентгеновскую дефектоскопию, позволяющую обнаружить внутренние дефекты. Выборочно осуществляют испытания и полный контроль с разрушением конструкции микросхемы. Контроль в процессе производства интегральных микросхем показан на рис. 25.



Рис. 25. Общая схема изготовления интегральных микросхем:  
ВО — вспомогательные операции, КО — контрольные операции

## § 20. Сборка, монтаж и регулировка РЭА на микросхемах и микросборках

Производство РЭА на базе микроэлектроники предъявляет специфические требования как при выполнении соединений микроэлементов внутри микросхем, так и при монтаже микросхем в узлы и блоки.

Если в микромодулях микроэлемент еще существует как отдельная деталь до момента сборки микромодуля, то метод пленочной технологии предполагает изготовление большинства элементов непосредственно в процессе изготовления микросхемы, а в молекулярных функциональных устройствах и СБИС невозможно выделить отдельные элементы схемы.

При компоновке РЭА на интегральных схемах возникает сложная задача по объединению всех микросхем в одну систему с сохранением преимуществ, присущих интегральным микросхемам. Перед проектировщиками РЭА всегда стояла задача сокращения ее размеров, эта задача еще более усложняется при конструировании РЭА на базе микроэлектроники.

Примером того, насколько малыми могут быть микросборки, выполненные на основе микроэлектроники, может служить законченное устройство для ЭВМ — микропроцессор, все элементы которого выполнены в одном кристалле с уровнем интеграции до 1 млн. элементов.

Конструирование микроэлектронной аппаратуры возможно вести обычными традиционными методами, где активными элементами являются корпусированные интегральные микросхемы. Однако в последние годы все большее развитие находят конструкции микроэлектронных устройств с прогрессирующим уровнем интеграции, позволяющие получить более высокие технические, конструктивные, производственно-технологические и организационно-экономические показатели. Развитие этого направления связано с научно-техническим прогрессом, требует нового подхода к кон-

Таблица 8. Характеристика компоновочных структур микроэлектронной аппаратуры

Степень интеграции	Характеристика
I	Корпусированные микросхемы (ИС) монтируют на печатной плате, обрамленной несущей рамкой. Набор плат размещают в общем корпусе
II	Компоновочная схема не меняется. Вместо корпусированных ИС монтируют большие интегральные схемы (БИС)
III	Корпусированные ИС или БИС монтируют на многослойных печатных платах
IV	Бескорпусные БИС и активные элементы, объединенные в микросборку (БГИС), монтируют в общий корпус
V	Меняется компоновочная схема. Бескорпусные БГИС монтируют на плате и размещают в общем корпусе
VI	Компоновочная схема изменена. БГИС соединяют непосредственно между собой без соединительной платы, образуя сверхбольшую интегральную микросхему (СБИС) и монтируют в общем корпусе, который является теплопроводящей поверхностью

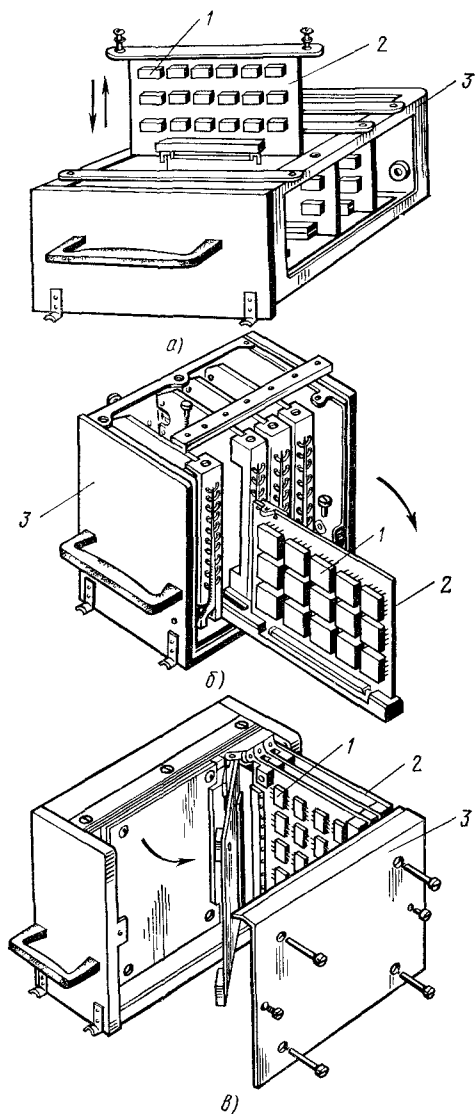


Рис 26. Характерные компоновочные схемы блоков с узлами на микросхемах:

*а* — этажерочная, *б* — веерная, *в* — книжная;  
1 — микросхема, 2 — узел, 3 — блок

струированию устройств, организации их производства, а также к регулировке и настройке радиоэлектронных устройств.

Конструирование РЭА на основе комплексной микроминиатюризации позволяет снизить потребляемую мощность, уменьшить массу и габариты, улучшить электромагнитную совместимость за счет сокращения длины соединительных линий и уменьшения восприимчивости схемных узлов к помехам, увеличить надежность, повысить устойчивость к механическим нагрузкам и изменениям климатических условий работы.

В настоящее время выделяют несколько характерных компоновочных структур микроэлектронной аппаратуры, отличающихся степенью интеграции (табл. 8), однако использовать все преимущества интегральных схем и в первую очередь высокую интеграцию полностью не удастся. Это связано с тем, что приходится значительно увеличивать габариты аппаратуры для обеспечения отвода тепла и осуществления пайки или сварки выводов.

Радиоэлектронная аппаратура может изготавливаться как на интегральных микросхемах, размещенных в корпусах, так и на бескорпусных.

При применении микросхем в плоских прямоугольных корпусах наиболее оптимальной является конструкция блоков, использующих многослойные печатные платы.

Бескорпусный метод конструирования позволяет размещать

кристаллы микросхемы на общей подложке, где производится коммутация их соединений. Благодаря этому методу в несколько раз увеличивается плотность компоновки и сокращается внешняя коммутация проводников.

Характерные компоновочные схемы блоков с узлами на микросхемах приведены на рис. 26, а—в, а технологические операции изготовления бескорпусным методом и основные участки по производству микромодульной РЭА на рис. 27.

Прежде чем начать серийное производство какой-либо микросборки, функционального узла или блока, нужно убедиться в том, что они правильно выполняют свои функции при воздействии на них дестабилизирующих факторов и разбросе параметров входящих в них компонентов. Методы машинного анализа с использованием ЭВМ позволяют относительно быстро решить эту задачу без применения дорогостоящего и длительного макетирования

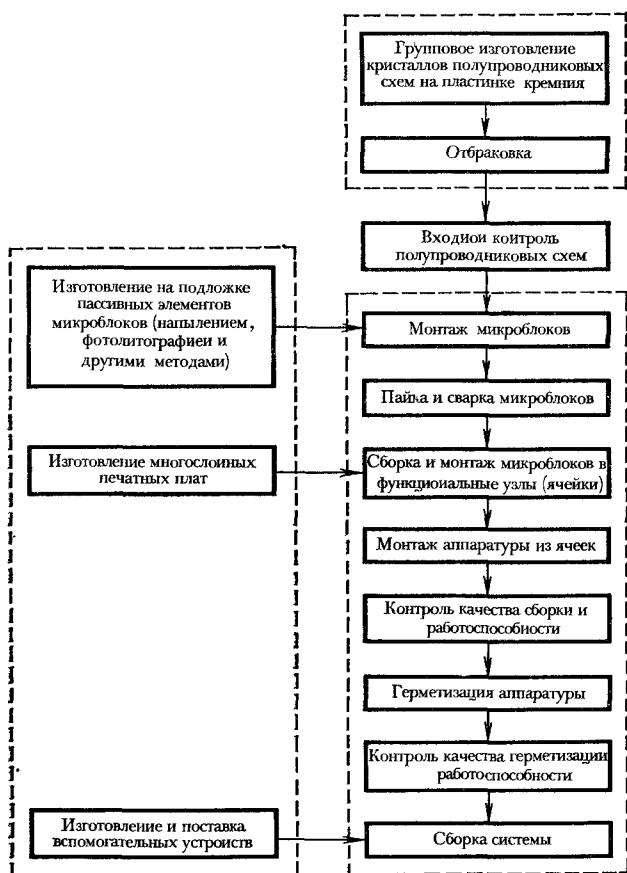


Рис. 27. Схема основных технологических операций изготовления РЭА бескорпусным методом

микросборок, узлов и блоков предварительной проверки и испытаний.

Особенно ощутимый эффект автоматизация проектирования с использованием ЭВМ дает при разработке сложных БИС и электронных схем. Например, для изготовления опытного образца интегральной схемы средней и высокой степени интеграции требуется произвести расчеты по рациональным принципам и методам взаимного расположения элементов схемы с учетом последовательности технологических операций ее изготовления, что составляет многие сотни тысяч чисел. Решение такой задачи под силу только средствам машинного проектирования.

Основными достоинствами использования ЭВМ при проектировании топологии микросхем и микросборок являются: сокращение сроков проектирования, снижение стоимости, повышение качества за счет снижения вероятности ошибок проектирования и предварительного моделирования характеристик до их изготовления.

В результате топологического проектирования получают комплект конструкторской документации, состоящий из чертежей и таблиц координат — для послойного совмещения трафаретов и информации, записанной на перфокартах — для автоматического управления специальным оборудованием (координатографами, графопостроителями и др.), необходимым для изготовления микросхем и микросборок.

С помощью ЭВМ можно также произвести необходимое размещение микроэлементов схемы и монтаж соединений между ними. Важное значение приобретает также возможность автоматического изменения параметров микросборок в процессе их изготовления.

В последние годы при производстве РЭА на микросхемах применяют функционально-узловой метод сборки.

Разработка РЭА по функционально-узловому методу резко сокращает сроки проектирования, дает возможность быстро вводить изменения в конструкцию аппаратуры как в процессе разработки опытных образцов, так и при ее серийном изготовлении, значительно уменьшает трудоемкость производства за счет внедрения механизации и автоматизации производства, упрощения методов контроля, настройки и испытаний.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова сущность микроминиатюризации РЭА?
2. Какие основные направления имеются в области микроминиатюризации?
3. Перечислите основные требования к микроминиатюризации
4. В чем сущность модульного конструирования и каковы при этом особенности монтажа?
5. Какие способы изготовления элементов применяются при модульном конструировании?
6. В чем состоит сущность производства РЭА на основе пленочных микросхем и каковы при этом особенности монтажа?
7. Какие существуют основные методы получения тонких и толстых пленок при изготовлении пленочных микросхем?
8. Какие материалы применяют для изготовления пленочных микросхем?



9. В чем состоит сущность метода твердых схем при изготовлении РЭА?
10. Какие принципы положены в основу изготовления молекулярных схем?
11. Из каких технологических процессов состоит метод получения полупроводниковых микросхем, БИС, СБИС и микросборок?

## Глава V. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕГУЛИРОВКЕ И НАСТРОЙКЕ РЭА

### § 21. Понятие о процессе регулировки РЭА

Качество РЭА характеризуется соответствием ее параметров стандартам или ТУ. Для нормального функционирования РЭА необходимо, чтобы параметры всех ее устройств (деталей и сборочных единиц) также соответствовали ТУ или чертежам. Этого можно достигнуть регулировкой (настройкой) каждого устройства в отдельности и РЭА в целом.

Задача регулировочных работ заключается в том, чтобы с помощью технологических операций, не изменяющих схему и конструкцию РЭА, путем компенсации неточности изготовления деталей и сборочных единиц, согласования их входных и выходных параметров в процессе регулировки довести параметры РЭА до оптимального значения, удовлетворяющего ГОСТу или ТУ при наименьшей трудоемкости, т. е. наименьших затратах труда и времени.

В зависимости от этапа технологического процесса настройка любого устройства может быть предварительной или окончательной.

Предварительной настройкой устройства называется регулировка, которая совершается либо для контрольных целей, либо для обеспечения окончательной настройки других элементов. Например, в процессе настройки усилителя радиочастоты производится регулировка сердечников катушек индуктивностей, подстроечных конденсаторов и т. д.

Под окончательной настройкой устройства понимается последняя регулировка РЭА, проводимая на заводе-изготовителе.

Регулировку устройств РЭА, имеющих несколько регулировочных элементов, целесообразно производить по методу последовательных приближений.

Сущность метода регулировки можно объяснить на примере схемы (рис. 28) с двумя переменными резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ .

Для того чтобы получить требуемые значения токов  $I_{10}$  и  $I_{20}$  в плечах схемы, пользуются методом последовательных приближений. Регулируя сопротивление резистора  $R_1$ , устанавливают

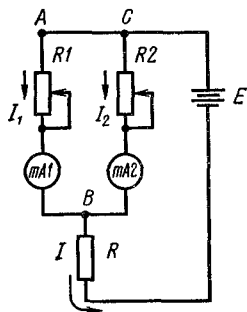


Рис. 28. Схема регулировки с двумя резисторами

показания прибора  $I_1 = I_{10}$ , а  $R_2$  — прибора  $I_2 = I_{20}$ . При этом плечо  $AB$  схемы становится разрегулированным, т. е.  $I_1 \neq I_{10}$ . Снова регулируют  $R_1$  и устанавливают  $I_1 = I_{10}$  при этом происходит разрегулировка плеча  $CB$ , т. е.  $I_2 \neq I_{20}$ . Регулировкой  $R_2$  добиваются значения  $I_2 = I_{20}$  до тех пор, пока одновременно с заданной точностью приборы не будут показывать соответственно  $I_1 \approx I_{10}$  и  $I_2 \approx I_{20}$ .

Поэтому в современных сложных аппаратах для получения заданных параметров блоки необходимо регулировать несколько раз.

Одной из особенностей процесса РЭА является объединение предварительной регулировки устройств с промежуточным контролем для выявления дефектов.

Организация технологического процесса регулировки (настройки) РЭА и требования, предъявляемые к измерительному оборудованию, в значительной степени определяются масштабами производства.

Организация регулировки включает в себя: оснащение рабочего места необходимым измерительным оборудованием и инструментом; правила пользования оборудованием и инструментами; установление определенного порядка проверки, регулировки и испытаний устройств РЭА, а также обнаружение неисправностей и их устранение.

Рабочим местом регулировщика называется часть производственной площади предприятия, на котором выполняются регулировочные или настроечные операции. К рабочему месту должны быть подведены шины заземления, переменные напряжения 220 В для питания измерительных приборов и 36 В — для питания электропаяльника.

При подготовке рабочего места и выполнении работ по регулировке должны быть приняты необходимые меры по безопасности труда:

- все контрольно-измерительные приборы, источник питания и другое вспомогательное оборудование надежно заземлены;

- внешние соединительные провода и кабели должны иметь качественную изоляцию;

- эксплуатация оборудования и измерительных приборов должна осуществляться в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей»;

- при работе с электро- и радиооборудованием, имеющим открытый доступ к токопроводящим частям (при напряжении выше 36 В) согласно «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», должны применять защитные средства (диэлектрические перчатки, коврики и др.);

- при работе с полупроводниковыми приборами и интегральными микросхемами должны быть приняты меры защиты от статического электричества.

Состав оборудования рабочего места (измерительные приборы, инструмент, приспособления) определяется сложностью регулируемого изделия.

При регулировке или настройке высокочастотных блоков используют экранированные камеры для защиты от воздействия внешних электромагнитных полей.

Оборудование для настройки и регулировки РЭА и ее узлов может быть стандартным (серийные измерительные приборы) и нестандартным. К нестандартному оборудованию относятся автоматические и полуавтоматические контрольно-измерительные установки и приспособления, роботы и различные манипуляторы, предназначенные для максимального уменьшения трудоемкости регулировки (настройки) и сокращения времени выполнения операции.

При рациональном выборе контрольно-измерительного оборудования для каждого рабочего места должны учитываться характер производства, соответствие характеристик оборудования требованиям ТУ, простота и удобство эксплуатации, стоимость и др.

При опытном производстве чаще всего используют универсальные измерительные приборы и генераторы, с помощью которых можно настроить или проверить большое количество параметров аппаратуры.

При серийном и массовом производстве, где настройка, регулировка и испытания разделяются на большое количество операций, применение индивидуальных приборов, например, генераторов стандартных сигналов, на каждом рабочем месте регулировщика связано с затратой времени на его перестройку, а частые перестройки генераторов стандартных сигналов в процессе настройки увеличивают погрешность установки частоты.

Чтобы этого избежать, применяют централизованную подачу стандартных частот от кварцевого генератора по высокочастотным кабелям на рабочие места, расположенные вдоль конвейера. Это обеспечивает максимальную точность и идентичность сигналов на всех рабочих местах при минимальных затратах и упрощает измерительную аппаратуру, располагаемую на рабочих местах регулировщика. Однако во всех случаях точность контрольно-измерительной аппаратуры должна превышать примерно в три раза заданную ТУ точность настройки.

## **§ 22. Техническая документация, необходимая для регулировки и ремонта РЭА**

Прежде чем приступить к регулировочно-настроечным работам, регулировщик РЭА должен ознакомиться с основной документацией на изделие, иметь четкое представление о работе изделия, порядке регулировочных и настроечных работ, требованиях, предъявляемых к изделию в эксплуатации.

Выполнение регулировочно-настроечных операций при производстве и ремонте РЭА осуществляют по маршрутным картам технологического процесса, которые являются основным документом для нормирования и определения требуемого контрольно-измерительного оборудования, инструмента и материалов. В отдельных случаях при регулировке и ремонте сложной аппаратуры

последовательность выполняемых работ регламентируют инструкциями по регулировке и ремонту.

В технологических инструкциях по регулировке (ремонту) приведены:

краткие сведения об изделии (назначение, состав, принцип действия и работы);

последовательность операций, способы регулировки отдельных частей изделия, пределы регулировки, перечень применяемых источников электропитания, контрольно-измерительных приборов, инструментов и приспособлений;

требования к состоянию изделия, при котором производится его регулировка, методика настройки и способы регулировки отдельных деталей, сборочных единиц и изделия в целом;

перечень составных частей изделия, которые должны быть настроены, отрегулированы и испытаны;

количество рабочих режимов регулировки и их зависимость от климатических условий;

указания по безопасности труда при подготовке рабочего места. В инструкциях по регулировке также указывают, куда и как нужно записывать результаты измерений.

Для выполнения технологических операций по проверке монтажа и режимов работы схемы пользуются чертежами-картами, на которых указывают допустимые границы изменений режимов и параметров отдельных каскадов и узлов схемы, коэффициенты передачи уровней сигнала, частоты настройки и т. д. Пользование этими картами значительно ускоряет процесс проверки и подготовки работы радиоламп, полупроводниковых приборов, интегральных микросхем.

На рабочем месте регулировщика должны быть также ТУ на регулируемый узел или блок, описание и инструкции по эксплуатации измерительных приборов и оборудования.

В соответствии с ГОСТ 2.114—78, ТУ должны содержать требования, правила приемки, методы контроля измерений и испытаний, условия хранения и транспортировки, указания по эксплуатации и гарантии поставщика. Часто в ТУ приводят перечень оборудования и контрольно-измерительных приборов, нормы и погрешности измерений.

Общие ТУ разрабатываются в виде государственных, республиканских или отраслевых стандартов. При отсутствии указанных стандартов на данный вид устройства составляют частные и временные ТУ. Требования ТУ не должны быть ниже требований действующих стандартов или противоречить им.

*Эксплуатационная документация* на РЭА предназначается для обслуживающего персонала. Эксплуатационные документы разрабатываются на РЭА, техническое обслуживание которой возможно лишь при наличии сведений об ее устройстве, составе, технических параметрах. Комплект эксплуатационных документов для РЭА в зависимости от их вида, сложности и условий эксплуатации согласовывается с заказчиком. Например, для отдельной детали

составляют паспорт и этикетку, для сборочной единицы и комплекса — техническое описание, инструкции по эксплуатации, техническому обслуживанию и монтажу, паспорт или формуляр, учебно-технические плакаты и др. Эти документы могут объединяться в один документ под названием «Руководство по эксплуатации». Основные эксплуатационные документы даны в табл. 9.

Т а б л и ц а 9. Перечень основных эксплуатационных документов

Вид	Назначение
Техническое описание	Предназначено для изучения РЭА и должно содержать описание устройства и принципа действия, а также технические характеристики и другие сведения, необходимые для полного использования технических возможностей РЭА
Инструкция по эксплуатации	Содержит сведения, необходимые для правильной эксплуатации (использования, транспортировки, хранения и технического обслуживания) РЭА и поддержания ее в постоянной готовности к использованию
Инструкция по техническому обслуживанию	Предусматривает порядок и правила технического обслуживания РЭА для различных условий эксплуатации. Должны быть приведены исчерпывающие указания по техническому обслуживанию аппаратуры, выполнение которых обеспечивает постоянную готовность РЭА к использованию
Инструкция по монтажу, пуску, регулировке и обкатке	Содержит сведения, необходимые для технически правильного монтажа, пуска, регулировки и обкатки РЭА, монтаж которой должен проводиться только на месте применения
Паспорт	Удостоверяет гарантированные предприятием-изготовителем основные параметры и характеристики РЭА

Допускается объединять следующие эксплуатационные документы:

техническое описание и инструкцию по эксплуатации;  
 техническое описание, инструкцию по эксплуатации и паспорт (документ называется «Паспорт»);  
 инструкцию по эксплуатации и техническому обслуживанию с инструкцией по монтажу, пуску, регулировке и обкатке РЭА на месте его применения («Инструкцию по эксплуатации»).

*Ремонтная документация* предназначена для подготовки ремонтного производства, ремонта РЭА и контроля ее после ремонта.

Ремонтные документы бывают трех видов:

опытного ремонта, предназначенные для выполнения небольшой специально отобранной партии РЭА. После опытного ремонта корректируют ремонтные документы;

установочной ремонтной серии РЭА, предназначенные для ремонта последующих партий;

серийного или массового производства РЭА. Эти документы должны быть окончательно отработаны и проверены в ремонтном производстве.

## **§ 23. Общие методы настройки и регулировки РЭА**

Настройка и регулировка РЭА производится в такой последовательности: внешний осмотр сборки и монтажа аппаратуры, настройка и регулировка ее узлов и блоков и проверка электрических параметров аппаратуры.

При внешнем осмотре сборки и монтажа проверяют правильность установки деталей и сборочных единиц на шасси или печатной плате и их крепление, отсутствие замыканий проводов или печатных проводников на плате. Любые неисправности, обнаруженные при осмотре, должны быть устранены.

Настройку и регулировку электрических параметров узлов и блоков начинают с измерения напряжений и токов питания, иногда — сопротивлений цепи. Измеренные значения токов потребления и напряжений (сопротивлений) сравнивают с их значениями, приведенными на принципиальной электрической схеме и технологических картах.

Если показания измерительных приборов не отличаются резко от нормы, приступают к настройке и регулировке блока. При регулировке узлов и блоков РЭА в зависимости от технологического процесса применяют либо метод проверки параметров по измерительным приборам, или метод сравнения выходных параметров блока с эталоном.

При расхождении этих значений со значениями данными в ТУ изделия бракуют и отправляют в ремонт.

При регулировке и настройке РЭА с использованием интегральных микросхем и микросборок необходимо, чтобы измерительное оборудование не нарушало их электрических и тепловых режимов. Проверка электрических режимов микросхем и микросборок при монтаже или ремонте сводится к измерению постоянных или импульсных напряжений на их выводах в узлах или блоках.

Основные методы измерений электрических параметров устройств на микросхемах и микроблоках и определение их характеристик оговорены ГОСТ 18683—76 и ГОСТ 19799—74. При этом нельзя допускать произвольную замену номиналов резисторов на схемах блоков, так как режимы микросхем и микросборок могут выйти за пределы допустимых значений.

Существенное значение в работе СВЧ-аппаратуры приобретают потери электромагнитной энергии при передаче ее от источника

в нагрузку. Для уменьшения потерь энергии осуществляется согласование между отдельными узлами и блоками аппаратуры, входящими в тракт передачи энергии, с помощью согласующих устройств-преобразователей (аттенюаторов, ответвителей, фазовращателей, нагрузок и др.).

Волноводные, коаксиальные и полосковые тракты передачи энергии, а также входящие в их состав линейные элементы характеризуются полным сопротивлением, коэффициентом стоячей волны (КСВ), модулем, фазой коэффициента отражения и комплексным коэффициентом передачи. Измерения этих величин, а также мощности СВЧ-колебаний также имеют специфические особенности.

При настройке и регулировке узлов и блоков, работающих в СВЧ-диапазоне, необходимо согласовать элементы тракта СВЧ для передачи максимума энергии без отражений, обеспечить заданную стабильность работы генераторов и др. Для этого используют специальные измерительные приборы и устройства (волномеры, измерители мощности, измерительные линии, генераторы) и согласующие устройства — преобразователи.

В процессе регулировки необходимо следить за точностью и плотностью сочленения отдельных элементов (фланцев, разъемов и др.) СВЧ-тракта. Различные смещения, ухудшение контакта и другие неточности в соединении отдельных элементов приводят к большим потерям полезного сигнала.

## **§ 24. Методы определения неисправностей в радиоприемниках и магнитолах**

Определение и отыскание неисправностей — наиболее сложный процесс при налаживании и ремонте РЭА (радиоприемника, магнитолы или телевизора). Кратко рассмотрим наиболее часто встречающиеся неисправности, которые могут возникнуть в каскадах супергетеродинного радиоприемника, основные правила нахождения неисправностей и способы их устранения.

Неисправный радиоприемник может не работать полностью, работать частично (временами) или плохо работать (слабый или искаженный звук, помехи и т.д.).

Как правило, все неисправности, встречающиеся в радиоприемниках, приводят к нарушению его нормальной работы.

Радиоприемник может не работать по следующим причинам: отсутствует питание (перегорел предохранитель и т. д.); вышли из строя радиолампа, полупроводниковый прибор или микросхема; произошло короткое замыкание между проводами; обрыв обмотки катушки индуктивности, дросселя или трансформатора; перегорание резистора и др. Могут встречаться и более сложные неисправности, устранение которых не приводит к нормальной работе радиоприемника, и требуется его настройка с помощью соответствующей измерительной аппаратуры. Например, замена полосового фильтра требует настройки усилителя УПЧ.

Встречаются случаи, когда в общем радиоприемник работает, но нет приема на каком-нибудь диапазоне частот, пропадает звук при некоторых положениях переключателя диапазонов или регулятора громкости. В этом случае можно предположить, что радиолампы, полупроводниковые приборы или интегральные микросхемы исправны, их режим находится в пределах нормы, приемный тракт настроен правильно, но нет контакта в переключателе диапазонов или неисправен регулятор громкости.

Гораздо сложнее определить причину неисправности, когда радиоприемник работает, но звук слабый или прием сопровождается сильными искажениями или самовозбуждением. В этом случае необходимо проверить монтаж, электрический режим радиоламп, полупроводниковых приборов, микросхем, параметры радиодеталей, настройку фильтров усилителей УРЧ и УПЧ, а также сопряжение входных и гетеродинных контуров.

Практика ремонта радиоприемников показывает, что не все каскады сразу выходят из строя, поэтому не следует трогать элементы настройки контуров, менять все радиолампы, полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы, резисторы и конденсаторы, пока не будет обнаружен неисправный блок или деталь.

Перед началом проверки и ремонта необходимо ознакомиться с принципиальной схемой радиоприемника, разобраться в монтажной схеме, изучить расположение отдельных каскадов и основных узлов и деталей. Проверку неисправного радиоприемника и его блоков следует начинать с внешнего осмотра. Как правило, при тщательном осмотре монтажа легко обнаружить обрыв провода, перегоревший резистор, обрыв вывода катушки индуктивности и др.

При внешнем осмотре схем печатного монтажа надо проверить целостность печатных проводников, особое внимание обращают на места соединения выводов деталей с токоведущими проводниками. Если при этом нельзя выявить неисправности, необходимо приступить к детальной проверке режимов работы радиоприемника. Цель такой проверки состоит в том, чтобы определить, какой каскад неисправен (блок питания, усилители УРЧ, УПЧ или УЗЧ). На практике широко применяют метод последовательной проверки прохождения сигнала через каскады приемника, начиная от последнего каскада к входному устройству.

Для измерения режимов работы транзисторов и напряжений питания, а также для наладки трактов радиоприемника или магнитолы необходимы следующие измерительные приборы: электронный вольтметр ВК7-9, тестер Ц4312, электронный осциллограф С1-19, генераторы стандартных сигналов Г4-70 для наладки ЧМ-тракта и Г4-18 для наладки АМ-тракта, электронный вольтметр переменного тока ВЗ-13. Для регулировки и настройки можно взять и другие приборы, имеющие соответствующие пределы измерений. Характерные неисправности транзисторных радиоприемников и магнитол, вызывающие их причины и методы устранения, приведены в табл. 10.



**Т а б л и ц а 10. Характерные неисправности транзисторных радиоприемников и магнитол, их причины и методы устранения**

Характерные неисправности	Возможные причины	Методы устранения
---------------------------	-------------------	-------------------

**Источники питания транзисторных радиоприемников**

Радиоприем ведется с пониженной громкостью. Напряжение питания занижено	Частичный разряд батареи питания	Заменить батарею питания, зарядить аккумулятор
Радиоприемник самовозбуждается. Радиоприем на всех диапазонах сопровождается сильным свистом	Разрядилась батарея питания (или аккумулятор)	
После смены батареи или аккумулятора радиоприемник не работает	Плохой контакт между выводами батареи (или аккумулятора) и контактной колодкой радиоприемника, неисправен выключатель	Исправить контакт или заменить выключатель
Перегорает предохранитель при питании от сети	Неисправны: выпрямитель, конденсатор в цепи сглаживающего фильтра или транзистор усилителя мощности	Заменить неисправный радиоэлемент (конденсатор, транзистор)

**Усилитель звуковой частоты УЗЧ**

Радиоприема нет. Напряжение на коллекторе транзистора УЗЧ равно нулю	Пробит конденсатор, включенный между коллектором и шасси; неисправен транзистор	Заменить конденсатор (или транзистор)
Звучания нет. Напряжение, питание нормальное. Ток коллектора транзистора УЗЧ нормальный	Обрыв переходного конденсатора; обрыв звуковой катушки громкоговорителя	Устранить обрыв
Радиоприема нет. Напряжение на коллекторе и ток коллектора транзистора УЗЧ равны нулю	Обрыв резистора нагрузки или фильтра цепи коллектора; пробой конденсатора фильтра в цепи коллектора	Устранить обрыв; заменить конденсатор
Радиоприем сильно искажен. Ток коллектора транзистора УЗЧ выше нормы	Пробит переходный конденсатор	Заменить конденсатор
Радиоприем ведется с пониженной громкостью и искажениями. Напряжение на коллекторе завышено, ток коллектора мал	Обрыв резистора в цепи базы транзистора предварительного каскада усиления	Устранить обрыв
Регулировка громкости звучания сопровождается сильным треском	Плохой контакт между ползунком и токопроводящим слоем; износ или загрязнение токопроводящего слоя	Заменить резистор

Характерные неисправности	Возможные причины	Методы устранения
Отсутствует звук при воспроизведении записи, а в режиме «Запись» — запись сигналов	Неисправны усилитель и универсальная головка	Измерением режимов транзисторов и сравнением с картой напряжений найти неисправную деталь и заменить ее.
Плохо воспроизводятся высокие частоты	Неисправна воспроизводящая головка (загрязнена рабочая поверхность, увеличен угол перекоса рабочего зазора), большой износ рабочей поверхности	Устранить продукты износа ленты с рабочей поверхности головки, уменьшить угол перекоса, произведя регулировку угла наклона рабочего зазора. Заменить головку новой

## Усилитель промежуточной частоты УПЧ

Радиоприема нет. Напряжение на электродах и ток коллектора в норме	Замыкание в фильтре УПЧ. Обрыв катушки индуктивности в цепи базы транзистора	Устранить замыкание или обрыв; при необходимости заменить катушку фильтра
Радиоприема нет. Напряжение на коллекторе равно нулю, нет тока в цепи коллектора	Обрыв первичной обмотки фильтра УПЧ или неисправен транзистор	Устранить обрыв; при необходимости заменить полосовой фильтр и неисправный транзистор
Звук воспроизводится с «хлюпанием». Громкость ниже нормы	Расстроены фильтры УПЧ; неисправен один из конденсаторов, включенных параллельно катушкам фильтров УПЧ	Заменить неисправный конденсатор; подстроить фильтр УПЧ
Радиоприем ведется с пониженной громкостью. Ток коллектора занижен	Обрыв резистора в цепи базы транзистора	Устранить обрыв или заменить резистор исправным

## Детектор и схема АРУ

Радиоприема нет (УЗЧ работает нормально)	Обрыв или пробой полупроводникового диода. Обрыв переходного конденсатора, резистора нагрузки детектора или вторичной обмотки фильтра ПЧ	Заменить диод; устранить обрыв в цепи детектора
Радиоприем ведется с пониженной громкостью (УЗЧ работает нормально)	Расстроен фильтр ПЧ	Произвести подстройку фильтра
Радиоприем мощных станций ведется с большой громкостью и сопровождается сильными искажениями. Слабо слышимые станции принимаются без искажений. Проигрывание пластинок нормальное	Не работает АРУ радиоприемника. Замыкание конденсатора фильтра АРУ или обрыв в цепи АРУ	Заменить конденсатор; устранить обрыв

Характерные неисправности	Возможные причины	Методы устранения
<b>Блок УКВ</b>		
Приема в диапазоне УКВ нет	Нет контакта в цепи УКВ или вышел из строя один из транзисторов в блоке. Не подается питание на блок УКВ.	Устранить нарушение контакта. Заменить транзистор
Заметно снижена чувствительность	Нарушен контакт в катушках контура Расстроен контур УКВ или сломан сердечник катушки контура	Устранить нарушение Произвести подстройку контура (заменить сердечник)
<b>Усилитель радиочастоты</b>		
Радиоприема сигналов нет. Режим работы (напряжение на электродах) нормальный	Замыкание пластин в конденсаторе переменной емкости Обрыв в катушке резонансного контура или фильтра ПЧ	Заменить конденсатор исправным, устранить обрыв в катушке
<b>Преобразователь частоты</b>		
Радиоприема нет на одном из диапазонов	Обрыв антенной катушки или катушки связи	Устранить обрыв в катушке
При настройке на принимаемую станцию прослушивается сильный треск	Замыкают пластины блока переменных конденсаторов	Продуть пластины конденсатора воздухом
Переключение диапазонов сопровождается сильным треском	Загрязнены контакты переключателя диапазонов	Протереть спиртом контакты переключателя
Радиоприема во всех диапазонах тракта АМ нет	Вышел из строя транзистор гетеродина	Заменить транзистор
Радиоприема нет во всех диапазонах. Напряжение на коллекторе транзистора преобразователя частоты равно нулю, нет тока в цепи коллектора	Обрыв катушки фильтра УПЧ в цепи коллектора; пробой конденсатора или обрыв резистора развязывающего фильтра в цепи коллектора	Устранить обрыв в цепи фильтра; заменить конденсатор
Слабый радиоприем на ДВ- или СВ-диапазонах	Расстроены входные или гетеродинные контуры ДВ- или СВ-диапазонов	Произвести настройку контуров
<b>Головки громкоговорителей</b>		
Прослушивается «дребезг» при работе радиоприемника (магнитолы)	Ослабло крепление головки громкоговорителя. Засорен зазор между звуковой катушкой и магнитом громкоговорителя. Нарушена центровка или произошел обрыв звуковой катушки	Устранить неисправность или заменить громкоговоритель

Характерные неисправности	Возможные причины	Методы устранения
---------------------------	-------------------	-------------------

## Лентопротяжный механизм магнитолы

Прослушивается детонация. Повышен акустический шум	Загрязнены или изношены поверхности прижимного ролика, пассиков и других вращающихся деталей	Протереть тампоном, смоченным спиртом, поверхности этих деталей, заменить изношенные детали и произвести смазку в соответствии с инструкцией по эксплуатации
Замедленное или прерывистое движение магнитной ленты кассеты, неплотная намотка ленты	Загрязнены или изношены соприкасающиеся поверхности вращающихся деталей привода ведущего вала, приемного узла и подмотки	

## § 25. Методы обнаружения и устранения неисправностей в телевизионном приемнике цветного изображения

Перед тем как приступить к поиску неисправности телевизора, необходимо попытаться восстановить его нормальную работу, настраивая внешние органы управления, и выяснить, от чего зависят имеющиеся дефекты качества изображения и звука (плохие условия приема, индустриальные и атмосферные помехи, нестабильность питающей сети и т. д.).

Одновременно следует исключить возможность появления нарушений, которые возникают из-за плохого контакта в антенном разьеме, неправильного положения выключателя цветности, выключателя громкоговорителей и др.

Для определения неисправности необходимо:

при выключенном телевизоре произвести тщательный внешний осмотр, обращая внимание на любые внешне различимые дефекты монтажа и деталей;

при включенном телевизоре проверить надежность контактов в соединениях, связанных с подозреваемым блоком, легким покачиванием их;

измерить постоянные и импульсные напряжения на контактах блока или модуля (со стороны платы) и сравнить значения их с проводимыми на принципиальной схеме.

Если проверка не дала положительных результатов, наиболее эффективным средством является замена модулей исправными.

Таблица 11. Характерные признаки неисправности в работе телевизора

Признаки	Модуль, подлежащий проверке
Нет изображения и звука, экран не светится, либо его свечение едва заметно	AS1 (УМ1-1), AS5 (УМ2-1)
Мала контрастность черно-белого изображения	AS1 (УМ1-1), AS8 (УМ2-3)
Отсутствует черно-белое изображение, цветное изображение искажено	AS8 (УМ2-3)
Изображение только черно-белое	AS5 (УМ2-2), AS6 (УМ2-2)
Есть изображение, нет звука	AS1 (УМ1-1), AS2 (УМ1-2), AS3 (УМ1-3)
Искажен или тихий звук	AS2 (УМ1-2), AS3 (УМ1-3)
Нет раstra, отсутствует высокое напряжение	AR3 (М3-3), AP3 (МБ-1)
Нет раstra, есть высокое напряжение	AR2 (М3-2)
Нет раstra, при включении телевизора срабатывает защита	AR3 (М3-3), AR1 (М3-1)
Узкая горизонтальная полоса в середине экрана	AR2 (М3-2)
Нарушение общей синхронизации	AR1 (М3-1)
Нарушение синхронизации по кадрам	AR2 (М3-2)
Нарушение синхронизации по строкам	AR1 (М3-1)
Появление цветной окраски при воспроизведении белого изображения в цветной передаче	AS6 (УМ2-2)
Цветные помехи на черно-белом изображении	AS5 (УМ2-1), AS6 (УМ2-2)
Свечение экрана одним из основных цветов (иногда с последующим срабатыванием защиты)	AS9, AS10, AS11 (М2-4) соответствующего канала
Нет одного из основных цветов	AS9, AS10, AS11 (М2-4) соответствующего цвета
Нет зеленого цвета. Видна строчная структура раstra	AS7 (М2-5)
Неправильное воспроизведение цвета	AS5 (УМ2-1)
Нет раstra, не срабатывает защита	AS1 (М3-1)
Не светится экран либо его свечение едва заметно.	AS5 (УМ2-1)
Нет цвета, есть звук	
Нет раstra, не срабатывает защита	AR1 (М3-1)
Негативное изображение	AS8 (УМ2-3)

Примечания: 1. Условные обозначения блока: AS1 — УПЧ-изображения, AS2 — УПЧ-звук, AS3 — УЗЧ, AS5 — обработки сигналов цветности; AS6 — детектора сигнала цветности; AS7 — линии задержки; AS8 — канала яркости и матрицы; AS9 (AS10, AS11) — видеоусилителя яркости; AR1 — синхронизации; AR2 — кадровой развертки; AR3 — коррекции. 2. Условные обозначения модуля: М (УМ) — модуль; 1 — радиоканал, канал звука; 2 — канал цветности; 3 — канал синхронизации и развертки; следующая цифра — после дефиса — порядковый номер модуля.

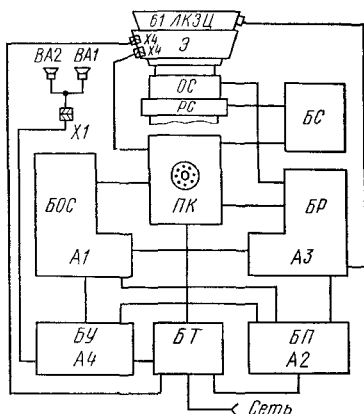


Рис. 29. Функциональная схема цветного телевизора:

БРС — блок обработки сигналов, БУ — блок управления, Э — кинескоп, ОС — отклоняющая система, РС — регулятор сведения, ПК — плата кинескопа, БС — блок сведения, БР — блок разверток, БП — блок питания, БТ — блок трансформатора, Х1, Х4 — разъемы, ВА1, ВА2 — громкоговорители

Проверка интегральной микросхемы сводится к измерению постоянных и импульсных напряжений на ее выводах и к исправности подсоединенных к ней элементов схемы.

При проверке постоянных и импульсных напряжений на выводах микросхемы необходимо помнить, что отсчет выводов ведется от имеющейся маркировки (точка на корпусе) против часовой стрелки. На печатной плате модуля начало отсчета маркировано цифрой 1 и ведется по часовой стрелке. Не допускается проверять микросхемы омметром.

Характерные признаки неисправностей в работе телевизора цветного изображения приведены в табл. 11, а блоки и модули, в которых эти неисправности могут быть обнаружены, — на рис. 29.

### Контрольные вопросы

1. Каковы задачи регулировочных работ?
2. Какие требования предъявляют к рабочему месту регулировщика?
3. Как технологический процесс регулировки зависит от типа производства РЭА?
4. Какая техническая документация необходима для регулировочных работ? Что в ней указывается?
5. Какова последовательность проведения регулировочных работ?

## Глава VI. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

### § 26. Значение и особенности радиотехнических измерений

В процессе разработки, производства и эксплуатации РЭА возникает необходимость измерения и контроля качественных показателей аппаратуры и ее составных частей.

Измерением какой-либо величины называется сравнение ее с другими величинами, принятыми за единицу измерения (меры). Измеряемая величина сравнивается с единицей измерения измерительными приборами.

Методы измерения разделяются на электротехнические и радиотехнические. В электрических цепях измерение тока и напряжения производят на низкой промышленной частоте синусоидальной формы (50—60 и 400 Гц). Под радиотехническими измерениями по-

нимают измерения токов, напряжений, мощности в цепях РЭА, а также частоты, фазы, напряженности поля, формы сигнала и др.

Одно из основных требований к процессу измерений заключается в том, чтобы приборы не влияли на параметры измеряемой цепи. Такое влияние обусловлено тем, что любой измерительный прибор кроме омического (активного) сопротивления обладает реактивным сопротивлением, так как имеет индуктивность и емкость. С ростом частоты, на которой производят измерения, это влияние растет. Кроме того, измерительный прибор всегда потребляет часть энергии измеряемой цепи. Особенно это ощутимо при измерении малых токов, напряжений и мощностей.

## § 27. Единицы и оценка погрешностей измерений

Измеряемую величину характеризуют основные единицы измерения, например единица тока — ампер (А), напряжения — вольт (В), емкости — фарада (Ф) и т. д. Кратными основным единицам являются единицы, характеризующие большую или меньшую измеряемую величину. Например, миллиампер (мА) является тысячной долей ампера, микровольт (мкВ) — миллионной долей вольта и т. д.

Важнейшей характеристикой любого метода измерения является погрешность, зависящая от метода и применяемого при измерении прибора. Измерения оценивают абсолютной и относительной погрешностью, которая зависит от погрешности и чувствительности прибора.

Абсолютная погрешность измерения  $\Delta x$  оценивается разностью между показанием прибора и действительным значением измеряемой им величины:

$$\Delta x = X_{\text{изм}} - X,$$

где  $X_{\text{изм}}$  — показание прибора,  $X$  — истинное значение величины.

Абсолютная погрешность может вызываться субъективными причинами, в том числе невнимательностью наблюдателя, недостаточным опытом его работы с измерительными приборами, и объективными причинами, к которым относятся влияние посторонних электромагнитных полей, изменения температуры окружающей среды и т. д.

В зависимости от методов измерения и их осуществления абсолютная погрешность может быть систематической, случайной и промахом.

Систематические погрешности — это погрешности, величина которых при повторных измерениях остается постоянной. Они возникают из-за неисправности измерительной аппаратуры, неправильной градуировки шкал, несовершенства методов измерений и т. д. Величину систематической погрешности в показаниях прибора надо учитывать при проведении расчетов. Для устранения погрешности производят юстировку прибора, заключающуюся в правильном

расположении прибора и регулировании его взаимно перемещающихся элементов (стрелки относительно начала шкалы).

Случайная погрешность может быть вызвана целым рядом причин, закономерность повторения которых при каждом данном измерении неизвестна. Выявить случайную погрешность возможно только при повторных измерениях одной и той же величины при тех же условиях. Это могут быть округления при считывании показаний, неточность, вызванная несовершенством метода измерения и др.

К относительным погрешностям относятся номинальная и приведенная.

Номинальная относительная погрешность  $\delta_n$  (%) определяется отношением абсолютной погрешности измерения  $\Delta x$  к истинному значению измеряемой величины  $X$ :

$$\delta_n = 100 (\Delta x / X_{\text{пр}}) = 100 (X_{\text{изм}} - X) / X_{\text{пр}}.$$

Приведенная относительная погрешность  $\delta_{\text{пр}}$  (%) определяется отношением абсолютной погрешности  $\Delta x$  к наиболее возможному значению измеряемой величины для данного прибора  $X_{\text{пр}}$  (верхний предел измерения):

$$\delta_{\text{пр}} = 100 (\Delta X / X_{\text{пр}}) = 100 (X_{\text{изм}} - X) / X_{\text{пр}}.$$

## § 28. Измерительные приборы и их классификация

По роли и назначению меры и измерительные приборы делят на эталоны, образцовые (ограниченной точности) и рабочие.

Эталоны — это меры и измерительные приборы, предназначенные для воспроизведения и хранения единиц измерений с наивысшей метрологической точностью, т. е. с наибольшей достижимой при данном состоянии измерительной техники точностью. В зависимости от назначения эталоны делят на первичные и копии (вторичные и т. д.). Первичные эталоны являются государственными эталонами СССР и хранятся в особых условиях в Центральном метрологическом институте Госстандарта.

Поскольку пользоваться первичными эталонами очень трудно из-за особых условий хранения, применяют копии. Они выполнены также с метрологической точностью и используются для сличения с ними в специальных лабораторных условиях менее точных образцовых мер и измерительных приборов.

В целях сохранения единства мер и измерительных приборов эталоны всех разрядов изготавливаются только метрологическими учреждениями, комплектуются соответствующими свидетельствами и используются по особым инструкциям, в которых указываются ТУ применения, хранения и сроки проверки каждого эталона с высшим разрядом. Учет и наблюдение за эталонами ведет Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева Госстандарта.



Образцовые меры и измерительные приборы — меры и приборы относительно высокой точности (но меньшей, чем метрологическая), предназначенные для практических работ по проверке и градуировке рабочих мер и измерительных приборов.

Рабочими мерами и измерительными приборами являются все меры и измерительные приборы (кроме образцовых), используемые для практических целей измерений. Измерительные приборы бывают лабораторного типа и техническими. Как правило, учебные кабинеты профтехучилищ оснащены техническими мерами и измерительными приборами.

В зависимости от характера и целей измерения требуется различная точность результата. Чтобы заранее была известна возможная погрешность измерения на циферблатах приборов указывают класс точности прибора. Согласно ГОСТ 16263—70, измерительные приборы по степени точности подразделяются на восемь классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 4,0. Число, обозначающее класс, равно наибольшему допустимому значению основной приведенной погрешности. Например, класс точности прибора 0,5 значит, что прибором можно измерять величины с точностью  $\pm 0,5\%$ .

Измерительные приборы непосредственного действия бывают показывающие, самопишущие (регистрирующие) и интегрирующие.

Показывающие приборы непосредственно отсчитывают значение измеряемой величины по индикатору или шкале. К этим приборам относят вольтметры, амперметры, ваттметры и другие стрелочные и цифровые приборы.

Самопишущие приборы записывают последовательные значения измеряемой величины по времени на бумаге, фото- или магнитной пленке. К этой группе приборов относят шлейфовые осциллографы, самопишущие амперметры и другие регистрирующие приборы.

Интегрирующие приборы дают возможность получить суммарное (интегральное) значение измеряемой величины за время действия прибора. К ним относят, например, счетчики энергии и мощности постоянного и переменного токов.

Для расширения пределов измерения электрических единиц выпускают большое количество вспомогательных измерительных приспособлений, например добавочные сопротивления к вольтметрам, наружные шунты к амперметрам, пробники.

Электро- и радиоизмерительные приборы общего применения, выпускаемые отечественной промышленностью, в зависимости от назначения разделены на группы, которые обозначаются буквами русского алфавита. Каждая группа состоит из нескольких подгрупп, обозначаемых цифрами по порядку. В подгруппе модели прибора в зависимости от совокупности технических характеристик и очередности разработки разделяются на типы, обозначаемые порядковыми номерами.

Классификация по роду измеряемой величины основных приборов, используемых при проведении работ по регулировке и настройке РЭА, приведена в табл. 12.

Таблица 12. Классификация основных приборов по роду измеряемой величины

Группа	Наименование и назначение прибора
А	Амперметр для измерения тока
В	Прибор для измерения напряжения
М	Приборы для измерения мощности
Е	Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными (емкости, индуктивности, сопротивления и т. д.)
Г	Измерительные генераторы: Г2 — шумовых сигналов, Г3 — синусоидальных сигналов (низкочастотные), Г4 — стандартных сигналов (высокочастотные), Г5 — импульсов, Г6 — сигналов специальной формы
И	Приборы для импульсных измерений: И2 — измерители временных интервалов, И3 — счетчики импульсов, И4 — анализаторы импульсов, И5 — линии задержки
Л	Приборы для измерения параметров электровакуумных и полупроводниковых приборов: Л1 — измерители параметров ламп, Л2 — измерители параметров полупроводниковых приборов
С	Приборы для наблюдения и исследования формы сигналов и спектра: С1 — осциллографы, С2 — измерители коэффициента модуляции, С4 — анализаторы спектра, С6 — измерители коэффициента нелинейных искажений и др.
Ч	Приборы для измерения частоты и времени: Ч1 — эталоны частоты, Ч2 — резонансные частотомеры, Ч3 — электронно-счетные частотомеры, Ч4 — гетеродинные частотомеры, Ч5 — кварцевые калибраторы
Х	Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств: Х1 — амплитудно-частотных, Х2 — переходных, Х3 — фазовых, Х4 — амплитудных, Х5 — измерители коэффициента шума

В практике радиоизмерений находят широкое применение комбинированные приборы, предназначенные для измерения нескольких величин. Такие приборы обозначаются в соответствии с их основным назначением с добавлением к обозначению группы буквы К. Например: ВК7-3 — комбинированный прибор для измерения постоянного и переменного напряжений, сопротивления, емкости и индуктивности.

Модернизированные приборы сохраняют первоначальный шифр с добавлением после номера модели прописной буквы русского алфавита: А — первая модернизация, Б — вторая и т. д. Приборы, предназначенные для работы в условиях тропического климата, обозначаются с добавлением буквы Т (например, вольтметр постоянного тока В2-22Т). У приборов, имеющих одинаковые технические характеристики, но отличающихся конструктивным исполнением, после номера модели через дробь ставят циф-

ру, обозначающую порядковый номер конструктивной модификации.

На современных промышленных предприятиях доля измерительных работ в процессах регулировки, настройки и испытаний радиотехнических измерений составляет почти половину всех трудовых затрат, а общее число измерительных приборов достигает сотен и тысяч.

Увеличивающиеся объемы и скорости измерений осложняют процесс обработки и хранения их результатов.

Все это ведет к переходу от автономных (отдельных) измерительных приборов к автоматизированным комплексам и системам.

В последние годы в сложных измерительных комплексах находят применение миниатюрные средства вычислительной техники (микро-ЭВМ) и вычислительные микроблоки (микропроцессоры). Применение микро-ЭВМ и микропроцессоров позволяет обеспечить повышение точности, чувствительности и быстродействия приборов, а также осуществить автоматизацию настроечно-контрольных операций, что приводит к значительному экономическому эффекту за счет сокращения численности обслуживающего персонала, упрощения и улучшения качества управления технологическими процессами, увеличения точности измерений и уменьшения числа отдельных приборов.

## **§ 29. Измерение напряжений и токов в цепях РЭА**

Измерение напряжений и токов в цепях РЭА является одной из основных операций регулировки и настройки узлов и блоков в процессе производства и ремонта, а контроль работоспособности аппаратуры — в процессе эксплуатации.

В цепях РЭА могут измеряться постоянные, а также переменные напряжения, которые характеризуются пиковым, средним, средневыпрямленным и среднеквадратичным значениями.

Согласно ГОСТ 15094—69, приборы для измерения напряжения классифицируются на подгруппы: В1 — установки или приборы для проверки вольтметров, В2 — вольтметры постоянного тока, В3 — вольтметры переменного тока, В4 — вольтметры импульсного тока, В6 — селективные вольтметры, В7 — универсальные вольтметры, В8 — измерители отношения напряжения, В9 — преобразователи напряжения.

Пределы измеряемых электронными вольтметрами напряжений переменного и постоянного тока показаны на рис. 30.

Вольтметры подгрупп В2, В3, В4, В6 и В7 по способу индикации, принципу действия и точности делятся на аналоговые и цифровые.

Для аналоговых вольтметров характерна единая конструктивная база, обеспечивающая удобство эксплуатации. Отсчетным устройством обычно является стрелочный прибор.

Цифровые вольтметры являются наиболее точными приборами, обеспечивающими цифровую индикацию измерений величины и вы-

дачу результатов измерений в цифровой форме. Эти приборы обладают большой скоростью измерения, применяются в системах автоматического контроля радиоэлектронного оборудования и при автоматизации технологических процессов.

Благодаря широкому применению микросхем и полупроводниковых приборов уменьшены масса и габариты, потребляемая мощность, увеличена надежность аппаратуры, существенно расширены функциональные возможности и диапазон частот.

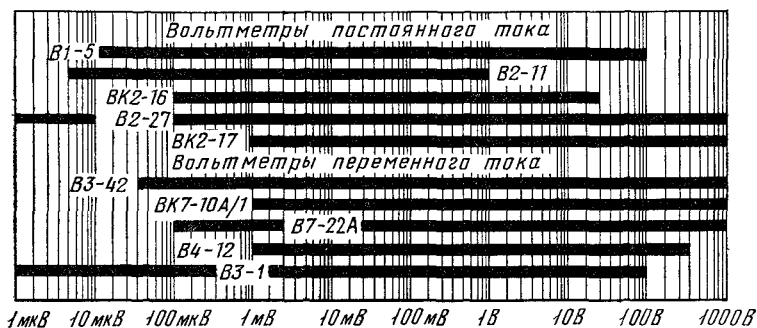


Рис. 30. Типы электронных вольтметров и пределы измеряемых ими напряжений

Малогабаритный многофункциональный вольтметр В7-22А предназначен для измерения постоянного (от 100 мкВ до 1000 В) и переменного (от 100 мкВ до 300 В) напряжений, постоянного и переменного токов (от 0,1 мкА до 2 А) и сопротивления постоянному току (от 1,0 Ом до 2000 кОм). Схема цифрового вольтметра выполнена на микросхемах и полупроводниковых приборах и позволяет производить измерения величин в диапазоне частот от 45 Гц до 10 кГц. Прибор для удобства имеет несколько поддиапазонов измерений, обладает высокой точностью измерений и надежностью. Малые габариты (215×65×177 мм) и масса (1,9 кг) позволяют использовать его в лабораторных и производственных условиях, а также в системе автоматического контроля параметров РЭА.

Для измерения постоянного и переменного напряжений и токов в цепях РЭА удобно пользоваться переносными универсальными приборами — тестерами, с помощью которых можно в широких пределах измерять постоянные и переменные напряжения, а также постоянный ток и активные сопротивления в различных электрических цепях.

К приборам такого типа относятся милливольтметр В7-26 и прибор — тестер Ц4312. Сервисный аналоговый милливольтметр В7-26 имеет стрелочную индикацию. Прибор позволяет измерять напряжение постоянного (от 30 мВ до 300 В) и переменного (от 200 мВ до 300 В) токов в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц с погрешностью измерений 2,5% и сопротивления от 10 Ом до

1000 МОм. Прибор применяют в лабораторных и производственных условиях при профилактике, ремонте и наладке различной радио-приемной и телевизионной аппаратуры.

Измерение напряжений высокой частоты связано с определенными трудностями, основными из которых являются влияние распределенных емкостей и индуктивностей, а также геометрических размеров прибора, потери в диэлектрике, обусловленные поверхностным эффектом и др.

На частотах выше 1 МГц необходимо устранять влияние соединительных проводов. Для этого измерительный прибор подключают к измеряемой цепи РЭА через выносной блок (головку, пробник), в который заключена детектирующая цепь прибора.

Для измерения напряжений на более высоких частотах (до сотен мегагерц) необходимо экранировать детектор, соединительные провода (высокочастотный тракт) и остальные узлы вольтметров во избежание потерь на излучение и наводок. Измерение напряжений высокой частоты производят электронными вольтметрами (рис. 31), которые содержат выпрямитель 1, усилитель постоянного тока 2 и стрелочный индикатор 3. Выпрямитель выполняют на кристаллическом диоде в виде выносного устройства (детекторная головка). Вы-

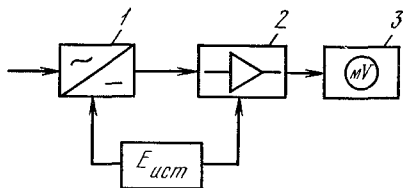


Рис. 31. Функциональная схема электронного вольтметра

прямленный ток усиливается усилителем и вызывает отклонение стрелки индикатора, шкалу которого градуируют в эффективных (действующих) величинах измеряемого переменного напряжения.

Измерения детекторными вольтметрами производят в широком диапазоне частот. В диапазоне СВЧ используют специальные кремниевые диоды. Например, милливольтметр ВЗ-36 с диодным входом предназначен для измерения высокочастотных напряжений синусоидальной формы в лабораторных, производственных и жестких условиях эксплуатации. Шкала прибора проградуирована в эффективных значениях синусоидального напряжения и децибелах. Милливольтметр позволяет измерять напряжения от 3 мВ до 300 В в диапазоне частот от 10 кГц до 1 ГГц.

В настоящее время нашли применение цифровые вольтметры, характеризующиеся высокой точностью измерений с отображением результатов с помощью печатающих и индикаторных устройств. Цифровые вольтметры обладают большими достоинствами по сравнению со стрелочными (высокая точность измерения, быстродействие, работа в автоматизированных измерительных установках и др.).

Например, образцовый цифровой вольтметр ВЗ-49 обеспечивает точное измерение среднеквадратичного значения напряжения переменного тока синусоидальной формы. Его используют в качес-

ве широкополосного образцового вольтметра для калибровки и градуировки электронных вольтметров переменного тока и др. Вольтметр позволяет измерять напряжения от 10 мВ до 100 В в диапазоне частот от 20 Гц до 1 ГГц с цифровым отсчетом.

При измерении тока высокой частоты следует учитывать степень согласования волнового сопротивления передающей линии с сопротивлением нагрузки, возможность утечки тока через паразитные емкости и явление резонанса. Существенное влияние имеет неравномерность распределения тока в отдельных элементах цепи, вызванная возникновением стоячих волн при неполном согласовании этой цепи. Вследствие этого показания прибора будут зависеть от места его включения в цепи.

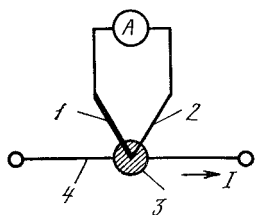


Рис. 32. Принцип действия термоэлектрического амперметра

Для измерения тока в метровом и дециметровом диапазонах волн в основном используют термо- и магнитоэлектрические амперметры с преобразователями. На более коротких волнах (сантиметровых и миллиметровых)

измерение тока в цепи становится практически невозможным, поэтому приходится пользоваться косвенными методами измерения — сравнением мощностей, напряженности поля и др.

Рассмотрим термоэлектрический способ измерения тока высокой частоты.

Принцип действия термоэлектрического амперметра (рис. 32) основан на превращении тока высокой частоты в постоянный ток, возникающий при нагревании контакта между двумя разнородными проводниками. Известно, что в точке 3 соприкосновения двух разнородных металлов 1 и 2 возникает контактная разность потенциалов, т. е. электродвижущая сила (эдс). Если точку 3 подогревать проходящим по проводу 4 током высокой частоты, эдс будет увеличиваться и стрелка прибора А отклонится тем больше, чем больше измеряемый ток. На этом принципе основано действие термоэлектрических амперметров.

Термоэлектрические амперметры пригодны для измерения больших и малых токов в широком диапазоне частот (от звуковых до 3000 МГц). Такие приборы получили широкое распространение и являются основным типом измерителей токов высокой частоты, используемых в настоящее время. Достоинствами приборов являются высокая чувствительность, простота конструкции, широкий диапазон измерений тока (от миллиампер до десятков ампер), надежность в работе и компактность конструкции, допускающей включение в высокочастотную цепь.

### § 30. Приборы и методы измерений параметров цепей РЭА с сосредоточенными постоянными

К этой группе относятся приборы для измерения сопротивления, емкости, индуктивности, добротности и других величин, характеризующих цепи РЭА.

Измерителями параметров цепей с сосредоточенными постоянными являются приборы, с помощью которых определяется отношение напряжения на измеряемом двухполюснике к току, проходящему через него.

Измерители параметров цепей с сосредоточенными постоянными составляют обширную подгруппу приборов, которым в соответствии с ГОСТ 15094—69 присвоен индекс Е. Классификация приборов внутри подгруппы произведена по целевому назначению прибора — основному параметру электрического двухполюсника, подлежащему измерению.

В соответствии с этим признаком различаются следующие виды измерителей: сопротивления (Е6), емкости (Е8), индуктивности (Е3), добротности (Е4),  $L$ ,  $C$ ,  $R$  или универсальные приборы (Е7). Рассмотрим методы измерения этих величин и применяемые приборы.

**Методы измерения сопротивления.** Для измерения электрического сопротивления цепи наибольшее распространение получили следующие методы: непосредственного отсчета, мостовой и косвенных измерений.

Метод непосредственного отсчета характеризуется простотой процесса отсчета и широкими пределами измерений. Измеряемую цепь или резистор подключают к зажимам прибора, шкала которого проградуирована в соответствующих единицах измерения. Отсчет производят непосредственно по шкале прибора. Приборы, позволяющие измерять сопротивления, не превышающие 100 кОм, называют омметрами, а выше 1 МОм — мегаомметрами. Погрешность при измерении на рабочем участке шкалы 4—10%. Из-за неравномерности шкалы на начальном и конечном участках погрешность возрастает. Омметры часто входят в состав комбинированных измерительных приборов (радиотестеров) и, как правило, имеют много пределов измерения сопротивления, емкости, индуктивности и напряжения.

Мостовые методы позволяют осуществлять наиболее точные измерения сопротивлений. Принципиальная схема измерительного моста показана на рис. 33. В ее состав входят три известных сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  и измеряемое сопротивление  $R_x$ . В одну из диагоналей моста подается постоянное напряжение  $U$ , а в другую включается измерительный прибор (микроамперметр).

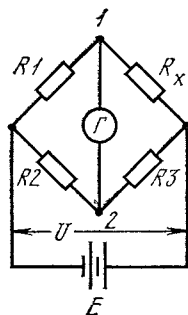


Рис. 33. Мостовая схема для измерения сопротивлений

Таблица 13. Основные характеристики приборов для измерения сопротивлений

Обозначение прибора	Диапазон измерений *	Основная погрешность, %
Е6-4	3 Ом — 200 МОм	$\pm 2,5$
Е6-5	1 Ом — 9,999 МОм	$\pm 1,0$
Е6-10	100 Ом — 1000 МОм	$\pm 4,0$
Е6-13А	10 Ом — $10^{14}$ Ом	$\pm 2,5$
Е6-15	0,0001 Ом — 100 Ом	$\pm 1,5$
Е6-16	2 Ом — 200 МОм	$\pm 1,5$
Е6-17	10 Ом — $10^4$ МОм	$\pm 2,5$

Изменяя значения сопротивлений резисторов  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$ , можно добиться баланса моста (ток в измерительном приборе отсутствует). Баланс моста наступает, когда  $R1R3 = R2R_x$ , откуда  $R_x = R1R3/R2$ .

Промышленность выпускает комбинированные приборы с непосредственной индикацией измеряемых величин. Основные характеристики некоторых приборов для измерения сопротивлений приведены в табл. 13.

Выпускается также большая номенклатура универсальных приборов, позволяющих измерять кроме сопротивления емкость, величину затухания, тангенс угла диэлектрических потерь и др. Например, прибор Е7-8 позволяет производить измерения сопротивлений (0,001 Ом—10 МОм), емкости (0,01 пФ—100 мкФ), индуктивности (0,1 мкГн—1000 Гн) и других величин. Принцип работы прибора основан на мостовом методе. Отсчет измеряемой величины — цифровой.

Метод косвенных измерений основан на измерении сопротивлений постоянному току с помощью вольтметра. Схема измерений изображена на рис. 34. Поставив переключатель  $\Pi$  в положение 1, вольтметром измеряют напряжение  $U$ . Переведя переключатель в положение 2, последовательно с вольтметром включают резистор  $R_x$ . Показание вольтметра при этом уменьшится и будет  $U'$ . Зная показания  $U$  и  $U'$ , можно искомое сопротивление определить по формуле

$$R_x = R_v (U - U')/U',$$

где  $R_v$  — собственное сопротивление вольтметра.

Этот метод удобен для измерения больших сопротивлений и часто применяется в производственных условиях.

**Методы измерения емкости.** Существуют различные методы измерения емкости: непосредственного отсчета, мостовой, резонансный и компенсационный. Наибольшее распространение получили методы непосредственного отсчета и компенсационный.

Прибор Е8-2 с цифровой индикацией предназначен для измерения емкости конденсаторов в пределах 0,001 пФ — 11,1 мкФ с погрешностью измерения 0,25% и тангенса угла диэлектрических потерь конденсатора.

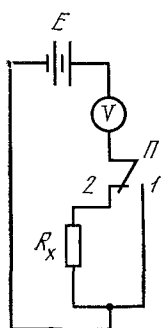


Рис. 34. Схема измерения сопротивлений с помощью вольтметра



Компенсационный метод отсчета рассмотрим на примере резонансного измерения емкости в сочетании с методом замещения. Измеряемую емкость  $C_x$  подключают к схеме (рис. 35), чтобы получить контур  $L_0 C_x$ . Изменением частоты генератора  $\Gamma$  добиваются равенства его частоты резонансной частоте контура. Момент резонанса отмечают по максимальному показанию вольтметра. Затем вместо измеряемой емкости подсоединяют эталонный конденсатор с емкостью  $C_0$ . Не меняя частоты генератора, настраивают в резонанс контур  $L_0 C_0$ , изменяя емкость  $C_0$ . Так как резонансные частоты равны, емкости конденсаторов  $C_x$  и  $C_0$  будут также равны. Если конденсатор  $C_0$  имеет градуированную шкалу, емкость  $C_x$  определяют непосредственно по шкале прибора.

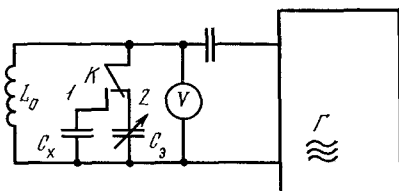


Рис. 35. Схема измерения емкости компенсационным методом в сочетании с методом замещения

**Методы измерения индуктивности.** Индуктивность измеряют приборами с непосредственным отсчетом и компенсационными методами. Приборы ЕЗ-2 и ЕЗ-3 с непосредственным отсчетом позволяют измерять индуктивности дросселей, трансформаторов и катушек с ферромагнитными сердечниками, работающими с подмагничиванием и без него, сопротивления активных потерь катушек с добротностью до 100.

Компенсационным методом можно измерять индуктивность с точностью 1—3%. Частота, на которой производят измерение, обычно равна 1000 Гц. Этим методом чаще всего измеряют индуктивность катушек, работающих на звуковых частотах.

**Методы измерения взаимной индуктивности.** Если две катушки индуктивности  $L_1$  и  $L_2$  поместить рядом, между ними возникает взаимная индуктивность,  $M$ :

$$M = K \sqrt{L_1 L_2},$$

где  $K$  — коэффициент связи, меньший единицы.

Взаимную индуктивность катушек можно измерять методом метра — амперметра (рис. 36) следующим образом. В цепь одной из катушек  $L_1$  включают миллиамперметр  $mA$ , а в цепь другой катушки  $L_2$  — вольтметр  $V$ . Подавая от сигнал-генератора  $\Gamma$  напряжение частоты  $f_r$ , замеряют показания приборов  $mA$  и  $V$ . Взаимная индуктивность  $M$  определяется по формуле

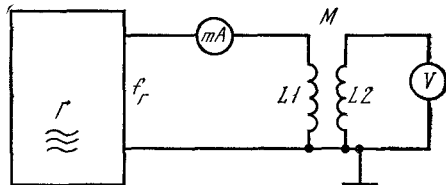


Рис. 36. Схема измерения взаимной индуктивности методом вольтметра — амперметра

$$M = U/6,28 f_r I,$$

где  $U$  — напряжение, В,  $I$  — ток, мА,  $f_r$  — частота, кГц.

Чтобы уменьшить погрешность измерения, необходимо учитывать, что собственная частота катушки  $L_1$  должна быть во много раз больше частоты сигнал-генератора. Более точные данные измерения взаимной индуктивности можно получить мостовыми методами.

**Методы измерения добротности.** Для измерения добротности катушек индуктивности промышленность выпускает специальные приборы — куметры Е4-11 и др. Эти приборы также предназначены для измерения собственной емкости катушек индуктивности.

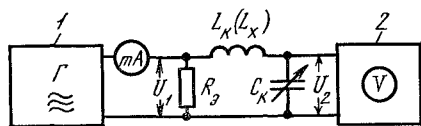


Рис. 37. Схема куметра

Куметр состоит из высокочастотного генератора 1 (рис. 37), высокочастотного контура  $L_K C_K$ , вольтметра 2 для измерения напряжения на контуре и миллиамперметра  $mA$  для измерения тока в цепи питания контура. Измерение добротности основано на том, что напряжение  $U_2$  на конденсаторе контура  $L_K C_K$  при резонансе в  $Q$  раз превосходит напряжение  $U_1$ , подведенное к контуру.

Катушку индуктивности  $L_x$ , добротность которой необходимо измерить, включают в контур  $L_K C_K$  (вместо индуктивности  $L_K$ ). Конденсатором  $C_K$  контур  $L_K C_K$  настраивается в резонанс с частотой генератора. Абсолютная величина добротности  $Q = IU_2/U_1 I$ . Для измерений индуктивности и добротности может быть также использован универсальный прибор Е7-4.

**Основные технические характеристики прибора.** Диапазон измеряемых величин: сопротивлений — от 0,1 до  $10^4$  Ом на постоянном токе и от 0,1 до  $10^7$  Ом на переменном с максимальной погрешностью  $\pm 2\%$ , емкостей — от 1 пФ до 100 мкФ с максимальной погрешностью  $\pm 2\%$ , индуктивностей — от 1 мкГн до 10 Гн с максимальной погрешностью 2%, добротности катушек индуктивности — от 1 до 100, тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторов — от 0,005 до 0,1. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока 220 В  $\pm 10\%$  с частотой 50 Гц. Потребляемая мощность — не более 25 Вт.

## § 31. Особенности радиоизмерения в диапазоне СВЧ

Область сверхвысоких частот (СВЧ) охватывает диапазон частот от 3000 до 30 000 МГц. На более низких частотах электрические цепи с сосредоточенными постоянными образуются соединением катушек индуктивности, конденсаторов, резисторов, микросхем, транзисторов или ламп. Размеры этих элементов малы по сравнению с длиной рабочей волны.

В диапазоне СВЧ вместо цепей с сосредоточенными постоянными в качестве колебательных контуров применяют отрезки концентрических линий и объемные резонаторы. Для усиления колебаний служат клистронные и магнетронные генераторы, лампы бегущей и обратной волн, параметрические и квантовые усилители. Преобразователями частоты являются кристаллические балансные смесители и ферритовые умножители частоты. В качестве антенн применяют остронаправленные излучатели: фазированные решетки, параболические рефлекторы, рупорные и специальные многовибраторные антенны.

Для передачи СВЧ-энергии применяют коаксиальные кабели, волноводы и полосковые линии. Типы линий передачи энергии, рабочий диапазон и краткая характеристика приведены в табл. 14. Для различных узлов и блоков СВЧ-аппаратуры используют специальные приборы: измерительные линии, измерители коэффициента стоячей волны и комплексных коэффициентов передачи, измерители добротности и параметров линий передачи.

Таблица 14. Линии передачи энергии и их характеристики

Тип линии	Рабочий диапазон	Краткая характеристика
<i>Закрытые линии передачи</i>		
Коаксиальные кабели (со сплошной и полувоздушной изоляцией)	Метровый, дециметровый	Широкополосны, характеризуются малыми потерями и высокой помехозащищенностью, имеют гибкую конструкцию
Объемные волноводы	Дециметровый, сантиметровой, миллиметровый	Характеризуются малыми потерями, высокими пробивной мощностью и помехозащищенностью, относительно широкополосны, имеют жесткую конструкцию
<i>Открытые линии передачи</i>		
Полосковые (симметричные и несимметричные)	Метровый, дециметровый, сантиметровой	Просты в изготовлении, малогабаритны, широкополосны, характеризуются значительными потерями в сантиметровом диапазоне и малой пропускаемой мощностью
Диэлектрические и металлодиэлектрические волноводы	Сантиметровый, миллиметровый	Характеризуются простотой и экономичностью конструкций, широкополосностью, сравнительно высокими потерями, требуют электрической экранировки

Измерительной линией называется устройство для определения распределения электрического поля вдоль передающей линии. Их используют для измерения параметров СВЧ-тракта: коэффициента стоячей волны, полного сопротивления, длины волны, добротности и др.

В зависимости от диапазона частот измерительные линии бывают коаксиальными и волноводными и состоят из основной линии 1 и индикаторной головки 2 (рис. 38).

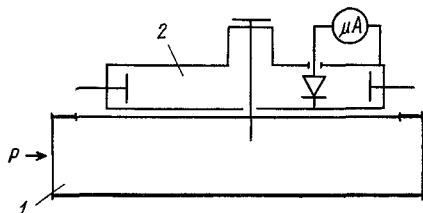


Рис. 38. Измерительная линия СВЧ:  
1 — линия, 2 — индикаторная головка

Схема включения волноводной измерительной линии для определения КСВ-тракта передачи СВЧ-энергии показана на рис. 39.

Основная линия представляет собой отрезок волновода с продольной щелью, длиной в несколько полуволн, вдоль которой передвигается индикаторная головка. Этот отрезок линии включается между индикатором и нагрузкой. Индикаторная головка состоит из резонатора, связанного с основной линией зондом. Электрическое поле основной линии с помощью зонда возбуждает в резонаторе электромагнитные колебания. Ток в цепи детектора будет пропорционален электрическому полю в точке нахождения зонда. Положение зонда по шкале расстояний

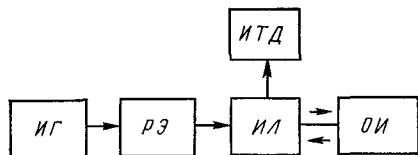


Рис. 39. Функциональная схема определения КСВ-тракта передачи СВЧ-энергии:

ИТД — измеритель тока детектора, ИГ — измерительный генератор, РЭ — развязывающий элемент, ИЛ — измерительная линия, ОИ — объект исследования

измерительной линии или соответствующее значение выпрямленного тока являются данными, необходимыми и достаточными для построения графика распределения напряженности поля в линии передачи.

Коэффициент стоячей волны определяется как отношение наибольшей амплитуды колебания напряженности электрического поля к наименьшей амплитуде и характеризует степень согласования СВЧ-тракта.

Выпускаемые промышленностью измерительные линии охватывают диапазон частот 0,5—37,5 ГГц и позволяют измерять коэффициент стоячей волны от 1,05 до 10 с погрешностью 4—10%. Коаксиальные измерительные линии Р1-3, Р1-17, Р1-18 и Р1-22 имеют волновое сопротивление 50 Ом и охватывают диапазон частот 0,5—12,4 ГГц, а волноводные Р1-4, Р1-12А, Р1-13А, Р1-33 — диапазон частот 4,8—78,33 ГГц.

Измерение КСВ, полных сопротивлений, добротности и других

параметров линий передачи можно осуществлять также с помощью специальных автоматических измерителей, состоящих из свип-генератора, рефлектометра и индикатора СВЧ. Прибор позволяет визуально наблюдать кривую изменения КСВ в заданном диапазоне частот.

Наряду со специальной измерительной аппаратурой и приборами в СВЧ измерительных схемах широкое применение находят различные преобразователи: аттенюаторы, направленные ответвители, фазовращатели, нагрузки, согласующие устройства.

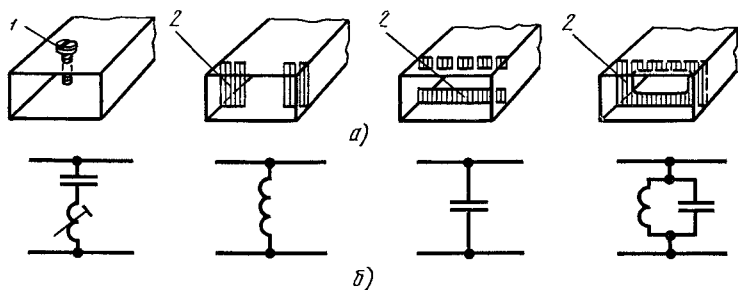


Рис. 40. Волноводные согласующие устройства (а) и их эквивалентные схемы (б)

Аттенюаторы (ослабители) предназначены для ослабления и регулировки уровня мощности в СВЧ-трактах. В зависимости от конструкции аттенюаторы бывают волноводные, коаксиальные и полосковые. Наибольшее распространение получили поглощающие аттенюаторы и ферритовые вентили.

На рис. 40, а показаны различные волноводные согласующие устройства, а на рис. 40, б — их эквивалентные схемы. Изменением положения реактивного штыря 1 (зонда) в волноводе, а также формы и размера диафрагмы 2 можно получить емкостную или индуктивную связь или соответствующий контур.

Измерение мощности в СВЧ-диапазоне не производят по току и напряжению из-за того, что этот метод не является точным. Наиболее распространенными являются косвенные методы измерения мощности с помощью приборов, основанных на измерении тепловой энергии, рассеиваемой сопротивлением нагрузки.

По назначению такие приборы можно разделить на ваттметры поглощающего типа и для измерения проходящей мощности. Ваттметры поглощающего типа (рис. 41, а) нашли наибольшее применение

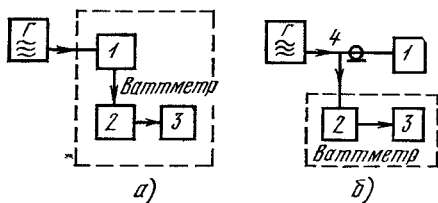


Рис. 41. Функциональные схемы ваттметров:

а — поглощающая, б — для измерения проходящей мощности

ние в тех случаях, когда измеряется мощность источников колебаний — генераторов. Ваттметр, являясь нагрузкой генератора  $G$ , измеряет поглощаемую им мощность. Энергия, поступающая от генератора, выделяется в нагрузочном резисторе  $1$ ; ее мощность измеряется специальным устройством, состоящим из преобразователя  $2$  одного вида энергии в другой и индикатора  $3$ , например калометрический метод.

Калометрический метод основан на преобразовании СВЧ-энергии, поглощаемой согласованной нагрузкой, в тепловую. Калометрический ваттметр состоит из поглощаемой нагрузки (обычно проточной воды) и измерителей температуры. Измеряемую мощность определяют по разности температуры на входе и выходе нагрузки (по показаниям специальных датчиков). Этот метод применяют для измерения большой и средней мощностей во всем диапазоне СВЧ.

Ваттметры для измерения проходящей мощности (например, прибор М2-32) применяют в линиях передачи, работающих на нагрузку. В этом случае ваттметр поглощает лишь небольшую часть мощности, проходящей по линии передачи и

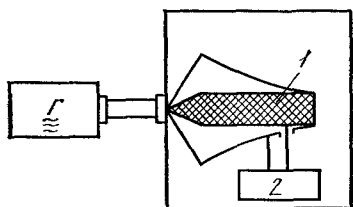


Рис. 42. Функциональная схема измерителя мощности

выделяемой в нагрузке. На рис. 41,б приведена функциональная схема ваттметра этого типа. Детектор  $2$  преобразует энергию СВЧ, передаваемую по коаксиальной линии  $4$  в нагрузку  $1$ , в энергию НЧ, измеряемую известными методами индикатором  $3$ .

На практике при наладке и эксплуатации радиотехнических средств в СВЧ приходится измерять мощность в очень широком интервале уровней (от  $10^{-18}$  до  $10^5$  Вт и более). Промышленность выпускает большое количество приборов для измерения мощности, в том числе ваттметры поглощающего типа: калориметрические МЗ-45, МЗ-48, МЗ-51 (измеряемая мощность, 0,001—6 кВт в диапазоне частот 1—37 500 МГц), МЗ-13/1 (измеряемая мощность 1—2000 Вт в диапазоне частот до 37,5 ГГц), термисторные и термоэлектрические (измеряемая мощность 500 мВт в диапазоне частот 0,03—78,3 ГГц) и др.

Как отмечалось выше, наиболее часто пользуются косвенным методом для измерения падения напряжения, создаваемого током СВЧ, на резисторе известного сопротивления. На этом принципе построен измеритель мощности МЗ-3 (рис. 42). Прибор состоит из поглощающего резистора  $1$ , представляющего собой чисто активную нагрузку с сопротивлением 75 Ом, и электронного вольтметра  $2$ , подключенного к части резистора. Шкала вольтметра проградуирована в единицах измерения мощности — ваттах. Пределы измерения при непрерывном сигнале от 0,25 до 15 Вт, при импульсной работе от 5 до 5000 Вт в импульсе. Диапазон частот 30—1000 МГц, погрешность измерения не более 20%.

Измерение основной физической величины — времени и ее производной — частоты, а также воспроизведение и хранение единиц их измерения лежат в основе большинства измерительных задач. Основой частотно-временной аппаратуры является группа стандартов частоты, включающая водородный, рубидиевый, цезиевый и кварцевый стандарты, которые хранят единицу времени — секунду и единицу частоты — герц.

Приборы для измерения частоты, называемые частотомерами, делятся на резонансные Ч2, электронно-счетные Ч3, гетеродинные Ч4, и др. Измерять частоту можно разными приборами и методами. Промышленность выпускает стрелочные частотомеры (ЧЗ-1, ЧЗ-7 и др.), которые позволяют отсчитывать частоту непосредственно по шкале используемого в нем стрелочного прибора в диапазоне от 10 Гц и до 500 кГц. Отклонение стрелки прибора зависит от усредненного значения тока заряда или разряда образцового конденсатора, перезаряжаемого напряжением измеряемой частоты. Поскольку ток в цепи прямолинейно зависит от напряжения, такие частотомеры имеют равномерную шкалу и обладают относительно большим входным сопротивлением.

Для измерения высоких частот и СВЧ используют методы сравнения измеряемой частоты с известной частотой собственных колебаний в резонансной системе. Рассмотрим эти методы.

Гетеродинный метод основан на сравнении исследуемых колебаний  $f_x$  с колебаниями градуированного высокочастотного генератора (гетеродина)  $f_{\text{гг}}$  с помощью смесителя. На рис. 43 показана функциональная схема гетеродинного частотомера (волномера), состоящего из гетеродина  $\Gamma$ , смесителя  $C$  и выходного прибора  $ВП$  (индикатора), в котором сравнение частоты колебаний производится методом биений.

Принцип измерения состоит в следующем. На блок смесителя подается колебание высокостабильной частоты  $f_{\text{гг}}$  от гетеродина и колебание частоты  $f_x$ . С выхода смесителя колебание разностной частоты биений  $f_{\text{зв}}$  подается на выходной прибор, отградуированный в соответствующих единицах измерений (частотах или длинах волн). Несмотря на простоту устройства, гетеродинные частотомеры позволяют измерять частоту в пределах 30—3000 МГц с высокой точностью.

В основу резонансного метода измерения частоты положено явление электрического резонанса. Волномеры состоят из высокочастотного контура, механизма настройки и индикатора. В зависимости от диапазона измеряемых частот колебательный контур частотомера может выполняться из высокочастотного

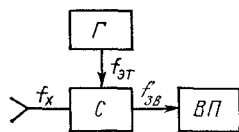


Рис. 43. Функциональная схема гетеродинного частотомера

контура  $LC$  с сосредоточенными постоянными, либо в виде отрезка коаксиальной линии, либо в виде объемного резонатора.

Функциональная схема резонансного частотомера показана на рис. 44. На измеряемую частоту настраивается в резонанс контур  $L_K C_K$ . Зная индуктивность  $L_K$  и емкость  $C_K$ , легко вычислить измеряемую частоту. Наличие резонанса в контуре  $L_K C_K$  регистрирует-

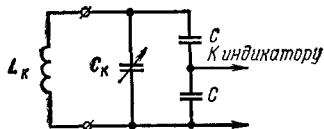


Рис. 44. Функциональная схема резонансного частотомера

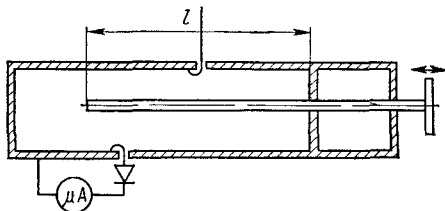


Рис. 45. Схема коаксиального резонансного частотомера

ся по максимальному показанию индикатора. Обычно резонансный частотомер имеет набор сменных катушек  $L_K$ , позволяющих перекрыть диапазон частот от нескольких сотен килогерц до нескольких десятков мегагерц.

Резонансные частотомеры сверхвысоких частот состоят из коаксиальных и объемных резонаторов. Отрезок коаксиальной линии, представляющей собой колебательный контур, связывается с источником колебаний (генератором) и детектором петлями связи (рис. 45). Настройка контура в резонанс осуществляется изменением длины  $l$  внутреннего проводника коаксиальной линии. Если на длине отрезка линии укладывается четверть волны измеряемого колебания, возникает резонанс. Момент настройки в резонанс отмечают по максимальному отклонению стрелки индикатора, включенного в цепь детектора. Измерение исследуемой длины волны состоит в нахождении двух соседних резонансов в линии и определении расстояния между ними; оно равно половине длины волны исследуемого колебания. Резонансные волнометры позволяют измерять длины волн от нескольких сантиметров до нескольких дециметров.

Отечественная промышленность выпускает большую номенклатуру частотомеров для измерения в диапазоне СВЧ: например, резонансные коаксиальные частотомеры на частоты от 40 до 10700 МГц (Ч2-2А и Ч2-37) и волноводные на частоты от 8 до 16,6 ГГц (Ч2-33 и Ч2-31). Типы частотомеров и измеряемый ими диапазон частот приведены на рис. 46.

Для осуществления автоматического измерения частоты в диапазоне до 10 ГГц предназначен резонансный волноводный панорамный частотомер Ч2-55, который позволяет осуществлять автоматическое измерение по индикатору прибора одновременно нескольких частот, излучаемых генераторами СВЧ. Он широко



применяется при проверке и ремонте генераторов в лабораторных и производственных условиях. Частотомер выполнен полностью на полупроводниковых приборах, погрешность измерений 0,5%, чувствительность  $5 \cdot 10^{-3}$  мВт. Габариты прибора  $480 \times 255 \times 480$  мм, масса 28 кг.

Для лабораторных измерений частоты применяют электронно-счетные частотомеры, выдающие результаты измерений в цифровой форме. Действие этих приборов основано на преобразовании измеряемого синусоидального напряжения в короткие прямоугольные импульсы, соответствующие измеряемой частоте. Эти импульсы регистрируются счетчиком.

Например, за 1 с счетчик регистрирует  $1 \cdot 10^6$  импульсов, значит, измеряемая частота будет равна 1 МГц. Такие частотомеры облегчают процесс измерения в широких пределах частот (от нескольких герц до сотен мегагерц), период следования и длительность импульсов. Они также могут быть использованы в качестве источников кварцованных частот, датчиков калиброванных интервалов времени и др.

Электронно-счетные частотомеры (универсальные ЧЗ-47А, ЧЗ-49 и упрощенные ЧЗ-44, ЧЗ-45, ЧЗ-46) осуществляют программируемое измерение частоты радиосигналов от долей герца до СВЧ-диапазонов с погрешностью  $\pm 5 \cdot 10^{-9}$  и интервалов времени от 1 до  $10^4$  мкс с погрешностью  $\pm 0,1$  мкс. Они выдают результаты измерений в коде, обеспечивающем математические вычисления, статистическую обработку и регистрацию их в цифровой и аналоговой формах.

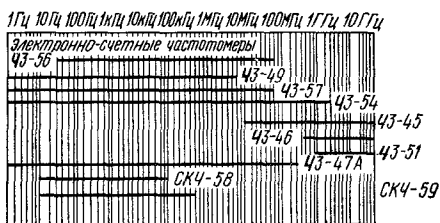


Рис. 46. Типы частотомеров и измеряемый ими диапазон частот

### § 33. Измерительные генераторы, используемые для регулировки РЭА

Для настройки и регулировки узлов и блоков РЭА широко используют измерительные генераторы — приборы, преобразующие энергию постоянного тока в энергию электрических колебаний известной величины, частоты и формы.

По диапазону генерируемой частоты измерительные генераторы делятся на низкочастотные, звуковые, высокочастотные и сверхвысокочастотные. Такое деление вызвано конструктивными особенностями колебательных цепей и усилительными элементами (полупроводниковыми приборами, интегральными микросхемами и др.).

По форме вырабатываемых колебаний такие приборы делятся на генераторы синусоидальных колебаний, импульсов, шумовых

сигналов и сигналов специальной формы. Генераторы синусоидальных колебаний, в свою очередь, делятся на генераторы сигналов и стандартных сигналов (ГСС), обладающих более высокими техническими характеристиками и возможностью получения очень малых калиброванных напряжений, свип-генераторы (или генераторы качающей частоты).

Измерительные генераторы выпускают с плавным изменением частоты (ручным или автоматическим способом) и фиксированным. Они должны соответствовать техническим требованиям в отношении диапазона генерируемых частот, точности установки и стабильности частоты, формы генерируемых колебаний, уровня выходного сигнала (по напряжению или мощности) и др.

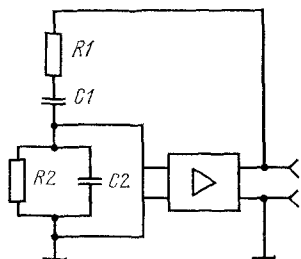


Рис. 47. Функциональная схема измерительного  $RC$ -генератора

**Низкочастотные генераторы.** Измерительные генераторы низких (звуковых) частот являются источниками испытательных сигналов при снятии амплитудных, частотных и модуляционных характеристик и определения нелинейности различных устройств радиовещания, звукозаписи, а также используются при измерении индуктивности, емкости, частоты, фазы и др. Верхний предел диапазона низкочастотных генераторов может быть гораздо шире звуковых частот, такие генераторы используются для настройки видеотракта (генератора видеочастот). По схемным решениям генераторы подразделяются на  $LC$  и  $RC$ .

В  $LC$ -генераторе частота определяется параметрами контура, т. е. индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$ . Такой генератор выполняется на фиксированные частоты для встраивания в другие приборы.

Наибольшее распространение получил  $RC$ -генератор, функциональная схема которого приведена на рис. 47. Частота в  $RC$ -генераторе определяется сопротивлением резистора и емкостью конденсатора, включенных в цепь положительной обратной связи

• Наибольшее распространение получил  $RC$ -генератор, функциональная схема которого приведена на рис. 47. Частота в  $RC$ -генераторе определяется сопротивлением резистора и емкостью конденсатора, включенных в цепь положительной обратной связи

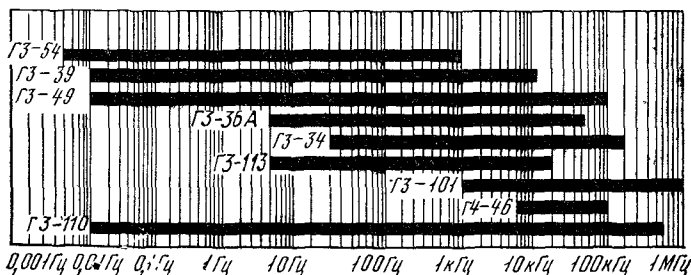


Рис. 48. Типы низкочастотных измерительных генераторов и генерируемые ими диапазоны частот

генератора с самовозбуждением. На рис. 48 приведены типы и диапазон низкочастотных измерительных генераторов, а в табл. 15 — их основные технические характеристики.

РС-генераторы ГЗ-102, ГЗ-107, ГЗ-113 относятся к прецизионным, обеспечивающим сигнал с малыми искажениями. Их используют для настройки и проверки ультралинейных усилителей, модуляторов и другой приемопередающей, радио- и телевизионной аппаратуры.

Таблица 15. Основные технические характеристики низкочастотных измерительных генераторов

Тип прибора	Диапазон частот	Погрешность установки частоты, %, Гц	Нестабильность	Выход, В	Масса, кг
ГЗ-34	20 Гц — 0,2 МГц	1,5%	$2 \cdot 10^{-3}$	8	30
ГЗ-36А	20 Гц — 40 кГц	$\pm 3\%$	$\pm 30 \cdot 10^{-4}$	5	5
ГЗ-102	20 Гц — 200 кГц	1,5%	$20 \cdot 10^{-4}$	7,7	9
ГЗ-106	20 Гц — 200 кГц	$\pm 3\%$	$2 \cdot 10^{-4}$	5	5
ГЗ-111	20 Гц — 2 МГц	$\pm 3,5\%$	—	5	5
ГЗ-112/1	10 Гц — 10 МГц	$\pm 3\%$	—	5	5
ГЗ-113	10 Гц — 99,9 кГц	0,5%	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$	10	13
X1-40	20 Гц — 1 МГц	$\pm 2 \cdot 10^{-4}$	$\pm 1,5$	2	35
X1-46	20 Гц — 200 кГц	$\pm 3 \cdot 10^{-4}$	—	7	19
X1-48) X1-49)	0,1—150 МГц	$\pm 3 \cdot 10^{-4}$	—	0,5	15

**Высокочастотные генераторы.** Такие приборы являются источником высокочастотных переменных напряжений с регулируемым в широких пределах частотой и выходным напряжением. Генераторы предназначены для измерений в различной РЭА и при настройке радиоприемных устройств разного назначения.

Согласно ГОСТ 15094—69, к измерительным генераторам сигналов Г4 относятся генераторы диапазонов радиочастот и СВЧ.

Для генераторов радиочастотного диапазона характерны ста-

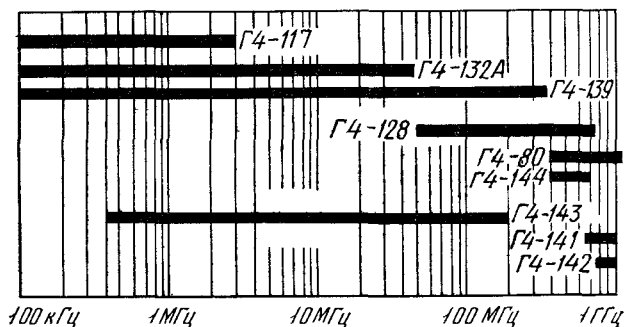


Рис. 49. Типы высокочастотных измерительных генераторов и генерируемые ими диапазоны частот

бильность частоты и амплитуды напряжения (уровня мощности) выходного сигнала, получение модулированных сигналов с регулировкой по частоте и амплитуде.

Типы и диапазоны частот, наиболее часто встречающихся высокочастотных измерительных генераторов приведены на рис. 49, а их основные технические характеристики — в табл. 16.

Таблица 16. Основные технические характеристики высокочастотных измерительных генераторов

Тип прибора	Диапазон частот	Погрешность установки частоты, %, Гц	Нестабильность	Выход	Назначение
Генераторы ультразвукового диапазона: Г4-117 Г4-153	20 Гц—10 МГц 10 Гц—10 МГц	— $\pm 0,01$	$5 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-5}$	100 мкВ —3 В 2 Вт	Для проверки и настройки видеоусилительной аппаратуры
Генераторы радиовещательного диапазона: Г4-132А Г4-154	0,1 Гц—50 МГц 0,1 Гц—50 МГц	$\pm 0,01$ $\pm 0,01$	— $1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$ В 2,8 Вт	Для регулировки, настройки и испытаний радиоаппаратуры
Генераторы метрового диапазона: Г4-139 Г4-143	0,5—512 МГц 25—400 МГц	$5 \cdot 10^{-7}$ 1%	$5 \cdot 10^{-7}$ $2,5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-7}$ В 0,5 Вт	То же
Генераторы дециметрового диапазона: Г4-128 Г4-144	310—1200 МГц 400—820 МГц	0,3% 1%	— $2,5 \cdot 10^{-4}$	0,5 Вт 0,5 Вт	Для проверки и калибровки измерительных приборов и настройки блоков РЭА
Генераторы сантиметрового диапазона: Г4-112 Г4-114	8,15—12,4 ГГц 16,65—25,8 ГГц	$\pm 0,5\%$ $\pm 0,1$	$1 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$ — $10^{-15}$ Вт $5 \cdot 10^{-3}$ Вт	То же
Генераторы миллиметрового диапазона: Г4-141 Г4-142	37,5—53,57 ГГц 53,57— —78,33 ГГц	1,5	15 МГц	$4 \cdot 10^{-3}$ Вт	То же

В качестве примера рассмотрим широко применяемый в радиолaborаториях училищ ПТУ, ремонтных мастерских и на производстве генератор Г4-1А.

Генератор Г4-1А предназначен для проверки и настройки радиоприемных устройств (определение чувствительности, избирательности, полосы пропускания, диапазона частот и др.).

Функциональная схема генератора высокой частоты Г4-1А приведена на рис. 50.

В настоящее время для определения чувствительности и коэффициента шума приемников и усилителей в широком диапазоне частот используют генераторы шумовых сигналов. Они бывают низкочастотные с диапазоном 20 Гц — 2 кГц (Г2-12) и высокочастотные коаксиальные с диапазоном до 37,5 ГГц.

Для настройки, регулировки и контроля различных радиоустройств, широкополосных усилителей, частотных детекторов и других высокочастотных узлов применяют генераторы качающейся частоты (свип-генераторы): высокочастотные Х1-1, Х1-7 и др. и низкочастотные Х1-40, Х1-46, Х1-48.

В состав генератора качающейся частоты входят блоки: высокочастотного генератора, осциллографа и делителя напряжения, генератора низкой частоты, генератора частотных меток с кварцевой стабилизацией частоты и др.

Амплитудно-частотные характеристики проверяемых каскадов во время настройки наблюдают на экране осциллографа в виде осциллограммы. Чтобы видеть, какой частоте соответствует каждая точка наблюдаемой на экране кривой, ее маркируют по частоте, т. е. на нее накладывают специальные метки, вырабатываемые кварцевым генератором.

Для проверки и настройки каналов звукового сопровождения черно-белого и цветного телевизоров генераторы качающейся частоты используют в сочетании с генераторами стандартных сигналов, электронными вольтметрами, гетеродинным волномером, генератором частоты. Использование измерительных генераторов для снятия частотных и амплитудных характеристик усилителей звуковой частоты будет рассмотрено в гл. VIII.

**Измерительные генераторы СВЧ.** В зависимости от диапазона частот СВЧ-генераторы делятся на сверхвысокочастотные с коаксиальным выходом (для диапазона 30 МГц—10 ГГц) и с волноводным выходом (выше 10 ГГц).

Функциональная схема СВЧ измерительного генератора приведена на рис. 51. Отличительной особенностью генераторов в этом диапазоне являются задающий генератор ЗГ и СВЧ-тракт передачи сигнала.

Задающий генератор определяет уровень выходной мощности, рабочий диапазон частот и выполнен на диодах Ганна. Обычно генераторы работают на клистро-

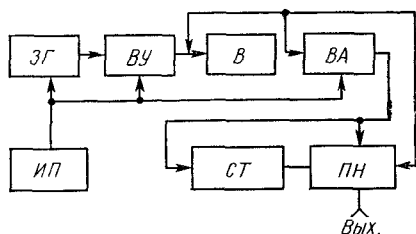


Рис. 50. Функциональная схема измерительного генератора высокой частоты Г4-1А:

ЗГ — звуковой генератор, ВУ — выходной усилитель, В — вольтметр, ВА — выходной аттенуатор, ИП — источник питания, СТ — согласующие трансформаторы, ПН — переключатель нагрузок

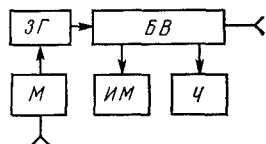


Рис. 51. Функциональная схема СВЧ измерительного генератора:

ЗГ — задающий генератор, БВ — блок выхода, М — модулятор, ИМ — измеритель мощности, Ч — частотомер

нах. Большое распространение получили генераторы на полупроводниковых приборах (лавинно-пролетных диодах, диодах Ганна, туннельных диодах).

Схема выхода СВЧ-генератора состоит из отрезков волновода с фланцами (или коаксиальных линий с выходными гнездами) и аттенуаторов. В качестве измерительных приборов используют измерители мощности *ИМ* СВЧ и измерители частоты *Ч*.

Выпускаемые промышленностью генераторы Г4-155 и Г4-156 перекрывают диапазон от 17,44 до 37,5 ГГц с погрешностью установки частоты  $\pm 1\%$ .

Оба генератора позволяют автоматически управлять параметрами выходного сигнала за счет внутренней памяти на 16 наборов частот и уровней мощности. Приборы могут работать в автоматизированных измерительных комплексах с дистанционным управлением от ЭВМ.

### **§ 34. Электронно-лучевые измерительные приборы (осциллографы), используемые для регулировки РЭА**

Для наладки и ремонта РЭА, наблюдения и исследования периодических и импульсных сигналов малой (микросекундной) длительности широко используют осциллографы, представляющие собой универсальные радиоизмерительные приборы.

Осциллографы характеризуются следующими основными техническими данными: размером экрана, чувствительностью каналов, максимальным напряжением исследуемого сигнала, полосой пропускания, входными сопротивлением и емкостью, изображениями исследуемых сигналов, видами разверток, погрешностями измерения амплитуд и временных интервалов.

По назначению и принципу действия осциллографы делят на универсальные, запоминающие, стробоскопические, скоростные и специальные, а по числу одновременно наблюдаемых сигналов — на одно-, двух- и многолучевые.

Для проверки регулировки и ремонта радиовещательной и телевизионной аппаратуры, а также исследования непрерывных и импульсных сигналов используют универсальные осциллографы. Например, осциллограф С1-72 применяют для исследования сигналов с амплитудами 40 мВ — 60 В и длительностью 0,2 мкс — 0,5 с. Простота конструкции и схемы, высокая надежность, универсальность питания и малая потребляемая мощность позволяют широко использовать его для ремонта и обслуживания различных радиотехнических и электронных устройств. Синхронизация прибора может осуществляться внешним и внутренним сигналами.

Стробоскопические и широкополосные осциллографы С7-12 и С7-16 служат для исследования переходных процессов в быстродействующих полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах, при наладке схем быстродействующих вычислительных машин, а также при изучении формы СВЧ-колебаний.

Широкое распространение получили специальные осциллографы, способные запомнить сигнал и длительно воспроизводить его. В радиоэлектронике запоминающие осциллографы используют для изучения свойств полупроводниковых и других электронных приборов. К ним относят однолучевые С8-9А, С1-29 и С1-37 и двухлучевые С8-17.

При всем многообразии выпускаемых промышленностью осциллографов их структурные схемы в основном одинаковы. Любой осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки с электростатическим отклонением луча, двух электрических каналов ( $Y$  « $Y$ »,  $U$  « $X$ »), по которым подается напряжение для вертикального « $Y$ » и горизонтального « $X$ » отклонения луча, измерительных блоков и источника питания (рис. 52).

В двухлучевых осциллографах для каждого луча имеются отдельные каналы вертикального отклонения и один общий канал горизонтального отклонения.

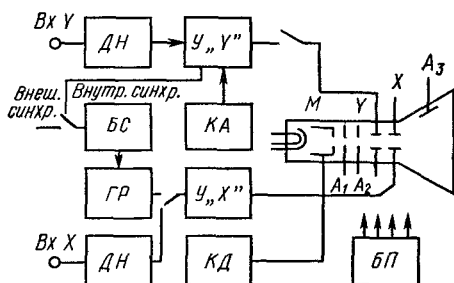


Рис. 52. Функциональная схема осциллографа:

ДН — делитель напряжения,  $Y$  — усилители вертикальной « $Y$ » и горизонтальной « $X$ » разверток, БС — блок синхронизации, КА — калибратор амплитуды, КД — калибратор длительности, ГР — генератор развертки, БП — блок питания

### Контрольные вопросы

1. Какое значение имеют измерения? Чем отличается электроизмерение от радиоизмерения?
2. Что такое образцовые меры и эталоны?
3. Что такое погрешность и какие бывают погрешности?
4. Как классифицируют измерительные приборы по роду измеряемой величины?
5. Какими приборами измеряют напряжение и ток? Как эти приборы включают в схему?
6. Какими приборами измеряют сопротивление, емкость, индуктивность и добротность?
7. Какие методы измерения сопротивления, емкости, индуктивности и добротности вы знаете?
8. Каким методом можно измерить взаимную индуктивность?
9. Какие измерительные генераторы вы знаете? Где и для каких целей их применяют?
10. Расскажите об особенностях радиоизмерений в диапазоне СВЧ.
11. Расскажите о методах измерений частоты и мощности в диапазоне СВЧ.
12. Перечислите приборы, применяемые для измерений в диапазоне высоких частот и объясните их устройство.
13. Перечислите приборы, применяемые для измерений в СВЧ-диапазоне, и объясните их устройство.
14. Расскажите о назначении и типах вспомогательных измерительных устройств СВЧ-диапазона.

### § 35. Источники питания РЭА, назначение и классификация выпрямителей

Электропитание РЭА можно осуществлять от химических источников тока и выпрямителей, работающих от электросети. Основное назначение выпрямителя — это преобразование напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока. Существует большое количество схем и конструкций выпрямителей, отличающихся мощностью, выпрямленным током и напряжением. Однако все они обычно содержат следующие основные элементы: трансформатор, преобразующий одно переменное напряжение в другое, которое требуется для получения напряжения постоянного тока; электрические вентили (кенотроны, газотроны, полупроводниковые приборы, микросхемы и т. д.), преобразующие переменный ток в постоянный; сглаживающий фильтр, предназначенный для уменьшения переменной составляющей (пульсаций) в выпрямленном напряжении; вспомогательные устройства (стабилизаторы выпрямленного тока или напряжения, устройства для регулировки напряжения и т. д.).

Электрическим вентилем называется электронный прибор, обладающий односторонней проводимостью, так как сопротивление его для тока в прямом направлении во много раз меньше, чем для тока в обратном направлении. В настоящее время практическое применение нашли три типа вентилей: электронные (вакуумные), ионные (газовые) и полупроводниковые (твердые). С развитием полупроводниковой техники более широко стали использовать полупроводниковые вентили, имеющие относительно малые габариты, высокую надежность в работе при большом сроке службы.

Выпрямители могут быть конструктивно объединены с радиоэлектронным устройством (например, блок выпрямителя в телевизоре) или выполнены в виде отдельного устройства (например, выпрямитель для заряда аккумуляторов).

### § 36. Схемы выпрямителей

Схемы выпрямителей делятся на однофазные и многофазные (двух, трех, шести).

Однофазные выпрямители применяют при малом токе нагрузки для питания анодных цепей электронно-лучевых трубок телевизоров и осциллографов.

Многофазные выпрямители служат для получения средних и больших выпрямительных мощностей, например для питания цепей анода и экранных сеток радиоламп, когда требуется ток в несколько десятков и сотен миллиампер. Широкое применение получила двухфазная (двухполупериодная) мостовая схема выпрямителя.



Для питания мощных радиопередатчиков, радиолокационных станций и другой РЭА, потребляющих токи в десятки и более ампер при напряжении 5—10 кВ применяют трех- и шестифазные схемы выпрямителей.

При питании РЭА от сети переменного тока особое значение приобретает фильтрация выпрямленного напряжения, так как недостаточное сглаживание пульсаций приводит к появлению фона переменного тока. Допустимая величина пульсации зависит от цепи, которую питает выпрямитель. Для сглаживания пульсаций применяют П-, Г-образные фильтры и др. В отдельных каскадах радиоприемников и телевизоров для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения служат дополнительные звенья фильтрации, состоящие из  $RC$ -цепочек, а для поддержания его стабильности — специальные устройства (стабилизаторы напряжения).

Стабильность питающих напряжений можно поддерживать на входе выпрямителя со стороны переменного напряжения и на выходе его со стороны постоянного (выпрямленного) напряжения с помощью стабилизаторов на газоразрядных лампах и полупроводниковых приборах.

Большое распространение при питании бытовой радиоаппаратуры получили стабилизаторы переменного напряжения, использующие нелинейные свойства дросселей с насыщенным стальным сердечником (феррорезонансные стабилизаторы). Промышленность выпускает стабилизаторы такого типа на мощности порядка сотен ватт, способные поддерживать постоянство питающего напряжения на входе выпрямителя с большой степенью точности (до 0,5%). Недостатком феррорезонансных стабилизаторов является большая чувствительность к изменению частоты питающей сети.

С помощью стабилизаторов на газоразрядных лампах можно получить стабильное напряжение на выходе выпрямителя в пределах 70—180 В.

В настоящее время широко используют стабилизаторы на полупроводниковых приборах, дающие высокостабильное напряжение в очень широком пределе (от нескольких вольт до нескольких сотен вольт), и транзисторные — для стабилизации относительно малых напряжений.

Функциональная схема типового стабилизатора представлена на рис. 53. Стабилизатор состоит из регулирующего 1, управляющего 2 элементов и мостового делителя напряжения 3.

Входное напряжение  $U_{вх}$  снимается с выпрямителя, подключенного ко вторичной обмотке сетевого трансформатора. Выходное напряжение  $U_{вых}$  подается на нагрузку.

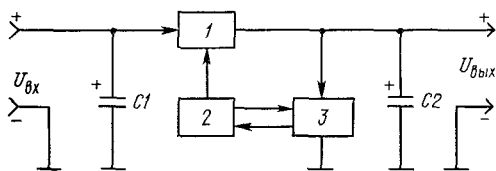


Рис. 53. Функциональная схема стабилизатора напряжения

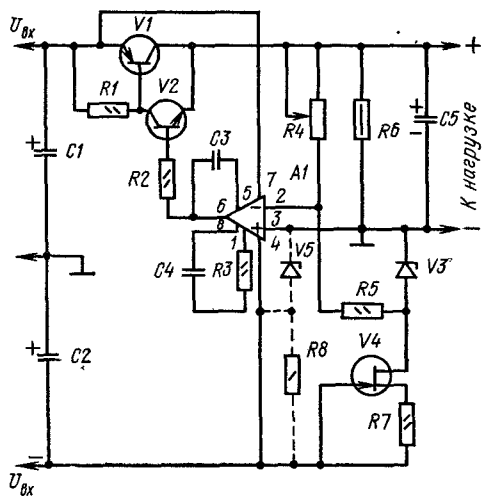


Рис. 54. Принципиальная электрическая схема компенсационного стабилизатора на операционном усилителе А1

силового трансформатора  $T$ , корпус которого соединен с шасси (вывод 6). При включении выпрямителя в сеть с напряжением 220 или 240 В обе обмотки соединяют последовательно, при включении в сеть с напряжением 110 или 127 В — параллельно.

Конденсаторы фильтров  $C1$ ,  $C2$  и  $C3$  являются сглаживающими — они уменьшают пульсации выпрямленного напряжения. В схему электронного стабилизатора выпрямленного напряжения входят транзистор  $V4$  и стабилитрон  $V1$ .

Для питания различной РЭА используют компенсационные стабилизаторы, где регулируемый элемент выполнен на операционном усилителе  $A1$  (рис. 54). Выбор той или иной схемы определяется значениями выходного напряжения.

В качестве примера рассмотрим принципиальную электрическую схему выпрямителя блока питания (рис. 55). Выпрямитель блока собран по двухполупериодной схеме на двух полупроводниковых диодах  $V2$  и  $V3$ . Напряжение от сети переменного тока (110, 127, 220, 240 В) подводится через разъемы и выключатель сети к двум сетевым обмоткам (выводы 1—2 и 3—4)

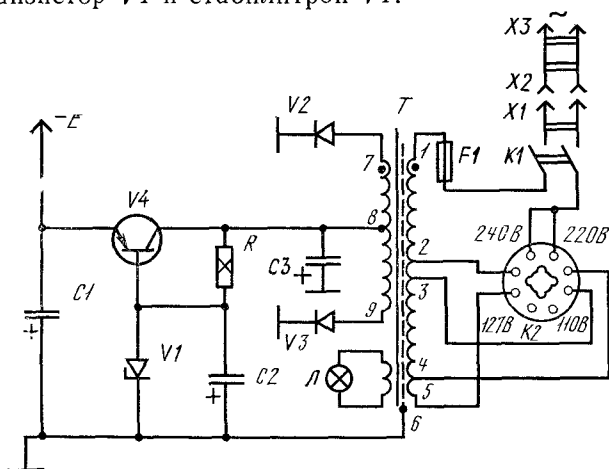


Рис 55. Принципиальная электрическая схема выпрямителя блока питания

## § 37. Регулировка выпрямителей

Прежде чем приступить к проведению регулировочных работ блока выпрямителя, необходимо ознакомиться с принципиальной и монтажной схемами и убедиться в правильности сборки и монтажа блока, а также в исправности входящих в него элементов.

Основными параметрами, подлежащими проверке при регулировке, являются: потребляемая мощность, выходные напряжения и токи при номинальной нагрузке, коэффициент пульсации выпрямленных напряжений, степень стабилизации напряжений при изменении напряжения питающей сети или величины нагрузки, нагрузочные характеристики, надежность работы и др.

Все перечисленные параметры, особенно надежность работы выпрямителя, зависят не только от сборки и монтажа его конструкции, но и от качества отдельных элементов (трансформатора, вентильных приборов, конденсаторов и др.).

Рассмотрим принцип проверки отдельных элементов выпрямителя.

Силовые трансформаторы предназначены для повышения или понижения переменного напряжения питающей сети. Основными характеристиками силового трансформатора являются: число обмоток, рабочие напряжения, электрическая прочность, сопротивление изоляции, диапазон рабочих температур, масса и габариты. При проверке готовые трансформаторы сначала осматривают, сличают с чертежом или образцом, а затем переходят к проверке его электрических параметров.

Сопротивление изоляции в трансформаторе измеряется между обмотками и между обмотками и магнитопроводом мегаомметром, оно должно быть не менее 1000 МОм.

Электрическую прочность изоляции проверяют на специальных пробойных установках при резко меняющейся нагрузке и напряжении сети. В зависимости от назначения трансформатора и режимов его работы напряжение установки может меняться от 200 В до 2 и более киловольт.

Рабочие напряжения обмоток проверяют вольтметром переменного тока по технологическим картам напряжения. Если трансформатор имеет симметричные обмотки, одновременно проверяют отсутствие асимметрии обмоток.

В лабораторных условиях параметры трансформаторов проверяют с помощью стандартных измерительных приборов: вольтметра переменного тока, амперметра, пробивной установки, мегаомметра. В серийном и массовом производстве трансформаторов используют специализированные установки, которые позволяют производить все виды испытаний новых трансформаторов методом сравнения с эталонным образцом.

Параметры диодов, конденсаторов, резисторов и других элементов выпрямителей проверяют в соответствии с ГОСТами и ТУ на эти элементы. Состав измерительных приборов и оборудования, используемых при настройке и регулировке выпрямителей, опреде-

ляют, исходя из назначения выпрямителя и вида производства.

Настройку и регулировку выпрямителей в условиях опытного и мелкосерийного производства осуществляют по маршрутным картам технологического процесса. Внешним осмотром проверяют качество сборочно-монтажных работ. С помощью омметра и карты сопротивлений, до включения выпрямителя в сеть питания, осуществляют контроль монтажных работ. Необходимо также убедиться в том, что положение переключателя напряжения сети соответствует подводимому напряжению, а номиналы предохранителей — потребляемому току. После этого выпрямитель можно включить в сеть.

Первоначальное включение выпрямителя в сеть производят при пониженном напряжении с целью исключения выхода из строя отдельных элементов схемы. Если лампочка освещения и сигнализации (МН-6,3 В, 0,22 А) не загорается, нужно проверить, нет ли повреждений в подводке электропитания. Пробником или омметром проверяют исправность вилки *X4*, шнура, разъема *X3* и *X1*, переключателя напряжений *K2* трансформатора и выключателя сети *K1* устройства, а также предохранителя *E1* и первичную обмотку силового трансформатора на обрыв. Если на первичной обмотке трансформатора есть переменное напряжение, а на вторичной повышающей обмотке его нет, следует омметром проверить исправность вторичной обмотки, предварительно отключив их от сети и схемы выпрямителя.

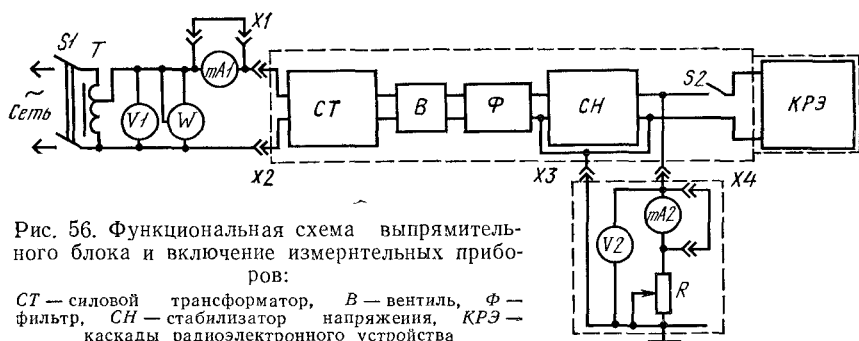
Если при включении выпрямителя в сеть нет выпрямленного напряжения, причиной может быть пробой конденсаторов фильтра или большая утечка в них, выход из строя диодов выпрямителя или неисправность в схеме стабилизатора. Пробой конденсатора фильтра *C3* сопровождается выходом из строя полупроводниковых диодов выпрямителя (*V1* или *V2*). Если на конденсаторе *C3* есть напряжение, а на обкладках конденсатора фильтра *C1* оно равно нулю, значит, этот конденсатор неисправен.

Когда выпрямленное напряжение меньше номинального, в первую очередь необходимо проверить напряжение питающей сети. Если напряжение нормальное, причиной неисправности может быть неправильно установленный переключатель *K2*, наличие короткозамкнутых витков в трансформаторе или пробой какой-либо обмотки на корпус (трансформатор при этом быстро греется), большая утечка конденсаторов фильтра *C3* и *C1* или потеря ими емкости из-за старения. При плохом сглаживании выпрямленного напряжения из-за потери емкости конденсаторами фильтра прослушивается фон в виде низкого тона на выходе усилителя. Если при подключении к конденсатору фильтра другого (исправного) конденсатора фон пропадает, значит, конденсатор потерял емкость (или у него большая утечка) и его необходимо заменить.

После проверки исправности схем выпрямителя и стабилизатора напряжения приступают к проверке параметров, регулировке выпрямителя и снятию характеристик выпрямленного напряжения.

При налаживании стабилизатора на операционном усилителе нужно обратить особое внимание на соответствие монтажных работ монтажным схемам, иначе может возникнуть самовозбуждение блока.

Надежная работа РЭА в целом во многом зависит от нормальной работы выпрямителя и соответствия его выходных параметров заданным ТУ. Если в процессе контроля окажется, что выпрям-



ленное напряжение  $U_0$ , коэффициент пульсации  $K_n$  и нагрузочная характеристика не соответствуют ТУ, производят регулировку схемы выпрямителя и стабилизатора, в процессе которой получают требуемые значения параметров.

Регулировка выпрямителя заключается в установке нормальных электрических режимов работы его элементов.

Проверка правильности электрических режимов элементов при серийном производстве выпрямителей производится по операционным технологическим картам, а также картам напряжений и сопротивлений, при единичном производстве или ремонте — по принципиальной и монтажной схемам. После проверки режимов работы элементов схемы выпрямителя и соответствия напряжений ТУ можно приступить к снятию характеристик выпрямителя. Функциональная схема выпрямительного блока и включение измерительных приборов, с помощью которых производят измерение выпрямленного напряжения, тока и мощности, потребляемых от сети, тока в нагрузке и коэффициента пульсаций показаны на рис. 56.

Выпрямленное напряжение определяют по показаниям вольтметра  $V2$ . В качестве измерительного прибора может быть использован электронный вольтметр или осциллограф, причем последний позволяет также измерять напряжения пульсаций и визуально просматривать их на электронно-лучевой трубке.

Напряжение выпрямителя измеряют последовательно: сначала переменное на входе выпрямителя, затем постоянное на его выходе. Автотрансформатор  $T$  необходим для плавной регулировки переменного напряжения. Постоянный ток в цепи нагрузки измеряется миллиамперметром  $mA2$ , а общий ток, потребляемый от

сети, — миллиамперметром  $mA1$  (при измерениях ключ  $S2$  разомкнут). Мощность, потребляемая устройством от сети питания, измеряется ваттметром  $W$ , включаемым на входе устройства, для чего перемычку  $X1$  размыкают.

Все схемы выпрямителей на выходе кроме постоянной составляющей напряжения имеют переменную составляющую (напряжение пульсаций). Напряжение пульсаций зависит от частоты питающей сети и выпрямителя, амплитуда напряжения пульсаций — от вида фильтра выпрямителя. На практике величина пульсаций выпрямителя оценивается коэффициентом пульсаций  $K_{\Pi}$ .

Для этого на вход выпрямителя подают номинальное переменное напряжение, а на выходе — включают сопротивление нагрузки  $R$ , миллиамперметр  $mA2$  постоянного тока, вольтметр  $V2$  или осциллограф. Изменяя сопротивление нагрузки  $R$ , устанавливают номинальный ток.

Вольтметром  $V2$  замеряют постоянную  $U_0$  и переменную  $U_{m0}$  составляющие выпрямленного напряжения. Если на выходе выпрямителя включен осциллограф, переменную составляющую выпрямленного напряжения можно наблюдать визуально. Зная напряжение,  $K_{\Pi}$  можно определить по формуле

$$K_{\Pi} = \frac{U_{m0}}{U_0} \cdot 100\%.$$

Коэффициент пульсаций указывают в ТУ на выпрямитель. Например, для усилителя УЗЧ амплитуда пульсаций анодного напряжения не должна превышать 0,5% от напряжения полезного сигнала, для усилителей УРЧ и УПЧ она должна быть не более 0,05—0,1% (0,1—0,2 В). Причинами повышенной пульсации выпрямленного напряжения являются недостаточная емкость конденсаторов фильтра и асимметрия плеч вторичной обмотки силового трансформатора. После устранения неисправностей выходные параметры выпрямителя проверяют повторно.

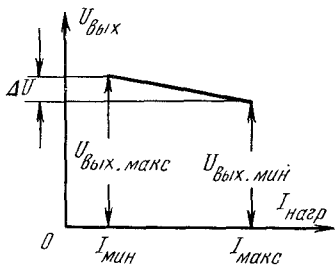


Рис. 57. Нагрузочная характеристика выпрямителя

Нагрузочная (вольт-амперная) характеристика выпрямителя выражает зависимость выпрямленного напряжения на нагрузке  $R$  от тока нагрузки. Для снятия указанной характеристики можно воспользоваться схемой, показанной на рис. 56, отключив каскады питаемого устройства выключателем  $S2$ . Нагрузочная характеристика снимается следующим образом. Изменяя сопротивление нагрузки  $R$  в заданных ТУ пределах, измеряют ток в нагрузке миллиамперметром  $mA2$ . По полученным данным строят нагрузочную характеристику (рис. 57), из которой видно, что при увеличении тока нагрузки от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$  выходное напряжение выпрямителя

уменьшается от  $U_{\text{вых.макс}}$  до  $U_{\text{вых.мин}}$ . Наибольший допустимый ток в нагрузке выпрямителя определяется допустимым током, проходящим через вентиль.

Изменение напряжения на нагрузке равно  $\Delta U = U_{\text{вых.макс}} - U_{\text{вых.мин}}$  и обусловлено увеличением падения напряжения на элементах выпрямителя (обмотке трансформатора, внутреннем сопротивлении вентиль и сопротивления фильтра).

Нормальный ход нагрузочной характеристики свидетельствует об исправности силового трансформатора и элементов выпрямителя.

Холостым режимом выпрямителя является его работа при полном отключении нагрузки. Этот режим опасен для работы выпрямителя, так как может вызвать пробой конденсаторов фильтра.

### Контрольные вопросы

1. Каково назначение выпрямителя? Как классифицируют выпрямитель?
2. Приведите функциональную схему выпрямителя и объясните назначение его элементов.
3. Какие существуют схемы выпрямителей? В чем их отличие?
4. Какие стабилизаторы напряжения вы знаете?
5. Какие основные неисправности в работе выпрямителей вы знаете?
6. Как осуществляют контроль основных параметров выпрямителей: выпрямленного напряжения, тока и напряжения пульсации?
7. Что представляет собой нагрузочная характеристика выпрямителя?
8. Что такое холостой режим выпрямителя? Чем он характеризуется?

## Глава VIII. РЕГУЛИРОВКА И ИСПЫТАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ (УЗЧ)

### § 38. Функциональная и принципиальная схемы УЗЧ

В современной технике часто бывает необходимо усиливать слабые электрические сигналы, точно сохраняя их форму. Устройства, усиливающие сигналы, называют усилителями (ГОСТ 24375—80). Усилители напряжения, тока или мощности, предназначенные для усиления звуковых частот (от 20 Гц до 20 кГц), называют усилителями звуковой частоты (УЗЧ). В последние годы схемы УЗЧ выполняют в основном с использованием полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (микросборок). Функциональная схема УЗЧ показана на рис. 58.

Вне зависимости от назначения усилителя в его схему входят: входное  $V_{\text{хУ}}$ , выходное  $V_{\text{выхУ}}$  и вспомогательные устройства, предварительный ПУ и мощный МУ (оконечный) усилители. Каждое устройство усилителя выполняет определенные функции.

Входное устройство усилителя предназначено для разделения постоян-

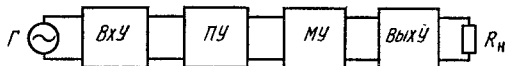


Рис. 58. Функциональная схема УЗЧ

ной составляющей тока или напряжения источника сигнала и входной цепи первого транзистора (или микросхем), согласования входного сопротивления усилителя с выходным сопротивлением источника сигнала (например, микрофона) и повышения напряжения сигнала на входе первого каскада усилителя.

В каскадах предварительного усиления используют транзисторы с большим коэффициентом усиления и микросхемы. Режим их рабо-

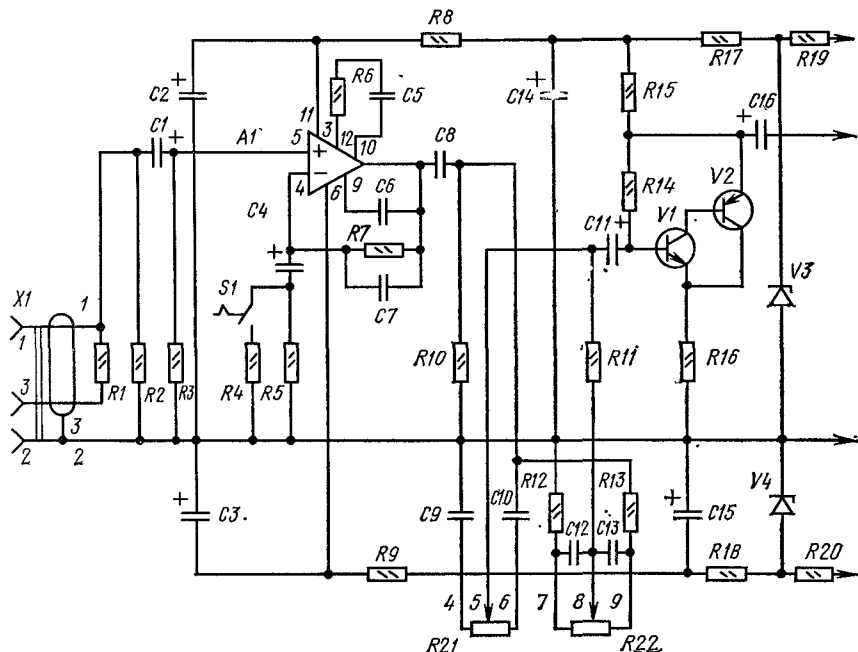


Рис. 59. Принципиальная электрическая схема предварительного УЗЧ на операционном усилителе

ты, способ включения и детали схемы выбирают так, чтобы получить возможно большее усиление сигнала при малом расходе питания. Рассмотрим построение схем предварительного усилителя, который имеет относительно простую конструкцию, небольшие размеры и хорошие частотные и фазовые характеристики.

Принципиальная электрическая схема предварительного УЗЧ на операционном усилителе  $A1$  и транзисторах  $V1$  и  $V2$  разной структуры приведена на рис. 59.

Входной сигнал через гнезда 1—2 разъема  $X1$  и конденсатор  $C1$  подается на вход  $A1$  (вывод 5). Сигнал большого уровня (например, от звукоснимателя) ослабляется делителем  $R1$ — $R2$ . Схема имеет большое входное сопротивление, что позволяет подключать к нему источники низкочастотных сигналов с большим внутренним сопротивлением.



Усилитель охвачен глубокой обратной связью  $R7, R6, R5$  и  $R14$ . Коэффициент усиления УЗЧ зависит от соотношения этих сопротивлений. С выхода ОУ сигнал подается на переменные резисторы  $R21$  и  $R22$ , являющиеся регуляторами тембра соответственно по высоким и низким частотам.

Резисторы  $R17, R18, R8$  и  $R9$  и конденсаторы  $C14, C15, C2, C3$  образуют развязывающие фильтры, предотвращающие возбуждение блока из-за возможных паразитных связей между его элементами усиления и источником питания. Цепочка  $R6C5$  и конденсатор  $C6$  предназначены для предотвращения самовозбуждения усилителя на высоких частотах.

При использовании в схеме предварительного усилителя в качестве усилительного элемента транзистора схема УЗЧ имеет вид, представленный на рис. 60. Транзистор обычно включают по схеме с общим эмиттером, это позволяет соединять последовательно несколько каскадов усиления, получая от каждого каскада максимальное усиление напряжения.

Элементы схемы имеют следующее назначение:  $R_K$  — нагрузочный резистор в цепи коллектора;  $C_D$  — разделительный конденсатор; резисторы  $R1$  и  $R2$  — делитель напряжения, с которого снимается постоянное напряжение смещения на базу транзистора относительно эмиттера. Цепь  $R_3C_3$  обеспечивает температурную стабилизацию режима работы транзистора. При увеличении, например, температуры окружающей среды увеличивается ток в цепи эмиттера и падение напряжения, создаваемое этим током на резисторе  $R_3$ , которое приложено плюсом к базе транзистора, а минусом — к эмиттеру. В результате этого уменьшается ток базы транзистора и ограничивается рост тока эмиттера. Блокировочный конденсатор большой емкости  $C_3$  создает цепь переменной составляющей тока эмиттера.

Предварительные каскады усилителя с трансформаторной нагрузкой используют значительно реже из-за дополнительных нелинейных искажений, вносимых трансформатором. В настоящее время все большее применение находят бестрансформаторные предоконечные каскады, позволяющие подавать на оконечные двухтактные каскады два напряже-

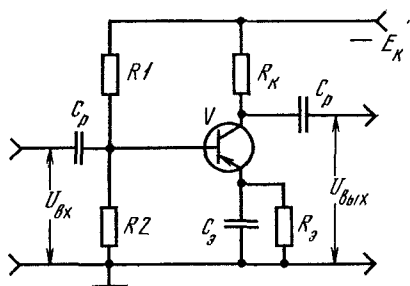


Рис. 60. Схема УЗЧ на транзисторах

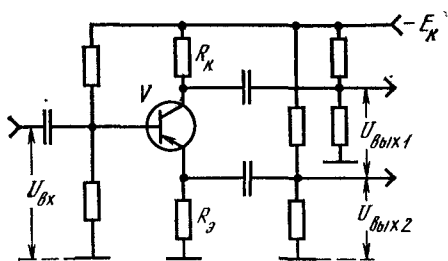


Рис. 61. Бестрансформаторная фазоинверсная схема с разделенной нагрузкой

ния сигнала, сдвинутые одно относительно другого на  $180^\circ$ . Указанные схемы называют *фазоинверсными*.

На рис. 61 показана бестрансформаторная фазоинверсная схема с разделенной нагрузкой. Нагрузочное сопротивление разделено между коллекторной  $R_K$  и эмиттерной  $R_E$  цепями. Эмиттерная цепь в данном случае работает как схема эмиттерного повторителя, не меняя фазы подводимого сигнала и не усиливая его. Напряжение сигнала, снимаемое с резистора  $R_K$ , отличается по фазе от напряжения, действующего на резисторе  $R_E$ , на  $180^\circ$ . Подбором величин  $R_K$  и  $R_E$  добиваются равенства выходных напряжений сигнала  $U_{\text{вых}1}$  и  $U_{\text{вых}2}$ .

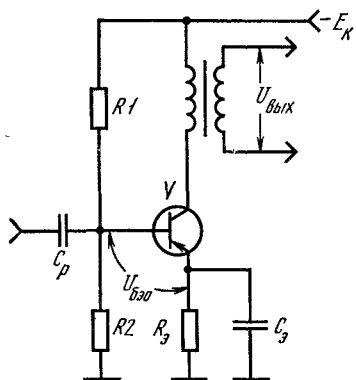


Рис. 62. Однотактный мощный трансформаторный усилитель

Усилители мощности предназначены для увеличения сигнала на нагрузке при максимальном кпд. Поэтому способ включения транзисторов или микросхем и режим их работы выбирают, исходя из величины выходной мощности, отдаваемой в нагрузку. В оконечных каскадах при небольшой выходной мощности усилителя (0,5—1 Вт) обычно используют однотактные схемы (рис. 62).

Для получения большой выходной мощности применяют двухтактные схемы с трансформаторным выходом. Выходной трансформатор во многом определяет качество работы усилителя и оказывает влияние на такие параметры, как частотная характеристика, нелинейные искажения и кпд каскада. При этом используются мощные транзисторы, которые могут быть включены параллельно в каждом плече каскада.

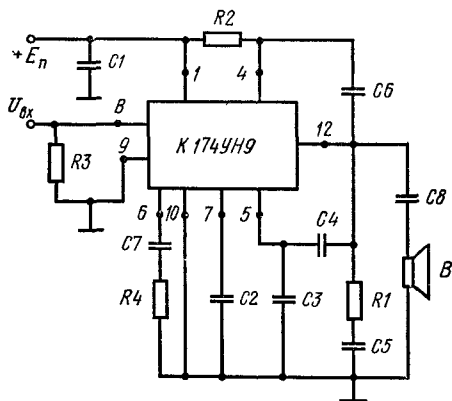


Рис. 63. Схема мощного УЗЧ на микросхеме

Бестрансформаторные выходные каскады на транзисторах и микросхемах применяют в высококачественных усилителях. Основными достоинствами бестрансформаторных оконечных каскадов УЗЧ, благодаря которым они получили широкое распространение, являются простота их устройства и налаживания, высокий кпд, достигающий 75%, и широкая полоса усиливаемых частот.

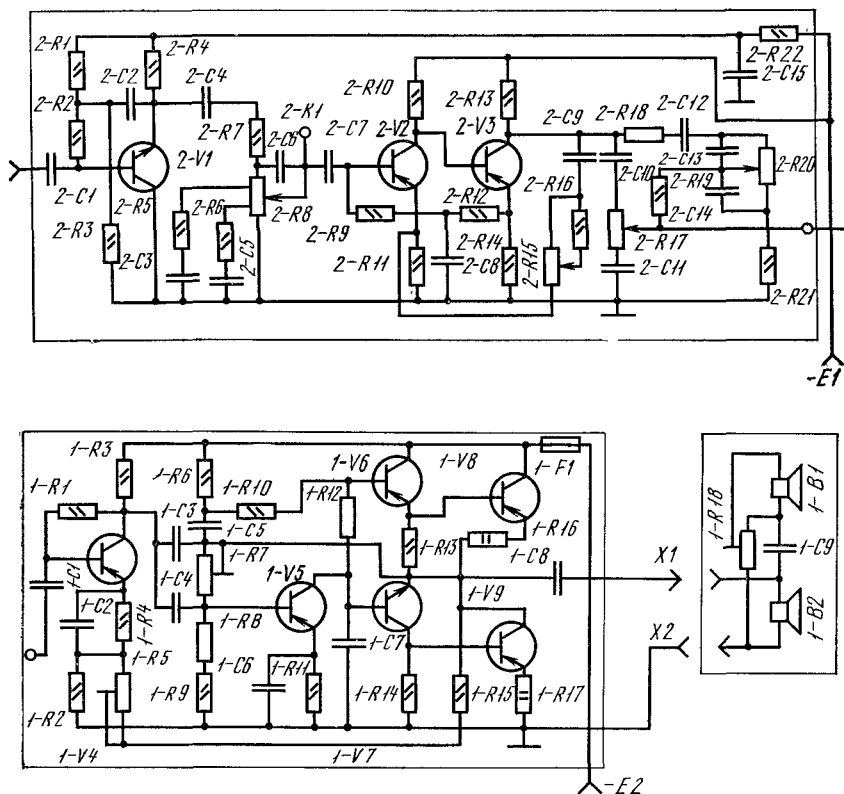


Рис. 64. Принципиальная электрическая схема транзисторного УЗЧ

На рис. 63 изображена схема мощного усилителя на микросхеме К174УН9, на кристалле которой размещены 118 компонентов, включая мощные выходные  $n-p-n$ -активные структуры. Конденсаторы  $C1$  и  $C2$  в схеме являются фильтрами цепей питания,  $C3$ ,  $C4$  и  $R1$  — цепью высокочастотной коррекции. Конденсатором  $C6$  и резистором  $R2$  можно регулировать положительную, а конденсатором  $C7$  и резистором  $R4$  отрицательную обратные связи. Резистор  $R3$  определяет ток смещения каскада.

В качестве примера построения УЗЧ рассмотрим полную принципиальную электрическую схему транзисторного УЗЧ (рис. 64). Первый каскад предварительного УЗЧ выполнен на транзисторе 2-V1 с общим коллектором. Такая схема называется *эмиттерным повторителем*. Источник сигнала через блок коммутации включен в цепь базы транзистора, нагрузка резистора 2-R1 — в цепь эмиттера, а коллектор соединен с общим проводом. Схема эмиттерного повторителя не увеличивает напряжения сигнала на выходе по сравнению с входным сигналом, но обладает большим входным

сопротивлением (порядка 1 МОм) и малым выходным сопротивлением (десятки Ом), при этом полярность сигнала не меняется.

Транзистор 2-V1 с низким уровнем шумов позволяет получить хорошее соотношение сигнал/шум, большое входное сопротивление и температурную стабильность каскада. Большое входное сопротивление значительно улучшает общую частотную характеристику усилителя в области низких частот при включении на его вход звукоприемника с пьезокерамической головкой. Конденсатор 2-C1 служит для предохранения от случайного попадания постоянного напряжения на вход усилителя.

С эмиттера транзистора 2-V1 звуковой сигнал через конденсатор 2-C4 подается на регулятор громкости 2-R8, с которого поступает на базу транзистора второго каскада 2-V2. Второй и третий каскады усилителя выполнены на транзисторах с непосредственной связью. Особенностью схемы с непосредственной связью является ее способность усиливать не только переменные составляющие тока и напряжения сигнала, но и его постоянную составляющую, не внося при этом дополнительных нелинейных искажений. Отсутствие переходных конденсаторов значительно расширяет диапазон усиления в сторону низких частот. Оба каскада дополнительно охвачены глубокой межкаскадной отрицательной обратной связью по постоянному и переменному напряжению, создаваемой цепью 2-R15, 2-C9 и 2-R16. Кроме того, в каждом каскаде имеются цепи эмиттерной стабилизации режима 2-R14, 2-C8 и 2-R11, обеспечивающие температурную стабилизацию режима работы транзисторов.

Между третьим и четвертым каскадами включены регуляторы тембра по высоким 2-R17 и низким 2-R20 частотам. Регулировка громкости и тембра осуществляется одновременно в обоих каналах. Четвертый и пятый каскады являются также усилителями напряжения, выполненными на транзисторах 1-V4 и 1-V5 соответственно.

Предоконечный каскад выполнен на транзисторах 1-V6 и 1-V7 с различными типами проводимости, соединенными по последовательной двухтактной фазоинверсной схеме. Такая схема осуществляет поворот фазы сигнала на 180°. Связь предоконечного каскада с усилителем мощности непосредственная, что улучшает частотную характеристику усилителя в области низких частот.

Оконечный каскад усилителя построен по двухтактной бестрансформаторной схеме с последовательным включением транзистора типа *p-n-p*. Сигнал на их базы подается в противофазе с резисторов 1-R13, и 1-R14, включенных последовательно с транзисторами фазоинверсного каскада. Для обеспечения температурной стабильности окончного каскада в цепи эмиттеров транзисторов включены проволочные резисторы 1-R16 и 1-R17 (с сопротивлением 1 Ом). Падения напряжения на этих резисторах, создаваемые токами эмиттеров, автоматически меняются при изменении температуры или замене транзисторов, тем самым обеспечивая температурную стабилизацию режима.

Оконечный и предоконечный каскады усилителя охвачены отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с выхода усилителя и через резистор  $1-R5$  подается в цепь эмиттера  $1-V4$ . Для снижения нелинейных искажений, вносимых усилителем, необходима строгая симметрия плеч оконечного двухтактного каскада. Симметрии плеч добиваются изменением положения потенциометра  $1-R7$ .

Оконечный каскад через конденсатор  $1-C8$  большей емкости (2000 мкФ) нагружен на акустическую (звуковую) систему. Емкость конденсатора выбрана из условия неискаженной работы усилителя на самых низких частотах.

### **§ 39. Особенности сборки, монтажа и проверки УЗЧ**

Механическую сборку и монтаж УЗЧ в зависимости от вида производства могут осуществлять индивидуально, в опытном и мелкосерийном производстве, либо пооперационно на автоматических поточных линиях в массовом производстве.

Основными документами для проведения сборки и монтажа УЗЧ являются технологические карты и чертежи (схемы).

В технологических картах и чертежах указывается последовательность проведения сборочно-монтажных операций и используемые при этом оборудование, инструмент и приспособления.

Методы проверки выбирают, исходя из конструктивных особенностей построения УЗЧ, т. е. осуществлена ли сборка блока УЗЧ из предварительно проверенных унифицированных функциональных модулей или из отдельных деталей и сборочных единиц. В первом случае в результате проверки убеждаются в исправности и правильном электрическом монтаже модулей и исполнительных элементов (потенциометров, разъемов и т. д.), а также в электромагнитной совместимости блока УЗЧ с другими блоками (например, высокочастотными блоками радиоприемника, телевизора и др.). Во втором случае перед включением электропитания необходимо убедиться в том, что электрический монтаж усилителя полностью закончен, пайки и все соединения элементов исправны. Соединения проверяют по принципиальной и монтажной схемам с помощью универсального измерительного прибора (тестера), включенного на шкалу измерения сопротивлений.

Убедившись в исправности всех деталей схемы и цепей питания транзисторного УЗЧ, приступают к покаскадной проверке работоспособности усилителя и его основных показателей. Проверку начинают с оконечного каскада УЗЧ.

На электрические показатели усилителя в значительной мере влияет фон переменного тока, который проявляется в виде низкого тона при питании усилителя от сети через выпрямитель. Уровень фона характеризуется напряжением пульсации на выходе УЗЧ при отсутствии сигнала. Эта величина обычно задается в ТУ на усилитель и проверяется при его испытаниях. Сильный фон

снижает качество воспроизведения. Причиной возникновения фона может быть плохая фильтрация выпрямленного напряжения, наводки на входные цепи усилителя со стороны питающих цепей, неисправности конденсаторов фальтра выпрямителя. Поэтому, прежде чем приступить к устранению фона, необходимо определить его источник (т. е. возникает ли он в усилителе или поступает на вход извне).

Наличие в тракте усиления сигнала фона переменного тока и причины его возникновения легко определить с помощью осцилло-

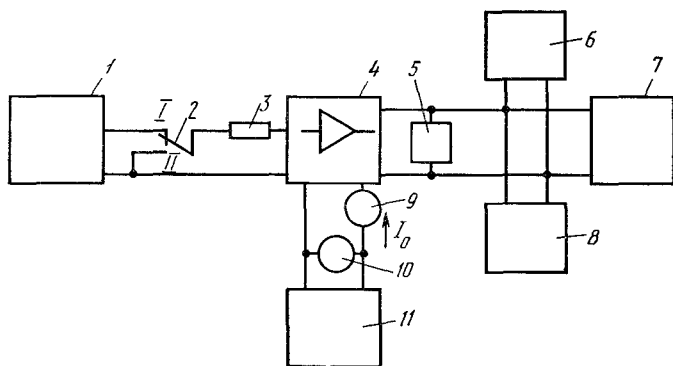


Рис. 65. Структурная схема настройки и регулировки УЗЧ:

1 — измерительный генератор звуковой частоты, 2 — переключатель, 3 — резистор, 4 — УЗЧ, 5 — нагрузка, 6 — электронный вольтметр, 7 — осциллограф, 8 — измеритель нелинейных искажений, 9 — амперметр, 10 — вольтметр, 11 — источник питания

графа, используя схему, показанную на рис. 65. К выходу УЗЧ подключают осциллограф 7, который синхронизируют с питающей сетью. Если при отсутствии сигнала на входе усилителя (переключатель 2 находится в положении I), на его выходе наблюдается переменная составляющая тока (на экране осциллографа неподвижное изображение), значит, фон проникает из питающей сети. Если при замыкании входа УЗЧ с шасси фон не пропадает, это значит, что он возникает в самом усилителе.

Затем нужно выяснить, возникает ли фон из-за плохой фильтрации выпрямленного напряжения или наводится в цепях из-за плохого качества монтажа. Если параллельно выходному конденсатору выпрямителя фильтра подключить другой конденсатор большей емкости (порядка 100 мкФ), фон уменьшится или исчезнет полностью, значит фильтр неисправен. В противном случае следует производить покаскадную проверку УЗЧ.

Неустойчивость в работе УЗЧ зависит от его склонности к самовозбуждению на звуковых частотах из-за нежелательной емкости связи между радиодеталями и соединяющими их цепями. Эти связи называются *паразитными*. В некоторых случаях они бывают настолько велики, что сказываются на работе УЗЧ. Самовозбуждение в каскадах УЗЧ проявляется на высоких частотах

в виде свистов, воя, а на низких частотах — характерного моторного шума. Основными видами паразитных связей в УЗЧ являются электромеханические, емкостные и связи через общие источники питания.

Наиболее опасной, вызывающей нередко самовозбуждение устройства, является паразитная электромеханическая связь громкоговорителя с первым каскадом усилителя или микрофоном, включенным на вход усилителя, при этом частота возникающих колебаний обычно лежит в полосе средних звуковых частот. Это явление называют микрофонным эффектом. Для ослабления паразитной электромеханической связи в усилителе желательно применять усилительные элементы, не обладающие микрофонным эффектом. Усилители на транзисторах обладают незначительным микрофонным эффектом, поэтому паразитная электромеханическая связь для них не характерна. Громкоговоритель также полезно крепить к панели через резиновые амортизаторы.

Паразитные емкостные связи обусловлены наличием емкости между проводниками и деталями схемы усилителя, несущими потенциал сигнала. Через эту емкость энергия усиленного сигнала передается из выходных цепей УЗЧ на вход каскада, создавая между каскадами паразитную емкостную обратную связь. При достаточной глубине этой связи характеристики усилителя сильно искажаются, приводя его к самовозбуждению. Самовозбуждение характеризуется возникновением свистов различного тона, даже если нет сигнала на входе. Обнаружить самовозбуждение можно визуально с помощью осциллографа, на экране которого появляются хаотично перемещающиеся полосы, если нет сигнала на входе усилителя (входные зажимы закорочены).

В многокаскадном УЗЧ при питании его от одного выпрямителя могут возникнуть паразитные обратные связи через общий источник питания. На очень низких частотах (порядка единиц и десятков герц) на слух эта паразитная генерация будет проявляться в виде характерного «моторного» шума. Основным способом ослабления паразитной связи через общий источник питания является включение в цепи питания отдельных каскадов усилителя фильтрующих цепочек из конденсатора и резистора.

С помощью развязывающих фильтров, применяемых в каждом каскаде, ослабляется напряжение паразитной обратной связи, создаваемое переменными коллекторными токами транзисторов на внутреннем сопротивлении источника питания и подводимое к транзисторам вместе с питающим напряжением. Блокировочный конденсатор большой емкости создает замкнутую низкоомную цепь переменной составляющей коллекторного тока, которая при наличии конденсатора в источник питания не попадает.

## **§ 40. Настройка и регулировка УЗЧ**

Чтобы хорошо отрегулировать УЗЧ, нужно иметь ясное представление о назначении и роли всех входящих в него элементов,

понимать физические процессы, происходящие в усилителях, и уметь грамотно пользоваться измерительными приборами.

После проверки работоспособности УЗЧ покаскадно проверяют режимы усилительных элементов (транзисторов — или микросхем) по постоянному току и приступают к настройке и регулировке усилителя. Задача настройки и регулировки УЗЧ состоит в том, чтобы с помощью определенных технологических и контрольных операций, например, установления оптимальных режимов работы отдельных элементов (транзисторов, микросхем), выявления и устранения неисправностей, обеспечить выпуск усилителей, соответствующих стандарту или ТУ.

Перед началом измерений проверяют мощность, потребляемую УЗЧ при отсутствии сигнала на его входе. Для этого переключатель переводят в положение II (см. рис. 65). Мощность, потребляемая УЗЧ, определяется вольтметром  $V$  и амперметром  $A$ , включенными в цепь питания усилителя. По показаниям этих приборов определяют потребляемый ток  $I_0$  и напряжение источника питания  $U$ . Класс точности измерительных приборов должен быть не ниже 2,5. Потребляемая УЗЧ мощность рассчитывается по формуле:  $P_{\text{потр}} = I_0 U_{\text{ист.}}$

На вход УЗЧ чаще всего к соответствующим выводам разъема «Магнитофон» от звукового генератора подается номинальное напряжение сигнала на частоте 1000 Гц, соответствующее номинальной мощности в нагрузке. На выходе УЗЧ параллельно звуковой катушке громкоговорителя присоединяют измерительные приборы: электронный вольтметр 6, осциллограф 7 и измеритель нелинейных искажений 8.

Необходимо убедиться в правильности действия регуляторов усиления. Для этого регулятор громкости устанавливают в положение максимального усиления, а напряжение сигнала на входе каскада увеличивают до получения на выходе УЗЧ напряжения, соответствующего номинальной выходной мощности. Затем ручку регулятора громкости ставят в положение минимального усиления (в пределах плавной регулировки) и опять определяют выходное напряжение. Отношение обоих напряжений на выходе УЗЧ, выраженное в децибелах, характеризует глубину регулировки регулятора громкости и должно соответствовать ТУ.

Покаскадную регулировку УЗЧ начинают с оконечного каскада. В схеме, показанной на рис. 62, входной сигнал от звукового генератора через конденсатор  $C_p$  поступает на базу транзистора  $V$ . Режим каскада будет определяться напряжением источника питания  $E_k$ , постоянным напряжением смещения  $U_{бэ0}$  на базе транзистора, падения напряжения на резисторах  $R_2$  и  $R_3$  в цепи эмиттера, служащего для термостабилизации усилителя.

Налаживание такого каскада УЗЧ сводится к регулировке коллекторного тока транзистора подбором резистора  $R_2$ , при одновременном измерении напряжения  $U_{бэ0}$ , которое определяется заданным режимом транзистора. Проверку каскада на отсутствие нелинейных искажений с помощью осциллографа производят, подав



от звукового генератора номинальное напряжение сигнала на частоте 1000 Гц на вход оконечного каскада. Коэффициент усиления при этом должен быть максимальным. Если УЗЧ исправен и работает без нелинейных искажений, на экране осциллографа можно наблюдать неискаженную форму выходного сигнала.

При увеличении уровня входного сигнала на выходе будут появляться нелинейные искажения сигнала. На рис. 66 приведены осциллограммы изменения формы синусоидальной кривой сигнала

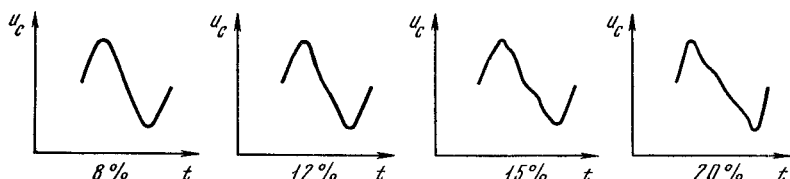


Рис. 66. Осциллограммы изменений формы синусоидальной кривой сигнала на выходе усилителя при различных величинах нелинейных искажений

на выходе УЗЧ при различных величинах нелинейных искажений (8, 12, 15 и 20%). Для наблюдения низкочастотного сигнала частота развертки осциллографа выбирается в пределах 200—500 Гц.

Если при номинальном входном сигнале каскад вносит нелинейные искажения (форма сигнала в нагрузке искажена), изменяют режим работы каскада. Изменением коллекторного тока (за счет изменения  $R_2$ , см. рис. 62) добиваются отсутствия нелинейных искажений.

Настройку двухтактных выходных каскадов начинают, подав напряжение сигнала от генератора к фазоинверсному каскаду. Предварительное налаживание двухтактного оконечного каскада УЗЧ (см. рис. 64) на транзисторах производят, подбирая идентичные транзисторы или регулируя напряжение смещения с помощью резисторов  $1-R_{13}$  и  $1-R_{14}$  в базовых цепях. Условием нормальной работы двухтактного оконечного каскада является симметрия его плеч по постоянному и переменному токам. Следует помнить, что отсутствие симметрии плеч приводит к появлению нелинейных искажений и уменьшению динамического диапазона усилителя из-за плохой компенсации фона переменного тока, помех и т. д.

Регулировка фазоинверсных каскадов (см. рис. 61) заключается в установлении одинаковых значений выходного напряжения, сдвинутых одно относительно другого на  $180^\circ$ . Это осуществляют подбором сопротивлений резисторов в цепях коллектора и эмиттера. Настройка предварительных каскадов УЗЧ заключается в обеспечении типового режима работы транзисторов подбором сопротивлений резисторов  $R_2$  и  $R_3$  (см. рис. 60).

Окончательный этап налаживания УЗЧ заключается в подборе элементов цепей отрицательной обратной связи. Если в процес-

се регулировки предварительных каскадов УЗЧ выяснится, что чувствительность усилителя излишне велика, усиление можно уменьшить введением более глубокой обратной связи.

В ряде случаев для получения наиболее приятного звучания производят коррекцию частотной характеристики на низких частотах подбором переходных конденсаторов. Номинальная емкость переходных конденсаторов должна быть достаточной, чтобы низкие частоты воспроизводились хорошо. Изменение тембра звука с помощью регулятора тембра должно быть плавным.

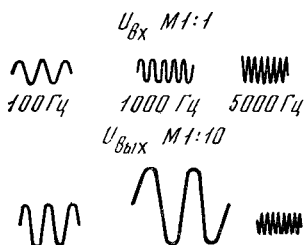


Рис. 67. Осциллограммы сигналов на входе и выходе УЗЧ в диапазоне низких, средних и высоких частот

Громкость воспроизведения при исправном регуляторе также должна плавно изменяться от максимума до минимума. Если при вращении ручек переменных резисторов (регулятора громкости и тембра) будут прослушиваться трески и шорохи, эти резисторы следует заменить. При максимальной громкости в любом положении регулятора тембра усилитель не должен самовозбуждаться.

Заключительным этапом налаживания УЗЧ является его испытание и проверка всех качественных показателей: уровня собственных шумов (фона), нелинейных искажений, номинальной выходной мощности, диапазона воспроизводимых частот и неравномерности частотной характеристики.

Убедившись в нормальной работе УЗЧ, снимают амплитудно-частотную характеристику (например, осциллографом). Если на вход УЗЧ от звукового генератора подать номинальное напряжение сигнала, на экране осциллографа можно наблюдать колебания выходного напряжения. При вращении ручки перестройки частоты генератора по диапазону звуковых частот на экране осциллографа видно, что постоянному уровню напряжений входного сигнала будут соответствовать различные уровни выходного напряжения.

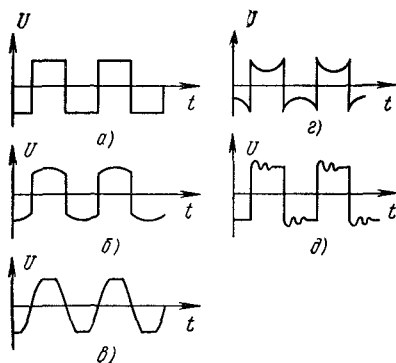


Рис. 68. Видоизменения формы прямоугольных импульсов при прохождении их через тракт УЗЧ с ограниченной полосой пропускания:

а — без искажений, б — подъем низких частот, в — быстрый спад амплитудно-частотной характеристики, г — спад низких частот, д — возбуждение усилителя

Осциллограммы сигнала на входе и выходе УЗЧ для различных звуковых частот показаны на рис. 67. По ним можно судить о зависимости коэффициента усиления от частоты, т. е. об амплитудно-частотной характеристике усилителя. Максимальное усиление

ние  $U_{\text{вых}}$  на средних частотах будет 1000 Гц, на низких — 100 Гц и ниже и высоких — 5000 Гц и выше.

В производственных условиях исправность УЗЧ часто проверяют, подавая на его вход прямоугольные импульсы определенной последовательности. Осциллограмма (рис. 68) на выходе показывает, как изменяется форма импульсов при прохождении их через УЗЧ с различной полосой пропускания.

## § 41. Методика испытаний УЗЧ

К числу основных электрических параметров УЗЧ относят: напряжение (уровень) собственных шумов, номинальное напряжение на входе и выходе усилителя, нелинейные искажения, номинальную выходную мощность, кпд, коэффициент усиления каскада, диапазон воспроизводимых частот и неравномерность частотной характеристики. Рассмотрим некоторые из них.

**Измерение напряжения собственных шумов УЗЧ.** Это напряжение определяют, измеряя электронным вольтметром напряжение на выходе УЗЧ при отключенном источнике сигнала ( $U_{\text{вх}}=0$ ) и включенном параллельно входу резисторе, сопротивление которого равно номинальному входному сопротивлению усилителя. Обычно уровень собственных шумов оценивается коэффициентом  $D$ , характеризующим отношение номинального напряжения сигнала к напряжению собственных шумов на выходе УЗЧ.

$$D = 20 \lg (U_{\text{ном. сигн}} / U_{\text{помех}}).$$

**Измерение нелинейных искажений УЗЧ.** Нелинейными искажениями называют искажения формы выходного сигнала, обусловленные нелинейностью элементов схемы УЗЧ. Основная причина появления нелинейных искажений в УЗЧ — нелинейность входных и выходных характеристик усилительных приборов, трансформаторов и других элементов аппаратуры. В результате этого в спектре частот усиливаемого сигнала появляются гармонические составляющие, частоты которых в целое число раз выше основной частоты. Наличие напряжения этих частот приводит к искажениям звука, которые растут по мере увеличения подаваемого на вход УЗЧ уровня сигнала.

При малых нелинейных искажениях изменяется тембр звучания, затрудняется раздельное восприятие голосов и звуков инструментов, при сильных искажениях появляются неприятные хрипы и дребезжание звука.

На практике нелинейные искажения оцениваются коэффициентом нелинейных искажений  $\gamma$ .

$$\gamma = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}},$$

где  $U_1$  — напряжение основной частоты на выходе УЗЧ,  $U_2, U_3, \dots, U_n$  — выходные напряжения соответствующих гармоник.

Нелинейные искажения УЗЧ можно определить с помощью специального прибора — измерителя нелинейных искажений С6-1А. Допустимая величина нелинейных искажений определяется назначением УЗЧ. В УЗЧ среднего класса для воспроизведения речи и музыки допустимый коэффициент нелинейных искажений 5—7%, чем выше класс радиоаппаратуры, тем этот коэффициент должен быть меньше. Так, например, в УЗЧ II класса он не должен превышать 2% при номинальной выходной мощности.

**Измерение номинальной выходной мощности  $P_{\text{ном}}$ .** Номинальная выходная мощность — это мощность, выраженная в ваттах, отдаваемая УЗЧ в нагрузку, при которой нелинейные искажения не превышают установленных норм.

$$P_{\text{ном}} = U_{\text{вых}}^2 / R_{\text{н}},$$

где  $U_{\text{вых}}$  — напряжение на нагрузке, В,  $R_{\text{н}}$  — полное сопротивление нагрузки, Ом.

Мощность, при которой нелинейные искажения достигают 10%, принято считать максимальной.

Номинальную мощность измеряют следующим образом. Изменяя на входе УЗЧ напряжение сигнала, подаваемого от генератора (см. рис. 65), измеряют нелинейные искажения на выходе УЗЧ прибором С6-1А. Регулятор громкости УЗЧ при этом должен быть установлен на максимальную громкость. Когда нелинейные искажения достигнут максимально допустимых значений, измеряют напряжение на выходе УЗЧ. По выходному напряжению и сопротивлению нагрузки рассчитывают номинальную выходную мощность (по вышеприведенной формуле). Значение  $P_{\text{ном}}$  определяется конструкцией и режимом работы УЗЧ.

**Определение кпд.** Для УЗЧ большой мощности важным фактором является кпд. Он определяется отношением мощности сигнала, отдаваемой УЗЧ в нагрузку  $P_{\text{ном}}$ , к суммарной мощности, потребляемой от источника питания  $P_{\text{п}}$ .

$$\eta = P_{\text{ном}} / P_{\text{п}}$$

**Измерение коэффициента усиления каскада.** Коэффициентом усиления  $K$  называют отношение выходного напряжения сигнала  $U_{\text{вых}}$  к входному  $U_{\text{вх}}$ .

$$K = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

Коэффициент усиления выражается в отвлеченных единицах. Однако удобнее коэффициент усиления выражать в логарифмических единицах — децибелах (дБ). В зависимости от назначения усилителя различают коэффициенты усиления по току  $K_I$ , напряжению  $K_U$  и мощности  $K_P$ .  $K_I = 20 \lg K_I$ ,  $K_U = 20 \lg K_U$ ,  $K_P = 10 \lg K_P$ .

В многокаскадных УЗЧ общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов:  $K_{\text{общ}} = K_1 K_2 \dots K_n$ .

Общий коэффициент усиления, выраженный в децибелах:  $K_{\text{общ}} = K_1 + K_2 + \dots + K_n$ .

Для измерения  $K$  по напряжению на вход УЗЧ подается сигнал с частотой 1000 Гц (частота устанавливается в соответствии с ТУ на усилитель). Регуляторы усиления в испытываемом УЗЧ устанавливаются в положение максимального усиления. Изменением входного напряжения добиваются на выходе УЗЧ напряжения, соответствующего нормальной мощности, т. е. 0,1 от номинальной. Имея значения входного и выходного напряжения, можно вычислить величину общего коэффициента усиления. Коэффициент усиления чаще всего определяют при двух крайних значениях регулятора громкости, что соответствует максимальному и минимальному усилению.

Ниже приводится перевод значений коэффициента усиления из относительных единиц в децибелы:

$K$ . . . . .	1,12	1,25	2,0	3,16	4,0	10	31,6	100	1000	10 000
$K$ , дБ . . . . .	1	2	6	10	12	20	30	40	60	80

Коэффициент усиления УЗЧ не может быть бесконечным. При увеличении напряжения сигнала на входе УЗЧ выходное напряжение вначале будет расти пропорционально входному, повторяя форму подаваемого на вход сигнала. При дальнейшем увеличении уровня входного сигнала выходное напряжение будет заметно искажаться. Это связано с нелинейными искажениями в усилительном тракте.

Для определения области линейного режима работы УЗЧ снимается *амплитудная характеристика*, представляющая собой зависимость выходного напряжения от входного. Обычно амплитудные характеристики УЗЧ снимаются на частоте 1000 Гц, так как в этой точке усиливаемого диапазона частот коэффициент усиления максимальный.

Для снятия амплитудной характеристики на вход УЗЧ подают напряжение различной амплитуды и измеряют выходное напряжение с помощью электронного вольтметра или градуированного осциллографа. Входное напряжение увеличивают до получения на выходе усилителя напряжения, в 1,5 раза превышающего номинальное значение, или до того момента, при котором напряжение на выходе перестанет увеличиваться. По полученным значениям строят зависимость  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ .

Амплитудная характеристика показана на рис. 69. Прямолинейная часть (участок АБ) этой характеристики представляет собой рабочий участок, соответствующий минимальным нелинейным искажениям. Загиб амплитудной характеристики (точка Б) объясняется тем, что амплитуда входного сигнала, начиная с некоторой величины, превышает значение

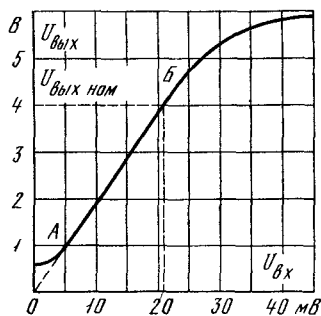


Рис. 69. Амплитудная характеристика УЗЧ

соответствующее линейному участку характеристики усилителя, т. е. за линейной частью амплитудной характеристики увеличение напряжения сигнала  $U_{вх}$  не приводит к линейному увеличению выходного напряжения  $U_{вых}$ .

После того как амплитудная характеристика УЗЧ построена, можно определить амплитуду входного напряжения, при которой

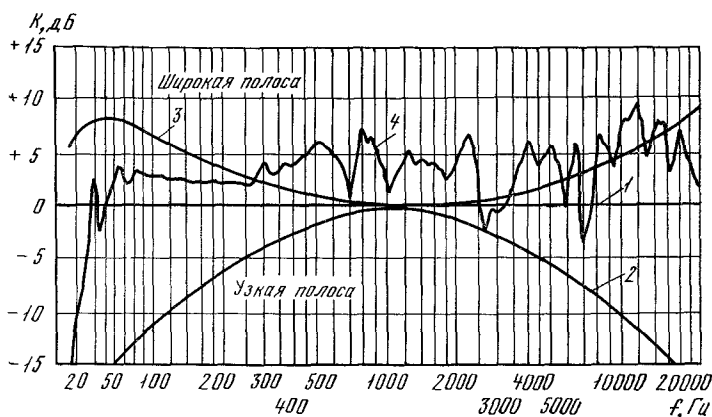


Рис. 70. Амплитудно-частотная характеристика УЗЧ при различной ширине полосы пропускания (по звуковому давлению)

следует производить измерения остальных параметров УЗЧ. Значение входного напряжения на графике будет соответствовать середине линейного участка амплитудной характеристики.

**Определение диапазона воспроизводимых частот.** Он определяется формой амплитудно-частотной характеристики УЗЧ, в пределах которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем это допустимо ТУ. Если на вход УЗЧ подавать переменное напряжение сигнала с постоянным уровнем и менять только его частоту колебаний, в идеальном случае усиленное выходное напряжение должно быть одинаковым на всех участках диапазона.

Если по оси абсцисс в логарифмическом масштабе отложить частоту, а по оси ординат — коэффициент усиления, графически такая идеальная амплитудно-частотная характеристика усилителя представляет собой прямую линию 1 (рис. 70). Однако вследствие того, что в схемах УЗЧ могут быть индуктивности обмоток трансформаторов и конденсаторы, сопротивление которых меняется при изменении частоты, в реальных условиях амплитудно-частотная характеристика во всем звуковом диапазоне частот не будет равномерной. Для оценки качества звучания УЗЧ и их сравнения снимают частотную характеристику УЗЧ при выходной мощности, значительно меньшей номинальной. Это достигается подачей на вход УЗЧ уровня сигнала в 3—10 раз ниже расчетного. Такой режим работы УЗЧ устанавливается для того, чтобы возможные за-

валы и подъемы частотной характеристики не были сглажены появлением его нелинейных искажений. Для большинства УЗЧ при воспроизведении грамзаписи входное напряжение равно 100—250 мВ, а с микрофонного входа УЗЧ — 1—2 мВ. Для снятия амплитудно-частотной характеристики УЗЧ можно использовать схему, показанную на рис. 65.

На входе УЗЧ от звукового генератора ГЗ-33 подается напряжение сигнала на частоте 1000 Гц. Регулятор громкости при этом должен находиться в крайнем правом положении, т. е. на максимуме, а регуляторы тембра — в среднем; во время снятия частотной характеристики их положения не меняют.

Поддерживая на входе УЗЧ постоянный уровень сигнала, изменяют частоту генератора в обе стороны от контрольной частоты 1000 Гц. В сторону низких частот берут контрольные точки сначала через 100, а затем через 50 и 25 Гц. В сторону высоких частот контрольные частоты берут через 2,5—5 кГц, усиление на частотах 25 Гц и 20 кГц проверяют только для высококачественных усилителей. Одновременно измеряют выходное напряжение на каждой из этих частот. По полученным результатам измерения строят амплитудно-частотную характеристику УЗЧ.

Реальная частотная характеристика УЗЧ с учетом акустических систем имеет вид кривой 4 (см. рис. 70), из которой видно, что усиление меньше на низких и высоких частотах по сравнению с усилением на средних частотах.

Допустимая величина частотных искажений зависит от назначения УЗЧ и характеризуется коэффициентом частотных искажений  $M$ . Этот коэффициент представляет собой отношение коэффициента усиления на средних частотах  $K_0$  (обычно частота берется 1000 Гц) к коэффициенту усиления на крайних частотах ( $K_H$  и  $K_B$ ) рабочего диапазона:

$$M_H = K_H/K_0; \quad M_B = K_B/K_0.$$

Амплитудно-частотная характеристика и допустимые частотные искажения определяют полосу частот УЗЧ. Например, для сетевых радиоприемников II класса полоса частот от 100 до 10 000 Гц, а УЗЧ малогабаритных транзисторных приемников — от 200 до 3500 Гц. Чем выше класс радиоприемника, тем шире полоса усиливаемых частот УЗЧ. Если усиление на каком-либо участке диапазона частот больше, чем на средних частотах, амплитудно-частотная характеристика имеет подъем.

Посмотрим, как влияет форма амплитудно-частотной характеристики на качество воспроизведения звуковых сигналов.

Частотные искажения в области высоких и низких звуковых частот субъективно воспринимаются на слух как ухудшение качества звучания: завалы на частотах 2—3 кГц и выше делают звучание тусклым, ухудшают разборчивость речи, излишнее усиление высоких частот приводит к подчеркиванию шипящих и свистящих звуков и неестественно резкому звучанию музыки, раздражающему слух. Частотные искажения в области частот 100—200 Гц и ниже

нарушают красоту тембра, а чрезмерное их усиление вызывает ощущение неприятного бубнящего звучания.

Высококачественные УЗЧ кроме регулировки громкости имеют раздельную регулировку тембра по низким и высоким частотам. Амплитудно-частотную характеристику таких УЗЧ снимают не менее трех раз. Сначала регуляторы тембра устанавливают в положение, соответствующее наибольшему завалу крайних высоких и низких частот.

Полученная амплитудно-частотная характеристика имеет вид кривой 2 (см. рис. 70) — «Узкая полоса». Затем оба резистора устанавливают в положение «Широкой полосы», т. е. УЗЧ имеет максимальное усиление на низких и высоких частотах. Амплитудно-частотная характеристика в этом случае (кривая 3) имеет подъем на низких и высоких частотах.

### Контрольные вопросы

1. Каково назначение УЗЧ и как они классифицируются?
2. Приведите и объясните структурную схему УЗЧ.
3. Перечислите и объясните основные показатели УЗЧ.
4. Что такое частотные и амплитудные искажения? Как они оцениваются?
5. Что такое нелинейные искажения? Как они оцениваются?
6. Как производится измерение основных показателей усилителей: коэффициента усиления напряжения, выходной мощности, КПД?
7. Расскажите о методике снятия частотной и амплитудной характеристик УЗЧ.
8. Перечислите причины появления фона переменного тока в УЗЧ и меры борьбы с ним.
9. Перечислите причины самовозбуждения УЗЧ и меры борьбы с ним.

## Глава IX. РЕГУЛИРОВКА И ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВ И БЛОКОВ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

### § 42. Функциональные схемы и основные характеристики радиоприемного устройства

Радиоприемные устройства выполняют по схеме прямого усиления или супергетеродинной схеме (супергетеродинные радиоприемники). Радиоприемники, в которых осуществляется усиление радиочастотного сигнала до детектора без преобразования частоты, называются радиоприемниками прямого усиления, с преобразованием частоты — супергетеродинными. Супергетеродинные радиоприемники характеризуются высокой избирательностью, большой чувствительностью, неискаженным воспроизведением принимаемого сигнала и устойчивым радиоприемом.

Функциональная электрическая схема супергетеродинного радиоприемника и формы сигналов в его цепях показаны на рис. 71. Радиоприемник состоит из входной цепи ВЦ, усилителя радиочастоты УРЧ, смесителя С, гетеродина Г, входящих в состав преобра-



зователя частоты ПЧ, усилителя промежуточной частоты УПЧ, детектора Д, усилителей звуковой частоты (УЗЧ1 и УЗЧ2).

Входная (электрическая) цепь радиоприемника ВЦ осуществляет передачу радиочастотного сигнала от антенно-фидерного устройства (антенны) к усилителю радиочастотного сигнала или смесителю радиоприемника. Эта цепь повышает избирательность ра-

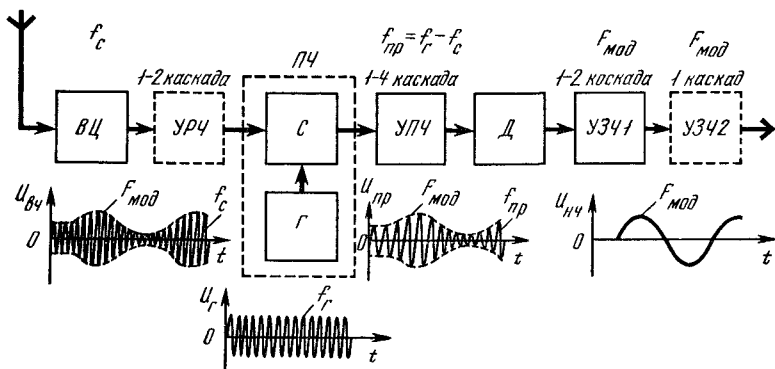


Рис. 71. Функциональная электрическая схема супергетеродинного радиоприемника и формы сигналов в его цепях

диоприема и ослабляет зеркальную и другие частоты радиопомех.

Усилитель УРЧ усиливает электрические сигналы между входной цепью радиоприемника и первым смесителем и вместе с резонансными контурами является основной частью любого радиоприемного устройства.

Принцип супергетеродинного приема заключается в преобразовании частоты принимаемого сигнала  $f_c$  в промежуточную частоту  $f_{пр}$ , на которой осуществляется основное усиление сигнала с помощью преобразователя ПЧ.

Входные цепи, каскады УРЧ и преобразователь частоты ПЧ составляют радиочастотный тракт приемника.

Транзисторный преобразователь с отдельным гетеродином приведен на рис. 72. В цепь эмиттера смесительного транзистора V1 включена цепь контурной катушки L2 гетеродина. Напряжение гетеродина включается между базой и эмиттером. Сигнал поступает на базу V1 с части контура C1L1. Резисторы R1 и R2 обеспечивают режим смесителя по постоянному току. Гетеродин собран на транзисторе V2.

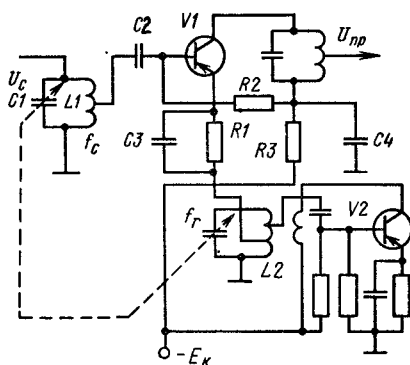


Рис. 72. Принципиальная электрическая схема преобразователя частоты радиоприемника с отдельным гетеродином

Гетеродин, применяемый в преобразователе частоты, должен обладать достаточной стабильностью частоты, постоянной в диапазоне частот амплитудой напряжения гармоник. В схеме с внешним гетеродином напряжение сигнала подается в цепь базы, а напряжение гетеродина — в цепь эмиттера. Это обеспечивает высокую стабильность схемы.

Микроминиатюризация радиоприемной аппаратуры позволяет широко применять гибридные и полупроводниковые микросхемы и микросборки, в частности — балансные схемы с перекрестными связями, которые обладают достаточной стабильностью и высоким коэффициентом усиления. Настройка такого устройства сводится к простым операциям по сопряжению входных и выходных цепей узла.

Кроме смесителя и гетеродина в состав преобразователя входят колебательные контуры, выделяющие колебания промежуточной частоты на выходе смесителя. Промежуточная частота образуется в результате подачи на смеситель одновременно напряжения частоты принимаемого сигнала и напряжения частоты гетеродина. Если обозначить частоту колебаний гетеродина  $f_{\text{г}}$ , при частоте сигнала  $f_{\text{с}}$  промежуточная частота может быть  $f_{\text{пр}} = f_{\text{г}} - f_{\text{с1}}$  (при  $f_{\text{г}}$  выше  $f_{\text{с}}$ ) или  $f_{\text{пр}} = f_{\text{с2}} - f_{\text{г}}$  (при  $f_{\text{г}}$  ниже  $f_{\text{с}}$ ).

Процесс преобразования одинаково эффективен для двух частот сигнала  $f_{\text{с1}} = f_{\text{г}} - f_{\text{пр}}$  и  $f_{\text{с2}} = f_{\text{г}} + f_{\text{пр}}$ , расположенных симметрично относительно частоты гетеродина и отличающихся по частоте  $2f_{\text{пр}}$ . Оба эти сигнала в результате преобразования дадут промежуточную частоту, причем один из них является полезным, а другой — мешающим, или зеркальной частотой. Для выделения полезного сигнала от сигнала зеркальной частоты и сигналов радиостанций, работающих на промежуточной частоте, в супергетеродинном приемнике до преобразователя включается входное устройство, а в некоторых приемниках — УРЧ с резонансными контурами, настроенными на частоту принимаемого сигнала. Специальные радиоприемники могут иметь два преобразователя частоты и соответственно две промежуточные частоты.

Основная избирательность полезного сигнала от сигналов соседних мешающих радиостанций осуществляется в супергетеродинном приемнике на промежуточной частоте, которая остается неизменной и, следовательно, определяется параметрами колебательных контуров тракта усиления сигналов промежуточной частоты. Это повышает качественные показатели приемника и позволяет сделать их независимыми от частоты настройки.

Напряжение промежуточной частоты, усиленное до необходимого уровня, детектируется, а полученное при этом напряжение звуковой частоты после усиления в усилителе подается на громкоговоритель или другое воспроизводящее устройство в зависимости от типа радиоприемника.

К основным электрическим показателям радиоприемного устройства относятся избирательность, полоса пропускания, чувствительность, качество воспроизведения, диапазон рабочих частот.

Избирательность — способность радиоприемника, отличать полезный радиосигнал от радиопомех по определенным признакам, свойственным радиоприему.

Количественно избирательность  $\sigma$  оценивается как относительное ослабление сигналов мешающих радиостанций, работающих на разных частотах, по отношению к сигналам принимаемой радиостанции.

$$\sigma = K_{\text{сигн}}/K_{\text{п}},$$

где  $K_{\text{сигн}}$  — максимальный коэффициент усиления приемника для колебаний полезного сигнала;  $K_{\text{п}}$  — коэффициент усиления для колебаний частоты помех.

Полоса пропускания радиоприемника  $P$  — полоса частот, на границах которой коэффициент усиления радиоприемника от входа до детектора уменьшается по отношению к наибольшей величине в установленное число раз. Частотные характеристики входной цепи УРЧ, УПЧ и радиоприемника приведены на рис. 73, а, б. Для амплитудно-модулированных сигналов  $P \cong 2F_{\text{в}}$ , где  $F_{\text{в}}$  — верхняя звуковая частота модулирующего сигнала; для частотно-модулированных (ЧМ) сигналов  $P \cong 2\Delta f_m + 2F_{\text{в}}$ , где  $\Delta f_m$  — девиация частоты.

Чем шире полоса пропускания по сравнению с требуемой, тем хуже качество приема, так как приемник одновременно с полезным сигналом усиливает сигналы мешающих станций, попадающих в его полосу пропускания. Требуемая полоса пропускания в основном определяется резонансными системами тракта усиления колебаний промежуточной частоты. Качество воспроизведения характеризуется степенью искажений принимаемых сигналов.

Для нормальной работы детектора необходимо обеспечить на его входе достаточно большой уровень сигнала. Для усиления слабых сигналов, наводимых в антенне и выделенных входными цепями приемника, применяя каскады УРЧ.

Чувствительность — это способность радиоприемника обеспечивать прием слабых радиосигналов.

Количественно чувствительность определяется тем минимальным напряжением сигнала (или мощностью) на входе приемника, при котором на его выходе обеспечивается получение заданного ТУ напряжения

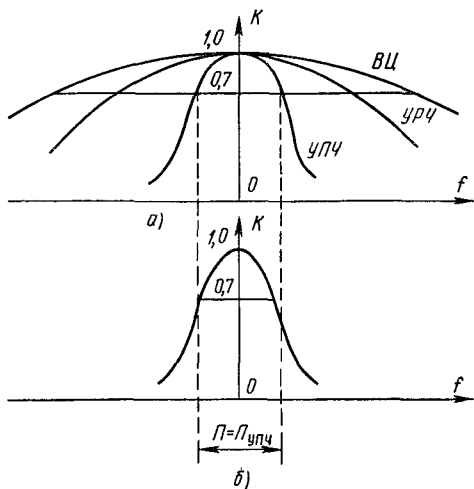


Рис. 73. Частотные характеристики трактов радиоприемника

(мощности). Чувствительность ограничивается входящими в состав приемника УРЧ, УПЧ и УЗЧ и выражается в микровольтах. Для приемников дециметровых и сантиметровых волн чувствительность оценивают в микроваттах. Так как в указанных диапазонах волн основным источником помех являются собственные шумы схемы, введено понятие реальной чувствительности радиоприемника, т. е. чувствительности, ограниченной шумами схемы.

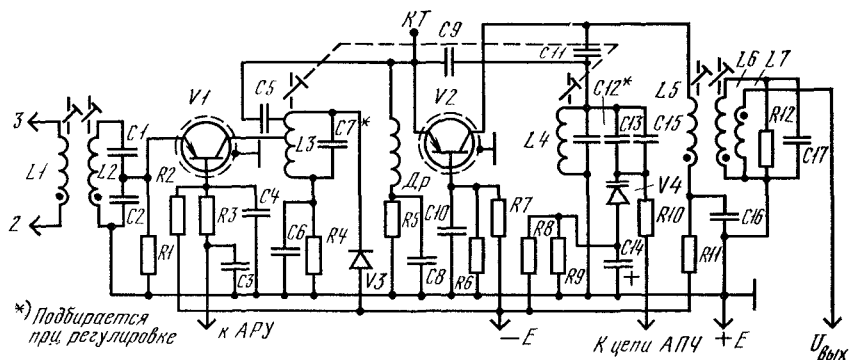


Рис. 74. Принципиальная схема блока УКВ-ЧМ супергетеродинного приемника

Чем выше коэффициент шума приемника, тем меньше его реальная чувствительность.

Радиоприемники характеризуются также диапазоном рабочих частот, выходной и потребляемой мощностью.

На рис. 74 приведена схема радиоприемника с УКВ-ЧМ блоком, который состоит из усилителя и преобразователя. Усилитель выполнен на транзисторе  $V1$ , нагрузкой которого является контур  $L3C7$ . На входе усилителя включен входной контур  $L2C1C2$ , настроенный на среднюю частоту УКВ диапазона. На базу транзистора  $V1$  с резистора  $R3$  подается управляющее напряжение автоматической регулировки усиления.

На этой же схеме показан преобразователь частоты с совмещенным гетеродином на транзисторе  $V2$ . Контур гетеродина образуется индуктивностью катушки  $L4$ , емкостями конденсаторов  $C12$ ,  $C13$ ,  $C15$  и варикапа  $V4$ , входящего в систему автоматической подстройки частоты гетеродина. Нагрузкой преобразователя является полосовой фильтр, образованный индуктивностью  $L6$  и конденсатором  $C17$ . Настройка контура гетеродина и контура УРЧ на принимаемую станцию производится одновременно элементами настройки (сердечниками катушек) путем изменения индуктивностей  $L3$  и  $L4$ . Для ослабления помех по промежуточной частоте на выходе усилителя радиочастоты включен последовательный контур, состоящий из индуктивности дросселя  $Др$  и емкости конденсатора  $C8$ , настроенный на промежуточную частоту и представляю-

ший для токов промежуточной частоты сравнительно малое сопротивление.

Прежде чем приступить к регулировке, необходимо проверить правильность сборки и монтажа усилителя и соответствие его монтажной схеме. По технологическим картам напряжений и сопротивлений (или по принципиальной схеме) проверяют режимы работы транзисторов (или ламп) по постоянному току, работоспособность каскада в целом — по наличию напряжения сигнала на выходе усилителя при подаче на вход номинального напряжения сигнала. Режим по постоянному току обеспечивается подбором сопротивлений смещения и эмиттерной стабилизации режима.

В процессе проверки следует убедиться в отсутствии самовозбуждения усилителя. Обнаружить самовозбуждающийся каскад можно по показаниям электронного вольтметра, включенного на выходе усилителя. Для этой цели в схеме имеется контрольное гнездо  $KT$ . При отсутствии напряжения сигнала на входе усилителя ( $U_{вх}=0$ ) стрелка индикатора должна быть на нуле. Если индикатор показывает переменное напряжение, значит, усилитель самовозбуждается. Устраняют самовозбуждение экранированием высокочастотных цепей. Для этого включают фильтрующие схемы  $R_{\phi}C_{\phi}$  в коллекторные цепи транзисторов, вводят схемы температурной стабилизации режима работы транзисторов, изменяют коэффициент усиления каскадов и т. д.

Устранив самовозбуждение усилителя, можно приступить к его регулировке, которая заключается в обеспечении заданных электрических показателей (требуемого коэффициента усиления и необходимой формы амплитудно-частотной характеристики, обеспечивающей минимальные частотные искажения). Для настройки и регулировки блока УКВ-ЧМ собирается схема, показанная на рис. 75. Вход блока радиовещательного приемника (точки 2 и 3 на рис. 75) через эквивалент антенны (рис. 76) подключается к выходу генератора Г4-6, а выход усилителя (гнездо  $KT$  на рис. 74 и 75) — к электронному вольтметру ВЗ-14.

Порядок настройки усилителя следующий. Подключают электропитание к блоку УКВ-ЧМ (гнезда 4 и 6 на рис. 75). По шкале генератора Г4-6 устанавливают частоту 74 МГц, соответствующую верхней граничной частоте диапазона УКВ-ЧМ (с запасом), а на-

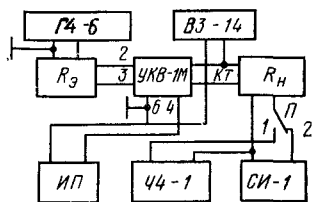


Рис. 75. Функциональная схема настройки и регулировки блока УРЧ

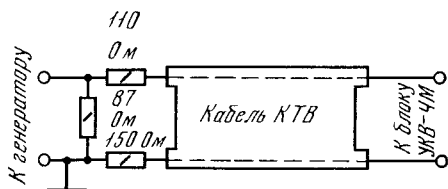


Рис. 76. Схема эквивалента антенны радиовещательного приемника УКВ-ЧМ диапазона

пряжение сигнала на входе — 10—30 мВ. Элементами настройки контуров сигнала  $L3$  и гетеродина  $L4$  (см. рис. 74) настраивают блок на эту частоту. Точность настройки отмечается по максимальному показанию вольтметра ВЗ-14.

Подбирая емкость конденсатора  $C7$ , добиваются точной настройки контура УРЧ на частоту генератора по максимуму показаний вольтметра ВЗ-14, при этом уровень сигнала на выходе генератора должен быть уменьшен до 1—3 мВ. Затем по шкале генератора Г4-6 устанавливают частоту в пределах 64,3—65,3 МГц, соответствующую нижней граничной частоте диапазона УКВ-ЧМ, и указанным выше способом настраивают усилитель на эту частоту.

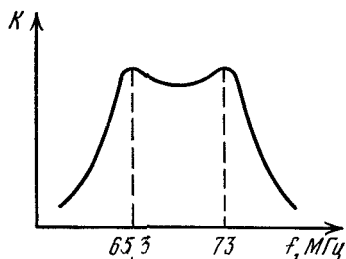


Рис. 77. Амплитудно-частотная характеристика тракта радиочастоты блока УКВ-ЧМ

На рис. 77 представлена амплитудно-частотная характеристика тракта радиочастоты блока УКВ-ЧМ приемника.

Настройку высокочастотного блока приемника ЧМ сигналов можно также производить генератором качающейся частоты (ГКЧ). В этом случае характеристику, представленную на рис. 77, можно непосредственно наблюдать на экране осциллографа.

### § 43. Настройка и регулировка УРЧ

Усилители радиочастоты (УРЧ) бывают аperiodические и резонансные (избирательные). Аperiodический усилитель является резистивным и имеет широкую полосу пропускания. Наибольшее применение получили резонансные усилители. От резонансного усилителя требуются: наибольшее усиление напряжения или мощности на частоте принимаемого сигнала; избирательность по зеркальному каналу и ослабление сигнала радиостанции, работающей на промежуточной частоте данного приемника; перекрытие заданного диапазона частот; наибольший устойчивый коэффициент усиления и минимальный коэффициент шума.

На рис. 78, а показана схема резонансного УРЧ с автотрансформаторным включением контура в цепь коллектора и трансформаторным выходом, а на рис. 78, б — схема УРЧ, выполненная на микросхеме К174ХА2. Такие схемы используют в радиовещательных супергетеродинных приемниках I—III классов с амплитудной модуляцией. Микросхема К17ХА2 содержит УРЧ 1, гетеродин 2, смеситель 3, УПЧ 4 и два операционных усилителя АРУ-УРЧ 5 и 6.

Обычно в УРЧ применяют высокочастотные пентоды с переменной крутизной, высокочастотные транзисторы и интегральные микросхемы. Для усиления сверхвысоких частот (в дециметровом и

сантиметровом диапазоне волн) в усилителях используют специальные СВЧ триоды, лампы бегущей волны, а также туннельные диоды.

В УРЧ в качестве колебательных контуров применяют одиночные контуры, так как двухконтурные полосовые фильтры требуют усложнения конструкции диапазонного конденсатора.

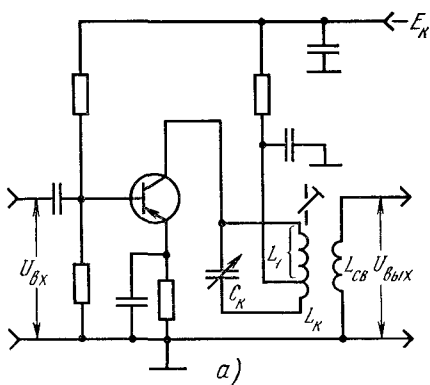
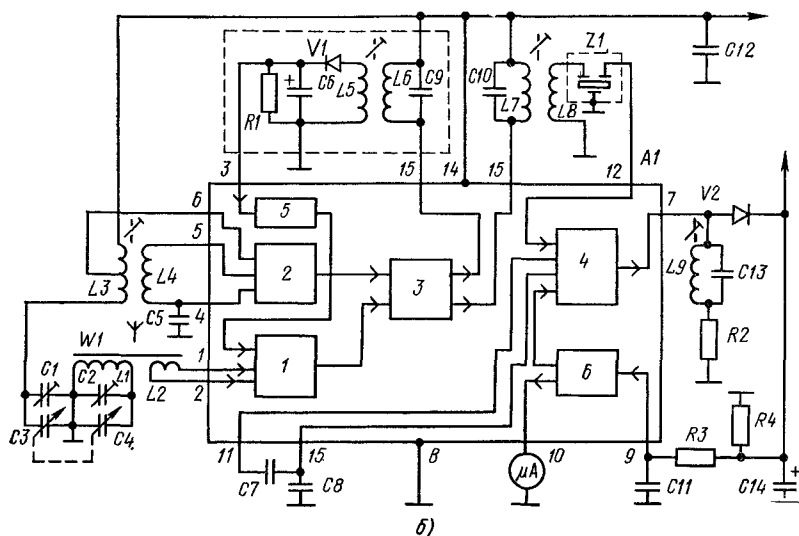


Рис 78 Схемы усилителей радиочастоты:  
а — на транзисторе, б — на микросхеме



Совокупность входной цепи и УРЧ в любом супергетеродинном приемнике называют *преселектором*. Преселектор осуществляет предварительную избирательность принимаемых сигналов и ослабление сигналов мешающих станций.

Усиление УРЧ на резонансной частоте зависит от параметров ламп, транзисторов и интегральных микросхем, режимов их работы и эквивалентного сопротивления колебательного контура, являющегося нагрузкой каскада.

Для ламповой схемы усилителя с одиночным колебательным контуром резонансный коэффициент усиления

$$K_r = SR_a,$$

где  $S$  — крутизна характеристики анодного тока лампы,  $R_a = \rho Q_a$  — эквивалентное сопротивление контура,  $\rho = \sqrt{L_k/C_k}$  — характеристическое сопротивление контура,  $Q_a$  — эквивалентная добротность контура.

В транзисторной схеме на величину резонансного коэффициента усиления  $K_0$  также влияет связь транзистора с контуром. Коэффициенты включения для данной схемы,  $P_k = L_1/L_k$  и  $P_6 = L_{св}/L_k$ ;  $K_0 = S_k R_a P_k P_6$ , где  $P_k$  — коэффициент включения со стороны коллектора транзистора рассматриваемого каскада,  $P_6$  — коэффициент включения со стороны базы транзистора следующего каскада,  $S_k$  — крутизна характеристики транзистора на частоте усиливаемого сигнала. На практике коэффициент усиления каскада УРЧ на транзисторе обычно бывает от 5 до 15.

При неполном включении транзисторов в контур шунтирующее действие его входного и выходного сопротивлений уменьшается, следовательно, добротность контура, а также избирательность по зеркальному каналу возрастают. В усилителях радиочастоты используют транзисторы, у которых граничная частота значительно выше частоты усиливаемого сигнала.

Величина резонансного коэффициента усиления каскада также зависит от частоты настройки контура, так как с ее ростом при емкостной настройке увеличивается характеристическое сопротивление контура  $\rho = \omega L_k$ .

Амплитудно-частотные характеристики УРЧ для различных диапазонов волн приведены на рис. 79. Там же

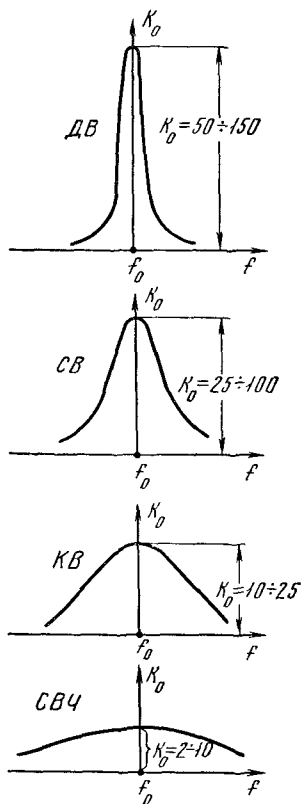


Рис. 79. Амплитудно-частотные характеристики УРЧ для различных диапазонов волн

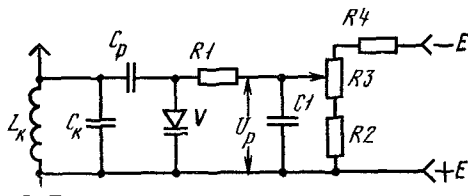


Рис. 80. Принципиальная схема электронной настройки контура варикапом



указаны ориентировочные величины резонансного коэффициента усиления  $K_0$  для каждого диапазона.

Последние достижения электронной техники позволяют исключить из схемы приемника конденсатор переменной емкости, заменив его специальным полупроводниковым диодом — варикапом. Варикап представляет собой полупроводниковый диод, используемый при обратной полярности приложенного к нему напряжения в качестве емкости. Емкость варикапа зависит от приложенного к нему напряжения. Управление емкостью варикапа путем изменения подаваемого на него напряжения позволяет использовать его в качестве конденсатора переменной емкости с электронным управлением. Это дало возможность создать полностью автоматизированные радиоприемники с электронной перестройкой по диапазону волн.

Принципиальная схема электронной настройки контура варикапом показана на рис. 80. К контуру  $L_k C_k$  через разделительный конденсатор  $C_p$  параллельно включен варикап  $V$ . Резонансная частота контура в данном случае зависит не только от емкости конденсатора  $C_k$ , но и от емкости варикапа, для изменения которой, а следовательно, и частоты контура, к варикапу подводится управляющее напряжение  $U_p$ . В контур это напряжение не попадает из-за разделительного конденсатора  $C_p$ . Емкость конденсатора  $C_p$  сравнительно большая, поэтому его сопротивление переменному току высокой частоты мало, так что варикап оказывается включен параллельно конденсатору контура  $C_k$ . Для устранения шунтирования контура источником питания резистор  $R_I$  имеет большое сопротивление.

Поскольку изменение емкости варикапа достигается только изменением управляющего напряжения, отпадает необходимость в применении конденсаторов переменной емкости, а при дистанционном управлении при перестройке частоты приемника — и в различных электромоторах, переключателях и др. Это позволяет создавать радиоприемники малогабаритными, высоконадежными и удобными в управлении.

Радиочастотный тракт радиоприемника состоит из входных цепей, каскадов УРЧ и преобразователя частоты. Параметры радиочастотного тракта зависят от точности настройки и сопряжения резонансных контуров, входящих в тракт высокочастотных цепей. Поскольку блок УРЧ нельзя окончательно настроить вне радиоприемника, рассмотрим порядок предварительной его настройки, которую можно осуществить по схеме рис. 81.

Предварительная настройка блока УРЧ производится по всем диапазонам приемника. Перво-

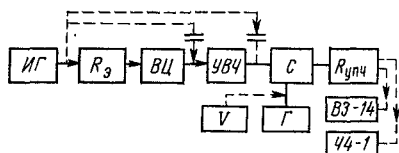


Рис. 81. Функциональная схема регулятора УРЧ:

ИГ — измерительный генератор,  $R_z$  — эквивалент антенны, ВЦ — входная цепь, УВЧ — усилитель высокой частоты, С — смеситель,  $R_{упч}$  — эквивалент тракта ПЧ, V — вольтметр, Г — гетеродин, У4-1 — частотомер, ВЗ-14 — выходной вольтметр

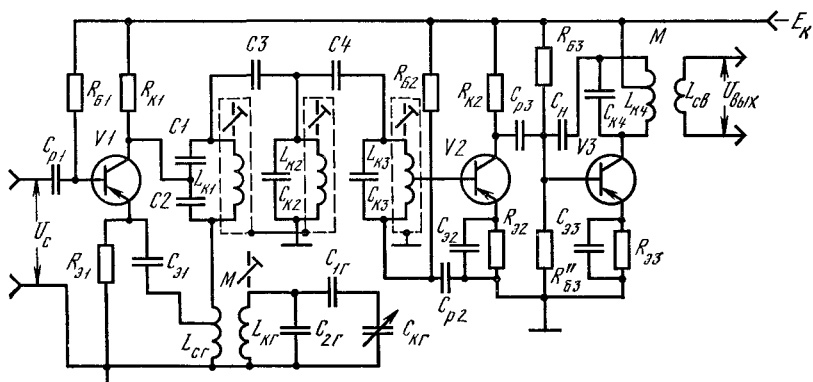
начально на вход УРЧ через эквивалент антенны  $R_0$  от генератора стандартных сигналов подается уровень сигнала соответствующей крайней частоты и с помощью регулировочных элементов (подстроечных конденсаторов) УРЧ добиваются максимального показания электронного вольтметра. То же повторяется на нижней точке сопряжения диапазона частот с помощью сердечников соответствующих катушек.

## § 44. Настройка и регулировка УПЧ

Усилители промежуточной частоты (УПЧ) предназначены для получения постоянного усиления в заданной полосе частот. Иначе такие усилители называются полосовыми. Усилители УПЧ можно классифицировать по типу усилительных приборов (транзисторные, ламповые, на микросхемах), способу их включения (с общей базой, общим коллектором, общим эмиттером), ширине полосы пропускания (широкополосные и узкополосные), виду нагрузки (с одиночными контурами, полосовыми и многозвенными фильтрами). В зависимости от назначения радиоприемника и требований, предъявляемых к нему, может быть от одного до нескольких каскадов УПЧ. Для магистральных радиоприемников число каскадов УПЧ может быть 10 и более.

В транзисторных вещательных радиоприемниках каскады УПЧ часто выполняют аperiодическими (для обеспечения требуемого усиления и, следовательно, заданной чувствительности) или с одиночными колебательными контурами, имеющими низкую добротность и не влияющими на полосу пропускания приемника. Это объясняется тем, что вся избирательность обычно сосредоточена в преобразователе частоты, нагрузкой которого является многозвенный фильтр (ФСС, пьезокерамический или кварцевый).

Схема преобразователя частоты с совмещенным гетеродином на транзисторе  $V1$ , нагрузкой которого является трехзвенный



фильтр сосредоточенной селекции ( $L_{K1}C_{K2}$ ,  $L_{K2}C_{K2}$ ,  $L_{K3}C_{K3}$ ), показана на рис. 82. На этой же схеме даны два каскада усилителя промежуточной частоты: аperiodический на транзисторе  $V2$  и широкополосный резонансный (контур  $L_{K4}C_{K4}$ ) на транзисторе  $V3$ .

Многозвенные полосовые фильтры обеспечивают высокую избирательность при минимальных частотных искажениях и стабильность формы характеристики радиоприемника при изменении условий его работы (например, температуры окружающей среды или смене транзисторов).

Отечественная промышленность выпускает пьезокерамические фильтры, используемые как элементы частотной селекции в супергетеродинных радиоприемниках всех классов. В сочетании с современными интегральными схемами они позволяют создать малогабаритные, простые в настройке устройства с хорошими электрическими параметрами. Новые пьезокерамические фильтры ФП1П-049а и ФП1П-049б имеют следующие технические параметры соответственно: ширина полосы пропускания 150—200 кГц и 250—280 кГц, средняя частота 10,7 МГц, вносимое затухание не более 10 дБ, интервал рабочих температур от  $-25$  до  $+50^\circ\text{C}$ .

Фильтры имеют малые габариты ( $18 \times 16 \times 6$  мм) и массу (10 г). Амплитудно-частотная характеристика фильтра приведена на рис. 83, а, а схема включения — на рис. 83, б.

К современным радиоприемникам предъявляют очень высокие требования чувствительности и избирательности по соседнему каналу, поэтому для их повышения при малых частотных искажениях часто используют многоконтурные фильтры сосредоточенной селекции с переменной полосой пропускания. Минимальную полосу пропускания выбирают равной 3—4 кГц, а максимальную — 10—14 кГц. Такую регулировку обычно осуществляют одновременно с регулировкой полосы пропускания в усилителе звуковой частоты.

В лучших моделях промышленных радиоприемников «Романтика-001-стерео», «Виктория-003-стерео», «Мелодия-105-стерео» избирательность в узкой полосе (при расстройке  $\pm 10$  кГц) составляет 70—80 дБ и более. По ГОСТу ослабление радиосигналов соседней по частоте радиостанции у приемников высшего класса должно быть не менее чем на 60 дБ (в 1000 раз), I класса — на 46, II класса — на 34 и III класса — на 26 дБ.

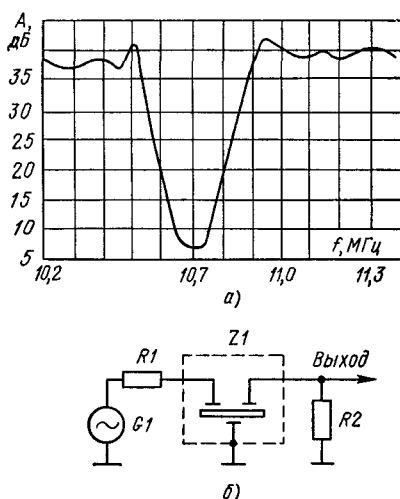


Рис. 83. Амплитудно-частотная характеристика (а) и схема включения (б) пьезокерамического фильтра

Настройка и регулировка усилителей УПЧ в основном сводится к выбору оптимального режима работы усилительных элементов (микросхем, транзисторов и радиоламп) и настройке входящих в усилитель контуров или полосовых фильтров. Закончив сборку и монтаж усилителя УПЧ (или его ремонт), приступают к электрической проверке режимов работы микросхем, транзисторов (или радиоламп) по постоянному току (по технологическим картам или принципиальной схеме). Напряжение цепей измеряют вольтметром постоянного напряжения со шкалой 3 и 10 В (класс точности не ниже 2,5%, входное сопротивление прибора не менее 10 МОм). Результаты измерения заносят в таблицу.

В транзисторных УПЧ могут наблюдаться внешние и внутренние паразитные обратные связи. К внешним относятся индуктивная и емкостная связь между деталями усилителя и монтажными проводниками и связь за счет общих цепей питания и регулировки, к внутренним — связи через обратную проходную проводимость транзисторов.

Внутренняя обратная связь в УПЧ приводит к изменению качественных показателей усилителя: коэффициента усиления, полосы пропускания и др. Эти связи могут вызвать самовозбуждение каскадов УПЧ, которое проявляется в виде шумов, свистов и прерывистой генерации, сопровождающих прием вещательных станций. Самовозбуждение в тракте УПЧ можно также обнаружить по отклонению стрелки индикатора вольтметра, включенного на выходе усилителя УПЧ при отсутствии напряжения сигнала на его входе.

Внешние обратные связи могут быть устранены или сильно ослаблены экранированием, рациональным расположением деталей и соединительных проводников, с помощью развязывающих фильтров, включаемых в цепи питания отдельных каскадов.

Основными способами повышения устойчивости работы каскадов УПЧ являются включение в коллекторные цепи транзисторов антипаразитных резисторов (с сопротивлением 50—200 Ом) и уменьшение коэффициента трансформации при включении транзисторов в контуры и др. При использовании пьезокерамических фильтров остаточное (вне полосы пропускания фильтров) затухание составляет 35 дБ, поэтому для подавления помех, частоты которых далеки от полосы пропускания, эти фильтры рекомендуются использовать совместно с LC-контурами.

Величина устойчивого коэффициента усиления каскада УПЧ определяется выражением

$$K_y = 6,3 \sqrt{S/f_{\text{пр}} C_k},$$

где  $S$  — крутизна характеристики транзистора,  $f_{\text{пр}}$  — промежуточная частота,  $C_k$  — емкость коллекторного перехода.

При нескольких каскадах УПЧ коэффициент 6,3 должен быть уменьшен тем больше, чем больше каскадов.

Устойчивый коэффициент усиления всегда должен быть больше резонансного коэффициента усиления каскада

$$K_0 = SRK_{\Phi} m_1 m_2,$$

где  $R$  — характеристическое сопротивление многозвенного фильтра,  $K_{\Phi}$  — коэффициент передачи фильтра,  $m_1$  и  $m_2$  — коэффициенты включения транзисторов в крайние звенья фильтра.

Если  $K_0 > K_y$ , может возникнуть самовозбуждение каскада и измениться форма амплитудно-частотной характеристики приемника и его электрические показатели (чувствительность, избирательность и др.).

После электрической проверки режимов и устранения самовозбуждения приступают к общей проверке работоспособности усилителя, настройке и регулировке полосовых фильтров. Настройку катушек индуктивности полосовых фильтров радиоприемников производят с помощью ферритовых сердечников, в редких случаях посредством подстроечных конденсаторов.

Настройку и регулировку полосовых усилителей производят при отключенных АРУ и гетеродине. В многокаскадных полосовых усилителях проверку работоспособности тракта усиления производят в такой последовательности: от последнего каскада к первому при подаче сигнала промежуточной частоты от сигнал-генератора на вход регулируемого каскада. Измеряют напряжение сигнала на выходе регулируемого каскада электронным вольтметром.

#### **§ 45. Настройка и регулировка амплитудного и частотного детекторов**

Для выделения модулирующего напряжения звуковой частоты из АМ или ЧМ радиосигнала служат амплитудные и частотные детекторы, которые подключают к выходу УПЧ. Детектор, напряжение на выходе которого определяется амплитудой входного сигнала, называется *амплитудным*.

Амплитудные детекторы применяют для детектирования амплитудно-модулированных или немодулированных колебаний. Такие колебания могут быть непрерывными или импульсными. Основными элементами амплитудного детектора являются: нелинейный элемент (диод или транзистор) и нагрузка (резистор и конденсатор), на которой выделяется напряжение полезного сигнала.

К амплитудным детекторам предъявляют следующие основные требования:

максимальный коэффициент передачи по напряжению  $K_{\Pi}$ , определяемый отношением амплитуды напряжения сигнала на нагрузке детектора к амплитуде напряжений несущей частоты входного сигнала;

минимальные нелинейные, частотные и фазовые искажения;

максимальное входное сопротивление  $R_{вх}$  детектора.

Принципиальная схема амплитудного диодного детектора радиоприемника показана на рис. 84. Амплитудно-модулированный



противление детектора и ослабить его влияние на контур УПЧ. Емкость  $C1$  должна иметь малое сопротивление для переменной составляющей тока промежуточной частоты и большое для токов звуковой частоты.

Регулировка диодного детектора сводится к правильному выбору режима работы диода и сопротивлений резисторов нагрузки  $R1$  и  $R2$ , обеспечивающих максимальный коэффициент передачи и отсутствие нелинейных искажений в выходном сигнале. Последние могут быть определены с помощью осциллографа или измерителя нелинейных искажений, подключенных к нагрузке детектора. Емкость нагрузки также влияет на форму выходного напряжения сигнала.

Детектор, напряжение на выходе которого определяется отклонением мгновенной частоты входного сигнала от среднего значения называется *частотным*.

Частотные детекторы применяют для детектирования частотно-модулированных колебаний. В транзисторных радиоприемниках широкое применение получили дробные частотные детекторы (детекторы отношений) и дискриминаторы с двумя связанными контурами.

К частотным детекторам предъявляют следующие основные требования: возможно большая линейная зависимость выходного напряжения от изменения частоты входного сигнала частотного детектора; возможно больший коэффициент передачи по напряжению  $K_V$ ; минимальная зависимость выходного напряжения от колебаний амплитуды радиосигнала на входе детектора (от паразитной амплитудной модуляции ЧМ-сигнала).

Принципиальная схема дробного частотного детектора с симметричным заземлением нагрузки (резисторы  $R14$  и  $R15$ ) относи-

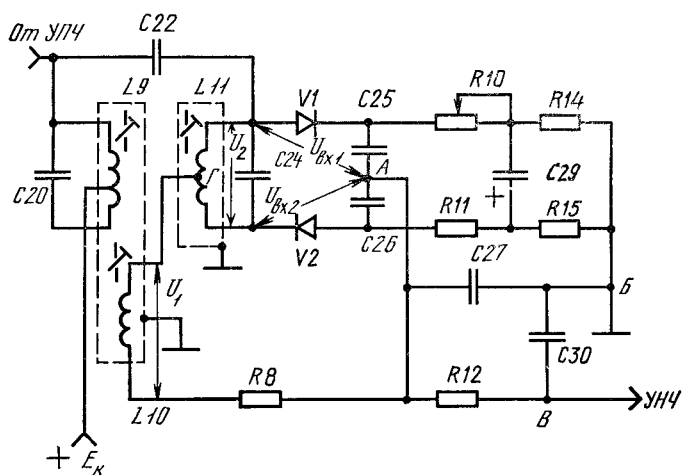


Рис. 85. Принципиальная схема дробного частотного детектора

тельно диодов  $V1$  и  $V2$  приведена на рис. 85. Напряжения  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$  на каждом из диодов детектора представляют собой сумму половины напряжения  $U_2$  на контуре  $L11$  и  $C24$  и напряжения  $U_1$  на дополнительной катушке индуктивности  $L10$ , которая индуктивно связана с катушкой  $L9$  контура УПЧ. Соответствующим подбором числа витков катушки  $L10$  и связи между контурами  $L9$  и  $L11$  можно получить такое напряжение на входе диодов, при котором достигается наилучшее подавление паразитной амплитудной модуляции, что позволяет использовать дробные частотные детекторы без предварительного ограничения амплитуды входного сигнала.

Параллельно нагрузке включен конденсатор  $C29$  емкостью  $5,0$  мкФ. Емкость этого конденсатора и сопротивление нагрузки выбирают из такого расчета, чтобы постоянная времени  $\tau = C29R$  была значительно больше периода самой низкой звуковой частоты. Напряжение звуковой частоты снимается с точки соединения конденсаторов  $C25$  и  $C26$  (точка  $A$ ) и поступает на усилитель УЗЧ. Резистор  $R12$  и конденсатор  $C30$  составляют фильтр верхних частот.

Настройка и регулировка дробного частотного детектора заключается в настройке его контуров на промежуточную частоту и подборе связи между контурами. Настройку частотного детектора удобно осуществлять с помощью специальных генераторов качающейся частоты Х1-7 (свип — генератор). Для настройки частотного детектора высокочастотный выход генератора подключают к входу ведущего каскада УПЧ-детектора через конденсатор емкостью  $0,01—0,05$  мкФ, а низкочастотный выход прибора — через резистор  $30—50$  кОм к точке  $B$  схемы. Подав на вход усилителя напряжение промежуточной частоты  $f_{п} = 6,5$  МГц (или  $10,7$  МГц), настраивают контуры  $L9$ ,  $C20$  и  $L11$ ,  $C24$  вращением ферритовых сердечников катушек.

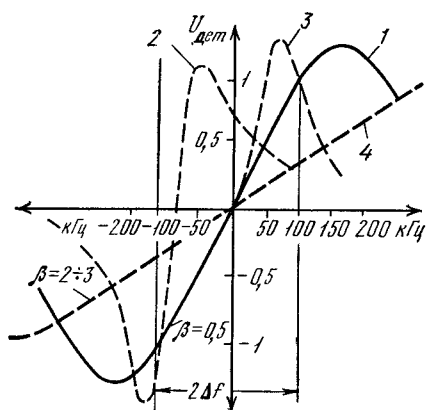


Рис. 86. Характеристики частотного детектора при различных параметрах схемы

Вращением ручек прибора «Усиление», «Средняя частота», «Масштаб», «Ослабление» необходимо получить на его экране удобную для наблюдения частотную характеристику. Ручку «Выходное напряжение» устанавливают в положение, исключающее ограничение сигнала. Форма частотной характеристики у правильно настроенного детектора должна иметь вид кривой 1 (рис. 86).

Если форма частотной ха-



характеристики иная (кривая 2 или 3), ее можно подрегулировать сердечниками катушек  $L9$ ,  $L10$  и  $L11$  (см. рис. 85). Искажение характеристики детектора при неправильной настройке вторичного (кривая 2) и первичного контуров (кривая 3) показано на рис. 86.

Дальнейшую настройку частотного детектора осуществляют генератором стандартных сигналов Г4-1 и электронным вольтметром. Генератор Г4-1 подключают на вход ведущего каскада детектора. Электронный вольтметр со шкалой, измеряющей постоянное

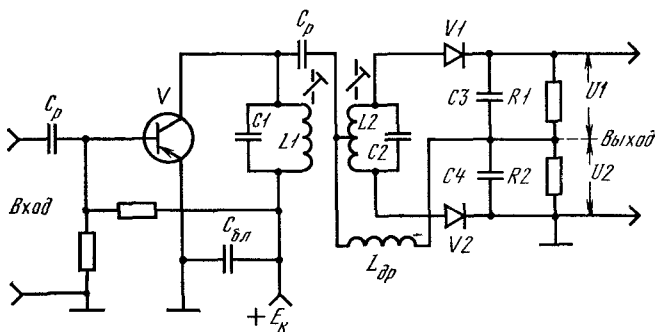


Рис. 87. Схема частотного детектора дискриминатора транзисторного приемника

напряжение, подключают к выходу частотного детектора (точкам АБ). Вращением сердечника катушки  $L11$  добиваются минимального напряжения на средней частоте  $f_0 = 6,5$  МГц на выходе детектора.

Схема частотного детектора — дискриминатора транзисторного приемника, показанная на рис. 87, содержит систему связанных контуров  $L1C1$  и  $L2C2$ , настроенных на промежуточную частоту, напряжение с которых подается на диод  $V1$  и  $V2$ . Нагрузками детектора являются резисторы  $R1$  и  $R2$ , зашунтированные по высокой частоте конденсаторами  $C1$  и  $C2$ . Каскад усилителя промежуточной частоты на транзисторе  $V$  работает в режиме ограничителя для ликвидации паразитной амплитуды модуляции напряжения сигнала.

Регулировка дискриминатора заключается в настройке контуров  $L1C1$  и  $L2C2$  и выборе оптимальной связи между ними.

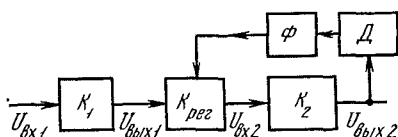
По характеристике детектора можно судить о степени нелинейных искажений, вносимых детектором, которые определяются величиной фактора связи  $\beta$  между контурами. В пределах заданной максимальной девиации (изменения) радиочастоты  $\Delta f_m$  ЧМ-сигнала характеристика детектора должна быть линейной (см. рис. 86 кривая 4). Расширить полосу пропускания можно, зашунтировав один или оба контура резисторами с небольшими сопротивлениями.

## § 46. Регулировка и настройка цепи АРУ

Под автоматической регулировкой усиления (АРУ) подразумевают автоматическое управление коэффициентом усиления цепи, обеспечивающее изменение амплитуды сигнала на выходе в меньшее число раз по сравнению с изменением амплитуды входного сигнала.

В радиоприемниках под АРУ подразумевают такой процесс регулировки, при котором уровень подводимого к детектору сигнала меняется по амплитуде незначительно при изменении уровня сигнала на входе радиоустройства в широких пределах. Принципиальные схемы АРУ разнообразны.

Рис. 88. Функциональная схема автоматической регулировки усиления



Функциональная схема, состоящая из трех каскадов усиления  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{\text{per}}$  и АРУ, показана на рис. 88. Выходное

напряжение промежуточной частоты  $U_{\text{вх}2}$  подается на детектор  $\Delta$  АРУ. Управляющее напряжение, снимаемое с нагрузки детектора АРУ, через фильтр  $\Phi$  с большой постоянной времени поступает на регулируемый каскад  $K_{\text{per}}$  усилителя промежуточной частоты и изменяет режим его работы и коэффициент усиления таким образом, что при увеличении входного напряжения сигнала  $U_{\text{вх}1}$  коэффициент усиления регулируемого каскада уменьшается и напряжение  $U_{\text{вх}2}$  остается почти неизменным. Действие АРУ в схеме основано на изменении крутизны характеристики регулируемых ламп или транзисторов и усиления каскадов радиоприемника под действием управляющего напряжения.

Широкое распространение получили схемы АРУ трех типов: простая и режимные (с задержкой и усилением). В простой схе-

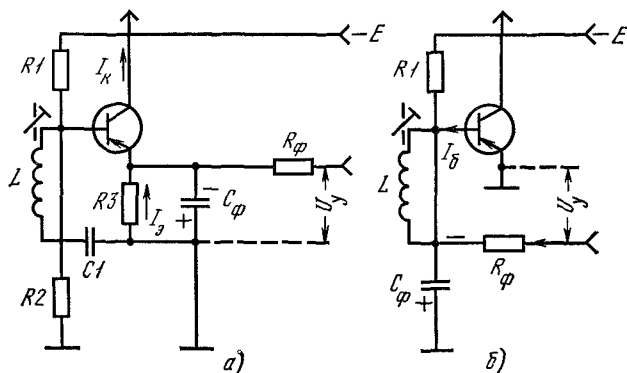


Рис. 89. Режимные схемы АРУ.

а — с изменением тока коллектора, б — с изменением тока базы транзистора

ме, изображенной на рис. 84, напряжение регулировки снимается с нагрузки амплитудного диодного детектора сигнала, который одновременно является детектором АРУ, и через фильтр  $R_{\phi}C_{\phi}$  с большой постоянной времени подводится к сеткам ламп регулируемых каскадов.

В режимных схемах регулировку усиления производят изменением режима работы транзисторов регулируемых каскадов и их коэффициента усиления. В схеме, показанной на рис. 89, а, регулирующее напряжение  $U_y$  с выхода детектора АРУ подводится в цепь эмиттера и смещает его рабочую точку в область меньших значений тока эмиттера  $I_a$ . В схеме, изображенной на рис. 89, б, регулирующее положительное напряжение подается в цепь базы и также подзапирает транзистор, уменьшая коэффициент усиления каскада. Таким образом, регулировку каскадов в режимной схеме АРУ можно производить, изменяя постоянный ток эмиттера  $I_a$  и ток базы  $I_b$ . При уменьшении  $I_a$  или  $I_b$  усиление каскада уменьшается. Более экономичной является схема, показанная на рис. 89, б, так как ток базы значительно меньше тока эмиттера.

Недостатком режимной схемы АРУ в транзисторных приемниках является изменение входных и выходных проводимостей и емкостей транзистора регулируемого каскада. Это приводит к изменению параметров колебательных контуров и качественных показателей приемника.

Поскольку в процессе регулировки в режимных схемах АРУ транзисторных приемников изменяется не только коэффициент усиления регулируемого каскада  $K_{\text{рег}}$ , но и полоса пропускания, частота настройки резонансного контура, коэффициент нелинейных искажений, то в высококачественных радиоприемниках применяют более сложные схемы АРУ, не связанные с изменением режима работы транзисторов по постоянному току.

Для оценки работы АРУ приемника снимают амплитудную

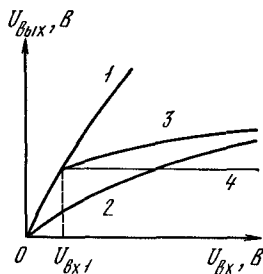


Рис 90 Амплитудные характеристики для различных схем:

1 — без АРУ, 2 — простая АРУ, 3 — АРУ с задержкой, 4 — АРУ с усилением и задержкой

Таблица 17. Нормы на АРУ в диапазонах ДВ, СВ и КВ

Параметры	Нормы по классам				
	Высший	I	II	III	IV
Изменение напряжения на входе приемника, дБ, не менее . . . . .	60	40	26	26	26
Соответствующее изменение напряжения на выходе приемника, дБ, не более . . . . .	8	12	10	12	12

характеристику  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ . На рис. 90 показаны примерные амплитудные характеристики для различных схем.

Отношение напряжений максимального и минимального сигналов на выходе приемника  $p = U_{\text{вых.макс}}/U_{\text{вых.мин}}$  при заданном отношении напряжений сигнала на его входе  $a = U_{\text{вх.макс}}/U_{\text{вх.мин}}$ , выраженное в децибелах, характеризует действие АРУ. В соответствии с ГОСТами на радиоприемники и радиолы действующие нормы на АРУ в диапазонах ДВ, СВ и КВ приведены в табл. 17.

### Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте составные части структурной схемы супергетеродинного радиоприемника. Какие основные электрические показатели радиоприемника вы знаете?
2. Что такое избирательность радиоприемника и чем она характеризуется?
3. Что такое чувствительность радиоприемника, амплитудная характеристика?
4. Какие схемы УРЧ вы знаете? Расскажите о назначении, настройке и регулировке каскадов УВЧ.
5. Приведите амплитудно-частотную характеристику усилителя УРЧ и расскажите, как она регулируется.
6. Какое назначение имеют блоки УПЧ? Как осуществляется их регулировка? Перечислите причины возникновения самовозбуждения каскадов УПЧ и меры для их устранения.
7. Какие схемы детектирования вы знаете? Как осуществляется регулировка АМ- и ЧМ-детекторов?
8. Расскажите о работе амплитудного и частотного детекторов. Приведите характеристику частотного детектора.
9. Расскажите, как осуществляется регулировка усиления.

## Глава X. НАСТРОЙКА И РЕГУЛИРОВКА ВИДЕОУСИЛИТЕЛЕЙ И УСИЛИТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

### § 47. Настройка и регулировка видеоусилителей

Видеоусилители являются усилителями импульсных сигналов различной величины и формы. Наибольшее распространение видеоусилители получили в телевизорах для усиления видеосигналов, содержащих информацию о передаваемом изображении. К видеоусилителям телевизионных сигналов предъявляют следующие требования: сравнительно высокий коэффициент усиления в широкой полосе частот (от 50 Гц до 6 МГц); правильное воспроизведение формы сигнала, обеспечиваемое линейностью фазовой и равномерностью амплитудно-частотной характеристики и уровней видеосигнала за счет линейности амплитудной характеристики; отношение сигнал/шум  $\geq 30$ .

Любые искажения видеосигнала (частотные, фазовые, нелинейные) приводят к искажению принимаемого изображения и поэтому должны быть минимальными. Для усиления видеосигналов применяют резистивные усилительные каскады, обладающие наилучшими частотной и фазовой характеристиками по сравнению с другими каскадами.

В каскаде видеоусилителей используют транзисторы (микросхемы), имеющие граничную частоту усиления по току  $f_{n21} \geq 10f_v$ , где  $f_v$  — верхняя граничная частота спектра видеосигнала.

В ламповых схемах видеоусилителей применяют высокочастотные пентоды с большим коэффициентом широкополосности, определяемым отношением  $S/2\pi C_0$ , где  $S$  — крутизна лампы,  $C_0$  — паразитная междуэлектродная емкость.

Как известно, усиление резистивного каскада в области верхних частот уменьшается из-за влияния паразитной емкости  $C_0$ , сопротивление которой с увеличением частоты падает, что приводит к уменьшению сопротивления нагрузки и, следовательно, к уменьшению усиления.

В области нижних частот спектра сигнала усиление определяется емкостью разделительных конденсаторов  $C_p$ . С понижением

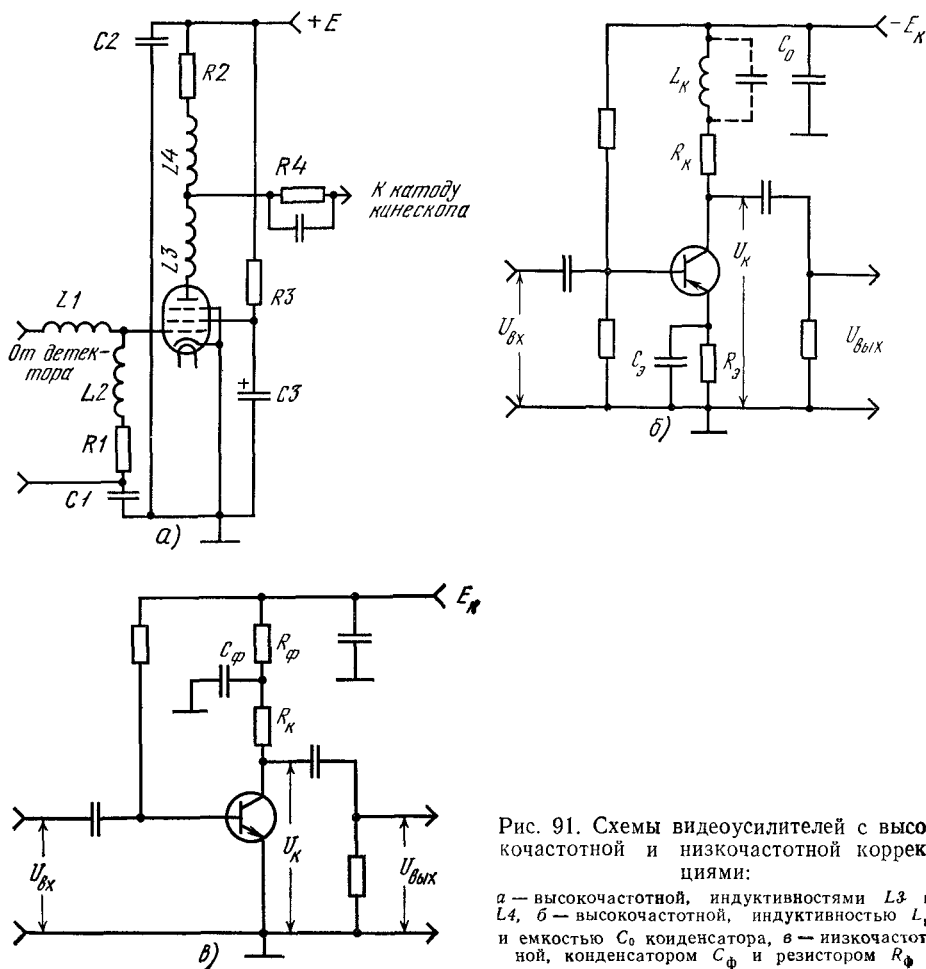


Рис. 91. Схемы видеоусилителей с высокочастотной и низкочастотной коррекциями:

а — высокочастотной, индуктивностями  $L3$  и  $L4$ , б — высокочастотной, индуктивностью  $Lк$  и емкостью  $C0$  конденсатора, в — низкочастотной, конденсатором  $Cф$  и резистором  $Rф$ .

частоты емкостное сопротивление конденсаторов увеличивается, и, следовательно, меньшая часть сигнала подводится к базе транзистора следующего каскада.

Для получения равномерной амплитудно-частотной характеристики в широком спектре частот, т. е. равномерного усиления каскада, в схемы видеоусилителей вводят элементы низкочастотной и высокочастотной коррекций.

Различные варианты построения схем видеоусилителей с элементами низкочастотной и высокочастотной коррекций показаны на рис. 91. На схеме рис. 91, а в качестве высокочастотной коррекции используются индуктивности  $L_3$  и  $L_4$  на схеме транзисторного видеоусилителя с высокочастотной коррекцией (рис. 91, б) — индуктивность  $L_k$ , образующая вместе с емкостью  $C_0$  параллельный колебательный контур. Если собственная частота контура близка к верхней граничной частоте спектра видеосигнала, на этой частоте и близких к ней усиление каскада увеличивается с увеличением сопротивления нагрузки, определяемого эквивалентным сопротивлением колебательного контура.

На схеме транзисторного видеоусилителя с низкочастотной коррекцией (рис. 91, в) показана цепь, состоящая из конденсатора  $C_\Phi$  и резистора  $R_\Phi$ . На нижних частотах спектра сопротивление конденсатора увеличивается, что приводит к увеличению эквивалентного сопротивления нагрузки каскада и, следовательно, к увеличению усиления. На средних частотах спектра нагрузка каскада определяется сопротивлением резистора  $R_\Phi$ .

Подбором индуктивности  $L_k$  (см. рис. 91, б) и емкости конденсатора  $C_\Phi$  (см. рис. 91, в) можно изменять форму амплитудно-частотной характеристики видеоусилителя.

В качестве примера использования микросхем на рис. 92 приведена функциональная схема операционного усилителя ОУ на микросхеме К174УРЗ. Микросхема содержит усилитель-ограничитель УРЧ, частотный детектор и предварительный усилитель низкой частоты УЗЧ.

Настройку и регулировку видеоусилителей начинают с проверки монтажа и соответствия его принципиальной схеме. Затем проверяют режимы работы микросхем или транзисторов и работоспособность схемы в целом по наличию выходного сигнала при действующем сигнале на входе видеоусилителя. После этого выполняют операции, обеспечивающие заданные электрические показатели видеоусилителя: требуемый коэффициент усиления; необходимую форму амплитудно-частотной характеристики с минимальными частотными и фазовыми искажениями.

Качество точной настройки в значительной степени зависит от типа измерительной аппаратуры. Режимы работы микросхем и транзисторов проверяют электронными вольтметрами, имеющими высокое входное сопротивление. Для получения требуемой формы амплитудно-частотной характеристики чаще всего используют специальные генераторы качающейся частоты — ГКЧ типа Х1-7, TR-813 и др., частота выходного напряжения в которых изменя-

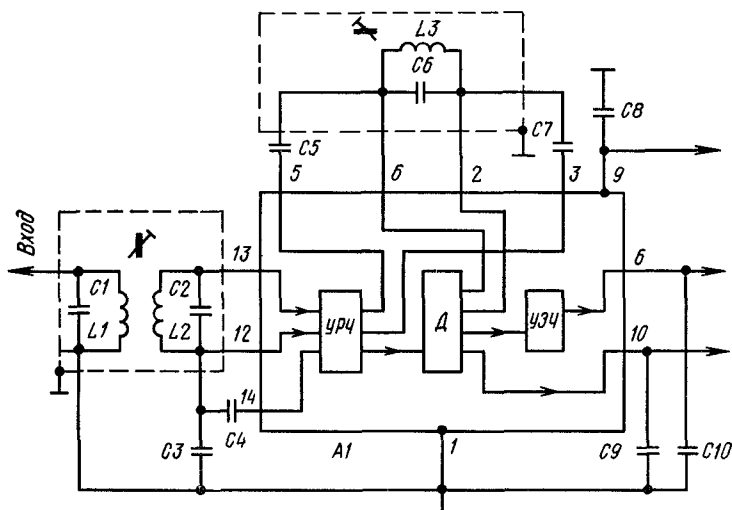


Рис 92 Функциональная схема операционного усилителя на микросхеме

ется во времени по определенному закону. Этими приборами можно непосредственно наблюдать амплитудно-частотную характеристику видеоусилителя на экране трубки прибора. После проверки монтажа, режима работы усилительного прибора и определения коэффициента усиления каскада на частоте 1 МГц добиваются получения требуемой формы амплитудно-частотной характеристики видеоусилителя с помощью указанных выше приборов. Рассмотрим эту операцию более подробно на примере использования прибора Х1-7.

Выходной высокочастотный кабель прибора (в положении делителя 1:1) через конденсатор емкостью 0,1 мкФ подключают к управляющей сетке лампы видеоусилителя.

При этом один из выводов видеодетектора отпаивают от схемы. Выходной кабель прибора с детекторной головкой подключают к выходу видеоусилителя, предварительно сняв ламповую панельку с цоколя кинескопа.

Переключатель диапазона прибора устанавливают в положение 0,1—15 МГц. Регулятор видеоусилителя ставят в положение максимальной контрастности. Регулировкой ручек ГКЧ добиваются получения на экране прибора удобного для наблюдения размера амплитудно-частотной характеристики видеоусилителя. Неравномерность частотной характеристики уменьшают изменением сопротивлений, шунтирующих корректирующие дроссели.

Частотную характеристику в области 3—6,5 МГц корректируют подбором индуктивностей дросселей. Для определения частоты резонанса одного из дросселей необходимо выводы остальных дросселей замкнуть между собой. Ширину полосы пропускания

видеоусилителя измеряют с помощью меток. Вращением сердечников дросселей добиваются необходимой формы амплитудно-частотной характеристики. На рис. 93 показаны амплитудно-частотные характеристики каскада видеоусилителя для области частот 3—6 МГц при различных значениях коэффициента высокочастотной коррекции  $\alpha$ . Неравномерность характеристики определяют

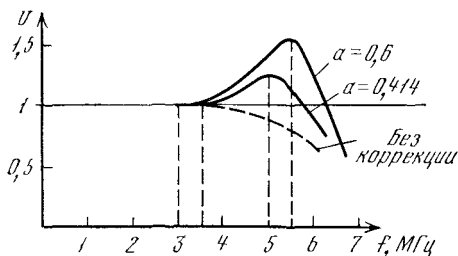


Рис. 93. Амплитудно-частотные характеристики каскада видеоусилителя для верхних частот при различных значениях коэффициента высокочастотной коррекции  $\alpha$

в процентах по отношению к уровню видеосигнала на частоте 1 МГц, принятому за единицу (100%).

Как видно из рис. 93, величины корректирующих индуктивностей и сопротивлений резисторов, шунтирующих эти индуктивности, определяют усиление каскада на разных верхних частотах спектра сигнала. Неравномерность частотной характеристики до 3 МГц не должна превышать 20%.

Подъем характеристики допускается только в диапазоне частот 4,5—5,5 МГц.

Технологические операции настройки и регулировки блоков видеоусилителей значительно упрощаются с применением унифицированных функциональных модулей. В качестве примера на рис. 94 приведена схема модуля видеоусилителя телевизора цветного изображения «Рубин Ц-205». Модуль выполнен на интегральной микросхеме и объединяет широкополосный регулируемый усили-

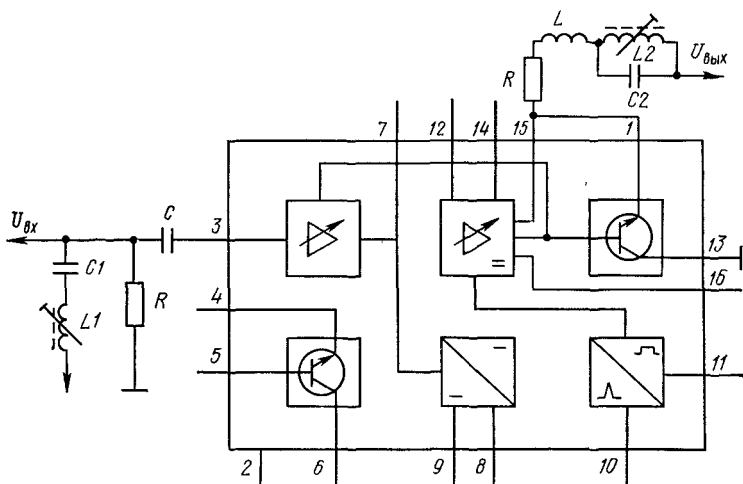


Рис. 94. Схема унифицированного функционального модуля телевизора цветного изображения «Рубин Ц-205»



тель, усилитель постоянного тока, видеоусилитель, усилитель мощности, преобразователь постоянного напряжения и формирователь импульсов.

Несмотря на функциональную сложность задач, выполняемых данным модулем, настройка его элементов сводится к простым операциям регулировки контуров на входе  $L1C1$  и выходе  $L2C2$  модуля.

#### § 48. Настройка и регулировка усилителей постоянного тока

Усилители постоянного тока (УПТ), усиливающие не только переменную, но и постоянную составляющую сигнала, широко используют для усиления медленно меняющихся по частоте сигналов в цепях автоматической регулировки усиления (АРУ) приемников, телевизорах, датчиках, цепях автоматических устройств, ЭВМ, измерительных приборах (электронных вольтметрах, осциллографах) и др.

По своему действию УПТ делят на два типа: прямого усиления и с преобразованием. В принципе обычной резисторный усилитель (рис. 95, а) без разделительных конденсаторов во входной и выходной цепях (с гальванической связью) может быть использован в качестве усилителя постоянного тока. Однако в отдельных случаях бывает крайне нежелательно или недопустимо прохождение в режиме покоя токов базы  $I_b$  (через источник входного сигнала) и коллектора (через сопротивление нагрузки  $I_n$  усилителя).

Существенным недостатком усилителя постоянного тока с гальванической связью является появление выходного напряжения  $U_{вых}$  при отсутствии напряжения сигнала на входе  $U_{вх}$ . Это явление называется дрей-

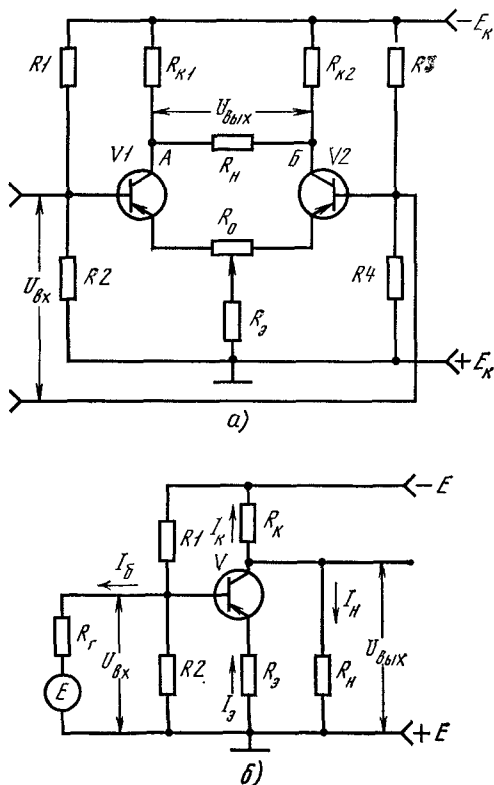


Рис. 95. Схемы балансного транзисторного операционного усилителя (а) и усилителя постоянного тока с гальванической связью (б)

ном нуля. Причинами появления дрейфа нуля могут явиться изменения питающих напряжений, параметров резисторов и усилительных элементов в результате старения. В транзисторных УПТ дрейф нуля может возникнуть при изменении температурных режимов работы транзисторов. Дрейф нуля является значительным источником помех, поскольку его напряжение может оказаться больше напряжения сигнала.

Уменьшение дрейфа нуля достигается применением стабилизированных источников питания, созданием в усилителях глубокой отрицательной обратной связи, введением специальных элементов для компенсации температурных изменений, использованием резисторов с малым температурным коэффициентом сопротивления, а также применением специальных балансных (мостовых) схем усилителей.

На рис. 95, б показана одна из многочисленных схем балансных УПТ на транзисторах. Плечами моста являются резисторы  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  и транзисторы  $V1$  и  $V2$ . В одну диагональ моста включается источник питания, а в другую (между точками А, Б) — нагрузка  $R_H$ . В случае полной симметрии плеч моста усилителя и отсутствия входного сигнала устанавливаются одинаковые потенциалы коллекторов транзисторов. При этом ток в цепи нагрузки должен полностью отсутствовать. При подаче на вход напряжения сигнала на нагрузке  $R_H$  должно появиться напряжение  $U_{вых}$ . Дополнительная температурная стабилизация режима достигается включением резисторов  $R_3$  и  $R_0$  между эмиттерами транзисторов. Эти резисторы образуют цепи отрицательной обратной связи.

Регулировка схемы УПТ заключается в установлении равновесия моста выбором рабочих точек транзисторов, т. е. выбором значений постоянной составляющей коллекторного  $U_{K0}$  и базового  $U_{B0}$  напряжений, а также постоянного тока коллектора  $I_{K0}$  и базы  $I_{B0}$  при отсутствии сигнала на входе. Это достигается подбором сопротивлений резисторов  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  и перемещением движка переменного резистора  $R_0$ .

Полное исключение помех, вызванных дрейфом нуля, можно

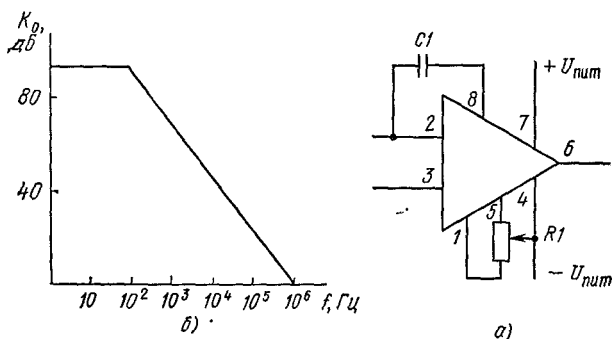


Рис. 96 Усилитель постоянного тока на микросхеме (а) и его амплитудно-частотная характеристика (б)

получить в усилителях постоянного тока с преобразованием сигнала. Принцип действия такого усилителя состоит в том, что входной сигнал вначале преобразуется в модулированный высокочастотный сигнал, который усиливается усилителем, а затем вновь преобразуется в сигнал постоянного тока. Наибольшее распространение в качестве усилителей постоянного тока получили операционные усилители.

Промышленность выпускает большую номенклатуру операционных усилителей в микросхемном исполнении, например К-140УД, К-153УД, К-544-УД. Интегральная микросхема К-140УД7 изображена на рис. 96, а, а амплитудно-частотная характеристика ОУ — на рис. 96, б. На схеме включения указаны выводы входа и выхода, питания и балансировки.

### **Контрольные вопросы**

1. Как осуществляется настройка и регулировка видеоусилителей?
2. Какие цепи частотной коррекции вы знаете?
3. В чем преимущество использования унифицированных функциональных модулей в телевизорах?
4. Какие схемы УПТ вы знаете?
5. Что такое дрейф нуля и какие меры по регулировке принимают для его уменьшения?

## **Глава XI. ИСПЫТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

### **§ 49. Воздействие внешних условий на работоспособность РЭА**

Испытания являются важным заключительным этапом разработки и производства аппаратуры и предназначены для проверки устройства на соответствие предъявляемым к нему требованиям. Методы контроля и испытаний зависят от назначения аппаратуры, климатических условий хранения, транспортировки и эксплуатации. Как правило, испытания аппаратуры проводятся применительно к этим условиям. Рассмотрим кратко условия и факторы, влияющие на надежность и работоспособность аппаратуры.

При транспортировке, хранении и эксплуатации на аппаратуру влияют:

климатические воздействия, в основном связанные с состоянием атмосферы, — температурой и ее цикличностью, влажностью (дождь, иней, роса), атмосферным давлением, солнечной радиацией, примесями в воздухе (пыль, соли, промышленные газы), биологическими факторами (плесень и др.),

механические воздействия, связанные с вибрационными и ударными нагрузками и звуковым давлением.

**Климатические воздействия.** В зависимости от назначения РЭА должна обеспечивать работоспособность в самых различных климатических условиях. Например, стационарная, или широковетельная, аппаратура работает в нормальных стационарных усло-

виях обычно в закрытых помещениях при  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 80%. Более сложные условия выпадают на переносную аппаратуру, для некоторых видов которой работоспособность должна сохраняться при температуре от  $-50$  до  $+50^\circ\text{C}$  и повышенной влажностью. Могут быть еще более тяжелые условия — тропические и космические, когда аппаратура работает при резком изменении в широких пределах температуры, давления, влажности. Например, РЭА на советском автоматическом самоходном аппарате «Луноход» обеспечивает высокую надежность в очень тяжелых условиях космоса, в том числе при изменении температуры от  $-150$  до  $+150^\circ\text{C}$ .

Повышение или понижение температуры окружающей среды от номинальной почти всегда вызывает ухудшение работы аппаратуры. Это связано с тем, что изменяются физико-химические и механические свойства материалов, из которых изготовлены узлы и блоки РЭА.

Тепловое воздействие является также причиной изменения электрических свойств аппаратуры вследствие изменения электрического сопротивления резисторов, ухудшения сопротивления изоляции диэлектриков, изменения емкости конденсаторов и т. д. Тепловое воздействие также приводит к старению материалов. Некоторые элементы аппаратуры, в частности электролитические конденсаторы, химические источники питания, при низких температурах теряют свои свойства. Ухудшение параметров изоляционных материалов может привести к механическим повреждениям конструкции в целом. Из-за повышения, например, вязкости часто наблюдается увеличение трения между отдельными подвижными элементами конструкции.

Надежность работы аппаратуры зависит от состояния окружающей атмосферы и в первую очередь — от влажности. С увеличением влажности резко падают поверхностное и объемное сопротивления изоляционных материалов.

Особенно сильно воздействуют климатические условия (повышенная влажность, плесень и солнечная радиация) на параметры аппаратуры, эксплуатируемой в тропических условиях. Образование и развитие плесени снижает изоляцию материала, способствует созданию проводящего слоя на поверхности изоляции, вызывает химическое разложение органических материалов и коррозию металлов. Это в конечном счете приводит к порче и выходу из строя аппаратуры, не защищенной от таких воздействий. Интенсивное солнечное облучение способствует окислению или химическому разложению некоторых органических материалов.

Радиоэлектронная аппаратура, эксплуатируемая в морских условиях, подвержена воздействию солей, растворенных в морской воде. В условиях повышенной влажности соли вызывают интенсивную коррозию металлических деталей.

**Механические воздействия.** Механические нагрузки, испытываемые аппаратурой в разных условиях, могут иметь сложный комплексный характер при различном их сочетании. Стационарная

аппаратура подвергается кратковременным ударным нагрузкам и тряске только при упаковке и транспортировке. Радиоэлектронная аппаратура, устанавливаемая на автомобилях и железнодорожном транспорте, испытывает вибрацию и ударные нагрузки во время работы. Корабельная аппаратура помимо вибрационных и ударных воздействий подвергается длительным перегрузкам от качки. Наибольший угол отклонения от вертикали корабельной аппаратуры при качке может достигать  $45^\circ$ . Авиационная аппаратура подвержена длительному воздействию вибрации во время полета и значительным ударным нагрузкам при взлете и посадке самолета, а также линейному ускорению при полете самолета.

Разрушают или быстро изнашивают конструкцию не длительно действующие малые нагрузки, а большие кратковременные перегрузки. Поэтому наиболее опасным во время вибрации является совпадение собственной частоты колебаний отдельных частей аппаратуры с колебаниями источника вибрации. При этом амплитуда колебаний бывает настолько велика, что может разрушить конструкцию.

Таким образом, механические воздействия могут приводить в лучшем случае к нежелательным изменениям параметров аппаратуры, в худшем — к ее разрушению. Очевидно, создание абсолютно устойчивых деталей и узлов при ударной и вибрационной нагрузках почти невозможно. Поэтому в конструкцию аппаратуры вводят специальные устройства для смягчения динамических нагрузок или изменения их характера, например всевозможные амортизаторы, преобразующие ударные нагрузки в вибрационные с синусоидальными затухающими колебаниями.

Для повышения надежности аппаратуры рекомендуется использовать облегченные режимы работы ее элементов и условия (климатические и механические) по сравнению с нормальными. Радиоэлектронная аппаратура нередко подвергается одновременному воздействию нескольких механических и климатических факторов в различной комбинации, под влиянием которых происходит ухудшение ее электрических и механических параметров. Любое воздействие, оказываемое на РЭА, проявляется в двух видах: первое — неустойчивость в работе и отказы, второе — нарушение цикличности и старение аппаратуры.

## **§ 50. Виды испытаний РЭА**

Испытание РЭА является одним из элементов процесса контроля с целью определения технических показателей аппаратуры (приборов) с помощью различных средств. К этим показателям относятся различные технические параметры, надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и др.

Под испытанием РЭА понимается комплекс контрольно-проверочных работ, связанных с выявлением отдельных характеристик испытываемой аппаратуры, ее узлов и блоков, который включает проверку: соответствия РЭА техническому заданию и конструктор-

ской документации, работоспособности аппаратуры при воздействии на нее предельных механических и климатических факторов, испытание на электромагнитную совместимость и др.

В соответствии с ГОСТ 15001—73 установлен порядок проведения испытаний (проверок) опытных образцов (опытных партий), а также серийной и массовой аппаратуры. Вид и характер испытаний зависят от стадии разработки и производства РЭА.

На стадии разработки опытные образцы (опытные партии) подвергаются предварительным и приемочным испытаниям.

Цель предварительных испытаний заключается в проверке соответствия аппаратуры техническому заданию и технической документации. Предварительные (заводские) испытания организует и проводит предприятие-разработчик аппаратуры на стенде и в условиях, близких к эксплуатационным.

Стендовые испытания проводят в специально оборудованных лабораториях по всем параметрам согласно ТУ с помощью камер и стендов, имитирующих воздействие различных климатических и механических факторов. При этом уточняют правильность примененных материалов и покрытий, обнаруживают конструктивные дефекты, проверяют регулировку и настройку аппаратуры. Однако в лабораторных условиях не всегда можно создать полный комплекс условий эксплуатации, поэтому приходится проводить полевые испытания в реальных условиях работы аппаратуры.

В процессе испытаний проводится аттестация качества продукции по ее техническому уровню в соответствии с Единой системой аттестации качества продукции (ЕСАКП).

По результатам предварительных испытаний РЭА принимает решение о представлении ее на приемочные испытания, которые проводят для определения соответствия продукции техническому заданию, требованиям стандарта и технической документации. После этого дается разрешение на массовое производство продукции.

На стадии серийного и массового производства РЭА подвергают приемо-сдаточным и периодическим испытаниям. Определение видов испытаний устанавливается ГОСТ 16504-70.

Приемо-сдаточные испытания проводят при приеме готовых изделий работниками ОТК по специально составленной программе или ТУ. С целью контроля качества продукции при изготовлении радиоаппаратуры проводят типовые или периодические испытания. Типовые испытания позволяют также определить возможные отклонения, возникающие в процессе производства в течение определенного времени. При периодических испытаниях для проверки выбирают произвольные образцы из партии или серии, принятые ОТК (выходной контроль). Периодичность, продолжительность и условия проведения испытаний (проверок), а также объем продукции, подвергаемой испытаниям, (проверкам) устанавливается стандартами, ТУ и технической документацией на продукцию.

В последние годы для отработки аппаратуры и систем, требующих для испытаний больших материальных затрат, все чаще стали применять методы математического моделирования с линейным программированием на ЭВМ, которые позволяют найти наиболее оптимальные решения создания высоконадежных образцов аппаратуры при минимальных затратах.

Наиболее надежной проверкой конструкции аппаратуры и технологии ее изготовления являются комплексные испытания, которые наиболее полно имитируют действительные условия эксплуатации. Известно, что во многих случаях на аппаратуру в условиях эксплуатации одновременно могут воздействовать несколько климатических и механических факторов. Комплексные испытания в таких случаях весьма желательны.

Самолетную радиоаппаратуру испытывают, например, следующим образом. Устанавливают аппарат на вибростенд, помещенный в термобарокамеру, т. е. создают условия для одновременных испытаний в разряженной атмосфере, при отрицательной или положительной температуре и вибрации.

Климатические испытания проводят в определенной последовательности, которая регламентируется нормативно-технической документацией. Климатические испытания аппаратуры должны предшествовать механическим испытаниям, а испытания на влагоустойчивость — испытаниям на холодоустойчивость. После каждого вида испытания производится визуальный осмотр аппаратуры с целью выяснения, не произошло ли механических разрушений или повреждений аппаратуры в процессе ее испытаний.

## **§ 51. Оборудование для проведения испытаний**

Для проведения механических и климатических испытаний РЭА применяют стандартное и нестандартное испытательное и измерительное оборудование.

В производственных условиях механические нагрузки на аппаратуру создаются на специальных испытательных установках — вибростендах, которые имитируют вибрацию, удары с большим ускорением, транспортную тряску и др. Вибростенд состоит из генератора механических колебаний с пультом управления, стола для установки испытуемого изделия и привода механических колебаний.

Промышленность выпускает много типов виброустановок для разных нагрузок. Например, для испытаний радиостанций связи служат вибрационные установки ВСУ70/200, УВЭ-50/5-5000, УВГ-10/150, позволяющие испытывать радиостанции массой до 70 кг на вибропрочность и виброустойчивость в диапазоне частот 12—200 Гц с максимальным ускорением 4g.

Испытания радиоаппаратуры на ударную прочность производятся на ударном стенде УУЭ-20/200, позволяющем осуществлять ускорение от 5 до 25g, число ударов в минуту от 40 до 80, длительность ударного импульса не менее 5 мс. Действие стенда ос-

повано на свободном падении стола с испытуемым изделием и внезапном замедлении его падения. Режим испытания должен соответствовать требованиям ТУ.

Особые условия работы РЭА в разряженных условиях (самолетная аппаратура) и условиях открытого космоса (спутниковая и космическая аппаратура) требуют проведения специальных видов испытаний.

Для проведения испытаний аппаратуры на высотность применяют термобарокамеры, представляющие собой шкаф, внутри которого автоматически поддерживается атмосферное давление в пределах ТУ. Термобарокамера позволяет также вести испытания на тепло- и холодоустойчивость.

## **§ 52. Электромагнитная совместимость**

С увеличением количества электротехнических и радиосредств и увеличением излучаемой мощности все труднее становится обеспечить их совместную работу без помех. Эту задачу решает электромагнитная совместимость (ЭМС).

Основой ЭМС является обеспечение нормального функционирования радиосредств при различных помехах. Особенно это условие необходимо соблюдать на таких насыщенных радиоаппаратурой объектах, как самолет или корабль. Например, современный корабль имеет более 40 радиопередающих и 50 радиоприемных устройств различного назначения.

Наиболее сильно подвержен помехам радиоприемник, так как он содержит самые чувствительные к электромагнитным колебаниям элементы. Частота основного канала приема, диапазон частот, сетка рабочих частот, полосы пропускания усилителей промежуточной частоты и УРЧ на уровнях —3, —60 и —80 дБ, частоты I и II гетеродинов, избирательность по соседнему каналу и другие характеристики приемника оказывают влияние на ЭМС. Кроме того, для ЭМС большое значение имеет конструкция приемника, определяющая восприимчивость его к помехам через корпус, провода питания и управления.

В радиопередатчике для обеспечения ЭМС приходится учитывать: рабочую частоту основного излучения, диапазоны рабочих частот, сетку частот, частоты и уровни гармоник и побочных излучений, а при конструировании — экранирование основного излучения гармоник и комбинационных частот по электрическому и магнитному полям в широком диапазоне частот, подавление основного излучения и гармоник в проводах питания и управления.

Окончательную оценку работоспособности радиоаппаратуры при наличии помех позволяют сделать испытания, которые проводят по специальной методике.

В приемниках ужесточаются требования к входной избирательности, избирательности по соседнему каналу и динамическому диапазону по входным каскадам. В передатчиках необходимо подавлять все ненужные излучения до уровня, который не будет созда-



вать помех близлежащим приемникам, работающим в широком диапазоне частот.

При монтаже, наладке и испытаниях для ослабления электромагнитного влияния различных мешающих излучений на аппаратуру применяют экранированные кабины или помещения. При изготовлении экранированных кабин наряду с соблюдением санитарных норм проектирования промышленных предприятий и техники безопасности должны выполняться условия экранирования. Эффективность экранирования определяется по формуле  $\mathcal{E} = 20 \lg (U_1/U_2)$ , где  $U_1$ ,  $U_2$  — напряженности поля или мощности сигнала в заданной точке при отсутствии и наличии экрана.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое влияние оказывают климатические факторы на работоспособность РЭА?
2. Какое влияние оказывают механические факторы на электрические параметры РЭА?
3. Каковы задачи проведения испытаний РЭА?
4. Какие виды испытаний РЭА вы знаете?
5. Какие виды испытаний проводят на стадии разработки РЭА?
6. Какие виды испытаний проводят на стадии серийного и массового производства?
7. Какое оборудование применяют для проведения механических и климатических испытаний?
8. Какова методика проведения механических и климатических испытаний?
9. Что такое ЭМС и почему необходимо ее учитывать при проектировании РЭА?

## **Глава XII. НАДЕЖНОСТЬ РЭА И ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАДИОМОНТАЖНЫХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ РАБОТ**

### **§ 53. Основные понятия и определения надежности и качества РЭА**

Надежность — один из основных технических показателей качества РЭА. Основные понятия и определения надежности приведены в ГОСТ 13377—75 «Надежность в технике. Термины и определения». В соответствии с этим ГОСТом понятие надежности определяет свойство аппаратуры выполнять возложенные на нее функции при сохранении эксплуатационных показателей в заданных пределах и режимах работы, установленных нормативно-технической документацией. При этом под режимами работы понимают электрические, механические, климатические и другие условия работы аппаратуры, а также время, в течение которого она работает.

Надежность РЭА определяется такими показателями, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохранность. Характеристика этих показателей приведена в табл. 18. Определение этих свойств РЭА опирается на понятие работоспособность, т. е. способность выполнять заданные функции при определенных пара-

метрах, установленных требованиями технической документации. Работоспособность РЭА неразрывно связана с ее качеством и условиями эксплуатации.

Качество изделия — это совокупность свойств, определяющих степень пригодности изделия для использования по назначению. Эксплуатация РЭА включает транспортировку, хранение, подготовку к использованию по назначению и ремонт.

Таблица 18 Характеристика надежности РЭА

Параметр	Определение
Безотказность	Свойство аппаратуры сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов
Ремонтопригодность	Свойство аппаратуры, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов
Сохранность	Свойство аппаратуры сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортировки, установленного в технической документации
Долговечность	Свойство аппаратуры сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов

Чтобы объективно сравнивать различные образцы аппаратуры по надежности, а также задаваться необходимым уровнем надежности при ее проектировании и осуществлять контроль при производстве, испытаниях и эксплуатации этой аппаратуры, надо располагать количественными характеристиками (показателями) надежности элементов, входящих в эту аппаратуру.

Надежность определенного класса элементов в течение определенного времени  $t$  характеризуется вероятностью их безотказной работы  $P$ , интенсивностью отказов  $\lambda$  и др. Математически между этими характеристиками надежности существуют определенные взаимосвязи, зная которые, можно по одной или нескольким характеристикам элементов найти остальные.

Вероятностью безотказной работы  $P$  называется способность изделия в заданном интервале времени  $t$  (или пределах заданной наработки) работать без отказа. Вероятность безотказной работы характеризует надежность элемента и аппаратуры в целом. Типичная зависимость вероятности безотказной работы аппаратуры от времени характеризуется кривой  $P(t)$ , изображенной на рис. 97. В течение конечных интервалов времени она может приобретать значения  $0 < P < 1$ . Значения величины  $P$  определяются по результатам испытаний партии изделий.

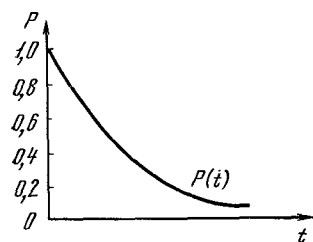


Рис. 97. Зависимость безотказной работы аппаратуры  $P$  от времени  $t$

$$\lambda(t) = \Delta n / \Delta t n(t)$$

где  $\Delta n$  — число отказов на участке  $(t, t + \Delta t)$ ,  $n(t)$  — число элементов, не отказавших к моменту  $t$ .

Для большинства элементов РЭА интенсивность отказов неодинакова в различных промежутках времени. Зависимость интенсивности отказов аппаратуры от времени приведена на рис. 98. Зависимость  $\lambda(t)$  можно разделить на три периода: *I* — приработки (от 0 до  $t_{пр}$ ), *II* — нормальной работы (от  $t_{пр}$  до  $t_{сг}$ ), *III* — до полного износа (от  $t_{сг}$  до  $\infty$ ).

Период приработки элементов характеризуется высокой интенсивностью отказов. В этот период выходят из строя элементы со скрытыми дефектами из-за нарушения технологического процесса их изготовления и действия систематических и случайных факторов, снижающих качество и надежность этих элементов. Период приработки элементов должен быть относительно мал.

Для того чтобы аппаратура во время эксплуатации имела минимальную интенсивность отказов, целесообразно перенести *I* период ее работы (период приработки) на заводы-изготовители.

С этой целью на заводах организуется тренировка комплектующих элементов и аппаратуры в целом в условиях, близких к эксплуатационным.

Для большинства радиоэлектронных систем характерно постоянное интенсивности отказов в период нормальной работы аппаратуры (*II* участок характеристики). Это объясняется отсутствием старения материалов элементов на *II* участке; *III* участок характеристики резко возрастает вследствие износа и старения элементов, связанных с окончанием их срока службы.

По известной характеристике  $\lambda(t)$  наиболее просто определяют остальные надежностные характеристики системы.

Обычно время эксплуатации аппаратуры не достигает времени полного износа.

Средним временем безотказной работы аппаратуры  $T_0$  называется среднее арифметическое время исправной работы каждого образца:

$$T_0 = t_1 + t_2 + \dots + t_{N_0} / N_0,$$

где  $t_1$ ,  $t_2$  и т. д. — время безотказной работы,  $N_0$  — количество образцов.

Среднее время между двумя отказами

$$t_{ср} = t_1 + t_2 / 2.$$

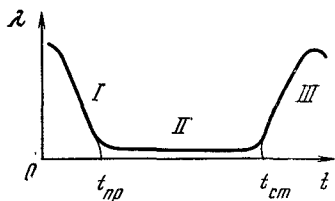


Рис. 98. Зависимость интенсивности отказов  $\lambda(t)$  аппаратуры от времени  $t$

**Понятие о неисправностях.** Эксплуатация РЭА в связи с ограниченной надежностью входящих в нее элементов характеризуется периодами исправного и неисправного состояний. Соотношение между этими периодами определяется уровнем надежности аппаратуры, достигнутым при конструировании и производстве, возможностью выполнения восстановительных и профилактических работ, качеством и условиями эксплуатации.

Аппаратура считается исправной, если соответствует всем требованиям, предъявляемым к ней как в отношении основных параметров и характеристик (выходная мощность, полоса пропускания, чувствительность приема и др.), так и в отношении второстепенных параметров, связанных с удобством эксплуатации, полнотой комплектации, внешним видом и т. д. В связи с этим под неисправностью понимают такое состояние аппаратуры, при котором она в данный момент времени не соответствует одному или нескольким из установленных требований.

При возникновении основной неисправности аппаратура теряет свою работоспособность. При наличии второстепенных неисправностей аппаратура не утрачивает работоспособность, т. е. отказа не происходит. Например, нарушение лакокрасочного покрытия и вмятины на корпусе, поломка ручек управления, выход из строя сигнальных лампочек не вызывают ухудшения основных параметров аппаратуры и не препятствуют продолжению ее эксплуатации, однако при длительной эксплуатации эта аппаратура может выйти из строя и быть неработоспособной. Поэтому второстепенные неисправности должны быть своевременно устранены.

**Виды и определения отказов.** В процессе анализа отказов, возникающих в РЭА, необходимо уметь правильно проводить их классификацию.

Отказом в работе блока РЭА называют такое его состояние, когда значения одного или нескольких параметров блока или аппарата в целом выходят за допустимые пределы. Отказ может наступить как при механических и электрических повреждениях элементов (удары и падения блоков, обрывы и короткие замыкания в цепях), так и при изменении параметров элементов сверх допустимых пределов (старение радиодеталей, потери эмиссии катодов радиоламп, воздействие радиации, изменение температурных режимов).

В зависимости от связи элементов между собой различают независимые и зависимые отказы в работе РЭА. Если отказ какой-либо детали в блоке не приводит к отказу других элементов блока и аппаратура продолжает работать, его называют *независимым* (например, выход из строя лампочки освещения шкалы радиоприемника). В данном случае радиоприемник продолжает работать. Отказ в работе аппаратуры в целом, возникший из-за отказа одного или нескольких элементов, называют *зависимым*, например, обрыв нити накала радиолампы или пробой конденсатора фильтра, вызывающий разогрев трансформатора и выход его из строя. Иногда зависимый отказ называют групповым.

В большинстве случаев механические и электрические повреждения деталей и блоков приводят к потере работоспособности самой детали и блока мгновенно. Такие отказы называются *мгновенными* или *внезапными* и являются результатом скрытых производственных дефектов или изменений параметров, накапливающихся при различных эксплуатационных воздействиях (удары, тряска). Причиной мгновенных отказов могут также явиться неправильные действия обслуживающего персонала.

Существуют также *постепенные* отказы, возникающие в результате постепенного изменения одного или нескольких значений основных параметров (например, потеря эмиссии катода кинескопа телевизора). В данном случае ухудшаются выходные характеристики телевизора (контрастность изображения), хотя аппарат продолжает работать и остальные его характеристики могут находиться в пределах нормы. Этот вид отказа позволяет прогнозировать и предсказывать их возникновение.

Как показывает опыт эксплуатации многочисленных типов РЭА, при существующих методах контроля работоспособности большая часть отказов (до 50% и более) появляется мгновенно и зависит от типа аппаратуры, средств контроля работоспособности, уровня профилактики. Применение специальных методов прогнозирования и проверки работоспособности РЭА позволяет подавляющее количество отказов свести к категории постепенных. Особую роль в этом отношении могут сыграть внедрение совершенных автоматизированных приборов контроля работоспособности аппаратуры.

Деление отказов в работе аппарата на мгновенные и постепенные имеет большое значение при расчете надежности, а характер отказа при разработке методики расчета надежности аппаратуры, выборе технологических и конструктивных решений построения схем, методике обнаружения неисправности и т. д.

В соответствии с возможностью или невозможностью использования детали или элемента блока после возникновения отказа различают полный (окончательный) и частичный отказы. *Полным* называется такой отказ, при возникновении которого невозможно использовать детали или элемент блока по назначению до устранения его причины. Например, исчезновение изображения на экране телевизора при выходе из строя высоковольтного выпрямителя означает полный отказ. *Частичный* отказ обычно связан с ухудшением одной или нескольких характеристик прибора, причем некоторое время до устранения причины отказа прибор может работать. (Например, ухудшение качества звучания радиоприемника вследствие понижения его чувствительности не исключает возможности вести прием.)

Наряду с устойчивыми (полными или частичными) отказами существует особая группа *самовосстанавливающихся* (или перемежающихся) отказов, которые часто называют *сбоями*. Особенно характерны сбои для работы ЭВМ и систем автоматического регулирования. Примером наиболее распространенных самовосста-

навливающих отказов может служить искрение в высоковольтном выпрямителе телевизора при повышении влажности.

#### **§ 54. Повышение надежности РЭА в процессе проектирования и эксплуатации**

Опыт эксплуатации РЭА показывает, что нарушения ее работоспособности возникают в основном по следующим причинам: недостаточная надежность комплектующих элементов или нарушение режимов их использования, схемно-конструктивные и производственно-технологические недостатки, недостаточная защищенность узлов и блоков РЭА от внешних воздействий, а также недостатки, вызванные профилактическим обслуживанием или нарушениями правил эксплуатации РЭА.

Все факторы, влияющие на надежность РЭА, могут быть разделены на три основные группы: схемно-конструктивные, эксплуатационные и производственно-технологические.

К схемно-конструктивным факторам (причинам), влияющим на надежность работы РЭА, относятся: недостатки схемного и конструктивного проектирования схем, узлов и блоков аппаратуры, установка в аппаратуру малонадежных, устаревших комплектующих элементов и неправильное их применение (постановка элементов в тяжелые — электрический, тепловой, механический и другие режимы работы, не соответствующие ТУ, или недостаточные меры защиты от тяжелых режимов работы, плохое качество разработки конструкторской документации).

При выборе схем необходимо учитывать, что надежнее в работе: либо более простые и имеющие меньшее число элементов схемы; либо схемы, выходные параметры которых незначительно зависят от изменения питающих напряжений и не требуют стабилизированных источников питания; либо с минимальным потреблением электроэнергии, которые не требуют сложных систем охлаждения; либо предварительно прошедшие испытания на надежность и имеющие минимальное число органов регулировки и управления. Не рекомендуется применять схемы, требующие в процессе регулировки большого подбора элементов.

Надежность РЭА в сильной степени зависит от конструктивного решения, монтажа и герметизации узлов и блоков.

Для повышения конструктивной надежности РЭА при ее конструировании необходимо:

разрабатывать новые схемы узлов и блоков с применением в аппаратуре высоконадежных элементов;

размещать элементы схемы так, чтобы обеспечить надежную их защиту от действия внешних и внутренних факторов;

правильно выбирать режимы работы деталей, устанавливаемых в аппаратуре.

Рабочий режим элементов определяется степенью их электрической и механической нагрузок, окружающей температурой и эксплуатационными факторами, которые должны учитываться при

выборе радиодеталей. Как показывает опыт эксплуатации РЭА, выбор оптимального режима нагрузки элементов благоприятно сказывается на их надежности и существенно увеличивает продолжительность их безотказной работы — уменьшает число мгновенных и постепенных отказов. Желательно, чтобы коэффициенты нагрузки были минимальными (например, не выше 0,5).

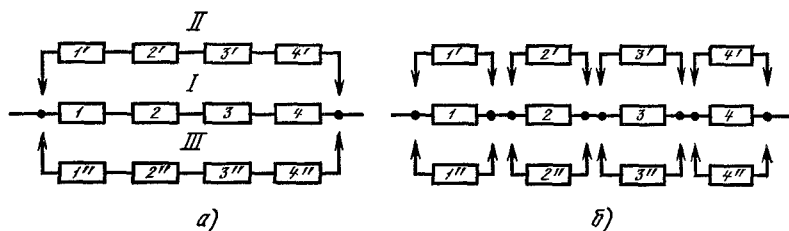
Наряду со снижением электрической нагрузки на элементы при конструировании необходимо всемерно стремиться к снижению окружающей температуры, уменьшению влияния вибрации, влажности, пониженного давления и др.

Микроминиатюризация РЭА позволяет широко использовать резервирование, также являющееся одним из наиболее действенных средств повышения надежности. При невозможности обеспечить заданные технические требования РЭА для повышения надежности используют методы резервирования входящих в эту аппаратуру элементов.

Метод повышения надежности устройства путем применения идентичных дублирующих элементов, устройств, систем называется *резервированием*. Группа элементов считается резервированной, если отказ одного или нескольких ее элементов не нарушает нормальной работы схемы (узла, системы), а оставшиеся исправные элементы выполняют ту же заданную функцию. Такое резервирование называется *функциональным*. При этом методе различные системы отличаются одна от другой в первую очередь реакцией на отказ элемента схемы.

На рис. 99 приведены схемы общего и отдельного резервирования. Общее (рис. 99, а) заключается в резервировании всей системы, блока или узла *I* в случае выхода из строя одного из элементов (например, второго) этой системы. Этот способ резервирования широко применяется благодаря его простоте. Раздельное (рис. 99, б) заключается в резервировании отдельных элементов системы (*I*, 2 и т. д.) запасными (*I'* или *I''* и т. д.).

Основным параметром резервирования является его кратность,



представляющая собой отношение количества резервных единиц к числу резервируемых.

Графики зависимости надежности аппаратуры *P* от числа резервируемых элементов *N* и степени резервирования *m* приведены на рис. 100. Рассмотрев график, можно сделать вывод, что раз-

дельное резервирование является более эффективным, чем общее. Например, у системы, состоящей из 10 элементов и имеющей три резервные цепи, при общем резервировании  $P_{\text{общ}}=0,37$  (точка А), при раздельном  $P_{\text{разд}}=0,95$  (точка Б). Физически этот результат

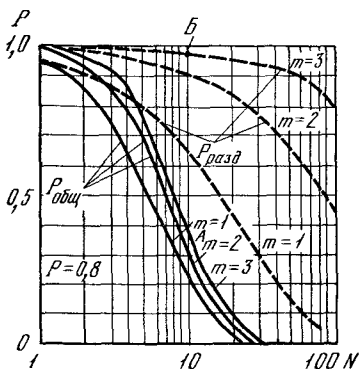


Рис. 100. Графики зависимости надежности аппаратуры  $P$  от числа резервируемых элементов  $N$  и степени резервирования  $m$

можно объяснить тем, что при общем резервировании отказ любого элемента из первой резервной системы I (см. рис. 99, а) вызывает необходимость включения системы II, тогда как при раздельном резервировании отказ любого из элементов вызывает необходимость включения лишь одного очередного элемента.

Состояние, в котором находятся цепи до момента включения их в работу вместо отказавшей цепи (или элемента), может характеризоваться:

холодным резервом, когда резервные цепи (элементы) находятся в нерабочем состоянии. Например, когда на резервные блоки радиостанции не подаются питающие напряжения;

горячим резервом, когда все цепи резервного блока одинаково загружены с основными.

Существует также резерв с облегченным режимом, в этом случае блок находится не в полном рабочем состоянии.

Эксплуатационные факторы, влияющие на надежность РЭА, определяются субъективными и объективными причинами.

К субъективным факторам относятся: квалификация обслуживающего персонала, наличие условий для проведения профилактических и ремонтных работ и выполнение инструкций по эксплуатации и ремонту. Недостаточная квалификация персонала, несоблюдение инструкций по эксплуатации и ремонту нередко приводят к отказам и поломкам РЭА.

К объективным факторам относятся: специфические условия работы РЭА (стационарные, самолетные, космические и др.), внешние климатические условия (температура и влажность воздуха, давление), биологические и др.

## § 55. Повышение надежности и качества РЭА в процессе производства

Надежность и качество РЭА и ее элементов в значительной степени зависят от производственно-технологических факторов и культуры производства. Несовершенство технологических процессов, нарушение технологического цикла, ошибки при выполнении



сборочных и монтажных работ, некачественная регулировка и настройка, загрязненность рабочих мест, оборудования и приспособлений, недостаточная квалификация рабочих и инженерно-технических работников, а также слабый входной и выходной контроль качества продукции сказываются на качестве и надежности РЭА, выпускаемой предприятием.

Большую роль в повышении надежности выпускаемой продукции играет применение современных методов контроля (входной, текущий и выходной) ее качества.

Отличительной чертой радиотехнических предприятий является многономенклатурность применяемых комплектующих изделий и материалов, а также многообразие технологических процессов производства.

Комплектующие детали и материалы, поступающие от смежных предприятий-поставщиков или со склада готовой продукции, могут иметь скрытые дефекты или различные отклонения от ТУ. Будучи установленными в аппаратуру, дефектные детали часто являются причиной отказа в ее работе.

Как показывает статистика, 75% общего числа отказов в работе РЭА, вызванных несовершенством производства, происходит из-за недостаточной надежности комплектующих элементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов и т. п.), а 25% — из-за ошибок сборки, монтажа и регулировки. Исходя из этого, можно сделать заключение, что надежность выпускаемой продукции в значительной мере зависит от организации входного контроля комплектующих изделий (электро- и радиоэлементов, готовых узлов и блоков или материалов), а также от организации технологического процесса и контроля качества продукции в процессе производства.

Входной контроль является дополнительной проверкой параметров, поступающих на завод деталей, комплектующих изделий и материалов, поскольку в процессе транспортировки, длительного или неудовлетворительного хранения на складах, а также из-за недостаточного контроля готовой продукции на заводах-поставщиках они могут ухудшить свои механические, электрические, магнитные и другие параметры. Например, могут появиться ржавчина на металле, коробление гетинакса, окисление контактов и др.

Входной контроль осуществляется работниками отдела технического контроля (ОТК) и проводится по инструкции, предусматривающей порядок и методику проверки поступающих в производство деталей на соответствие ТУ. Подразделения ОТК, осуществляющие входной контроль, должны оснащаться измерительной аппаратурой, специальными стендами и приспособлениями, повышающими скорость и надежность контроля. В процессе проверки может производиться также тренировка элементов, что помогает выявить элементы со скрытыми дефектами. На крупносерийных заводах в составе ОТК имеются лаборатории, разрабатывающие технологические процессы контроля и отработки комплектующих изделий и проводящие в случае необходимости анализы материалов и деталей.

Одно из главных направлений повышения эффективности систем управления качеством — совершенствование методов контроля за ходом технологических процессов, качеством готовой продукции, дальнейшее развитие методов отбраковочных испытаний и тренировок для обеспечения выпуска высоконадежных изделий.

В соответствии с ГОСТ 15467—79 понятие качества изделий определяет совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Однако обеспечение выпуска высококачественной продукции не может быть достигнуто только в результате усиления контроля и устранения организационных недостатков. В сложных условиях современного производства решение проблемы качества возможно лишь на основе системного подхода к планированию организации, управлению, проектно-конструкторским работам, технологии, контролю и испытаниям, эксплуатации.

Системный комплексный подход к решению проблемы повышения качества охватывает многие сферы производства, является составной частью общей системы управления предприятием и будет развиваться на основе долгосрочных планов, согласованных с планами развития народного хозяйства.

В каждой отрасли, в том числе и в радиотехнической промышленности, действует отраслевая система управления качеством, которая является составной частью единой системы управления техническим уровнем и качеством изготовления продукции (СУТУК). Эта система предусматривает: разработку и осуществление мероприятий в области метрологии и испытаний, аттестации качества продукции, первостепенную роль стандартизации в повышении надежности и качества продукции, создания комплексов перспективных опережающих стандартов, корректировку действующих стандартов, идейно-воспитательные мероприятия и совершенствование форм социалистического соревнования.

## **§ 56. Методы контроля качества продукции в процессе производства**

Производство современной РЭА немыслимо без высококвалифицированного технического контроля. Такому контролю на заводе должны подвергаться детали и блоки собственного производства и детали, поступающие от предприятий смежных отраслей промышленности.

Надежность выпускаемой продукции зависит от средств, методов и систем контроля изделий. Идеальной является 100%-ная проверка всех параметров деталей на всех производственных операциях. Однако при этом возникают большие экономические и технические трудности, связанные с необходимостью иметь большое число контролеров и дорогостоящее измерительное оборудование. Поэтому в процессе производства предусматривают проверку всех покупных изделий на соответствие ТУ, межоперационную проверку по технологическим картам и чертежам и проверку готовой продукции (выходной контроль).

В этом случае применяют следующие виды контроля: рабочий (РК), профилактический (ПК), наладки (КН), режимов (КР), выборочный (ВК), статистический (Ст. К).

Рабочий контроль предусматривает проверку качества изготовленной продукции непосредственно у рабочего места (станка, пресса, верстака). Проверка может осуществляться как самим рабочим, так и работником ОТК визуально или с помощью инструментов или приспособлений, указанных в технологической карте. Контроль может быть 100%-ным или выборочным. В процессе контроля может быть произведена необходимая подналадка оборудования или инструмента. На приемку ОТК должны предъявляться только годные детали и узлы, проверенные самим исполнителем. При забраковке деталей или узлов они возвращаются на доработку.

Профилактический контроль предусматривает проверку соблюдения технологического процесса и качества выпускаемой продукции, предупреждение массового брака. Необходимость профилактического контроля и выбор его метода определяются результатом предшествующего статистического анализа, который помогает выявить и устранить основные причины, вызывающие появление брака, и установить технологические факторы, на которые необходимо обратить особое внимание при проведении профилактического контроля. Этот вид контроля должен осуществляться квалифицированными рабочими, контрольными и производственными мастерами и технологами. Главное внимание технического персонала цеха должно быть направлено на проверку состояния основного оборудования и оснастки, а также на проверку соблюдения технологических режимов. Проверочные замеры производят точными универсальными и контрольными инструментами, приспособлениями и приборами.

Выявившиеся при проверке нарушения технологического процесса, дефекты продукции и средств производства оформляются актом проверки и анализируются. По результатам проверки принимаются соответствующие решения и вырабатываются мероприятия по устранению дефектов. При повторных проверках следует обращать внимание на выполнение ранее утвержденных мероприятий. В случае возникновения массового брака, а также при внесении крупных изменений в конструкторскую документацию и технологические процессы профилактический контроль проводится вне очереди. За организацию и проведение контроля несут ответственность начальники цехов и начальник ОТК завода.

Контроль наладки проводится при введении нового оборудования или измерительного комплекса в процессе изготовления изделия. После проведения наладочных работ наладчик обязан изготовить небольшую партию деталей и предъявить их ОТК. Иногда этот вид контроля сочетается с другими видами для повышения качества выпускаемой продукции (например, профилактический контроль, контроль режимов).

Выборочный и статистический контроль, как

правило, проводят только при крупносерийном и массовом производстве. При выборочном (или статистическом) контроле по результатам проверки части изделий судят о годности всей предъявляемой продукции. Этот вид контроля осуществляется методом однократной выборки.

Метод однократной выборки состоит в следующем. Из партии готовой продукции произвольно извлекается  $N$  изделий. В ТУ на изделие предусматривается объем  $N$  и норма количества годных изделий  $C$  в общем количестве выборки. В том случае, когда из  $N$  изделий оказалось  $M$  дефектных или не соответствующих ТУ на изделия, при  $M > C$  партия не принимается и бракуется, при  $M \leq C$  партия признается годной. После испытаний принимается решение. Возможны три вида решений: принять партию, продолжить контроль (извлечь еще одну или еще несколько выборок) или забраковать всю партию. Забракованная партия может быть подвергнута сплошной проверке или полностью изъята и возвращена исполнителю для разбраковки и исправления.

Главным, что определяет надежность выборочного контроля, является нормированное количество изделий, подлежащих контролю и условия, на основе которых выносится решение о годности партии. Выборочный контроль приводится в картах технологического процесса в виде специальной операции с размерами и параметрами, подлежащими проверке, и средствами контроля.

При хорошо организованном технологическом процессе выборочный контроль может быть осуществлен на промежуточных и окончательных операциях (выходной контроль).

### **§ 57. Методы неразрушающего контроля качества изделий**

Широкое внедрение в РЭА изделий микроэлектроники предъявляет повышенные требования к их надежности и совершенствованию электрических методов функционального контроля качества, применяемых при изготовлении изделий.

Совершенствование этих методов связано со значительными затратами на создание автоматизированных и неавтоматизированных измерительных систем, что не всегда экономически целесообразно.

Так, например, при проверке всех комбинаций схемы с 75 входами и 25 элементами с помощью устройства, которое работает по принципу функционального контроля и позволяет проводить  $10^4$  проверок в 1 с, потребуется  $10^{19}$  лет.

Пример достаточно наглядно показывает, что электрические методы функционального контроля не всегда отвечают современным требованиям отыскания неисправностей даже в автоматизированных системах. Кроме того, эти методы имеют ряд существенных недостатков: не позволяют обнаружить скрытые дефекты; имеют недостаточную достоверность измерения из-за вносимых в процессе измерения искажений; требуют большого количества измерительных приборов.

Одно из перспективных направлений по повышению качества и надежности изделий микроэлектроники — создание методов и средств неразрушающего контроля. Под неразрушающим контролем понимают проведение любого измерения, которое позволит оценить параметр или показатель качества изделия без ухудшения присущих ему в момент контроля свойств.

Наибольшее распространение получили методы, основанные на исследовании структуры контролируемого вещества с помощью электромагнитных колебаний с различными длинами волн (оптические, рентгеновские, электрические и электрофизические).

В оптическом диапазоне видимая часть спектра используется для визуального контроля, а инфракрасная — в ИК-интроскопии. Методы визуального контроля используют для определения поверхностных повреждений, правильности монтажа и расположения элементов и др. Контроль осуществляют с помощью различных увеличительных линз и микроскопов, а также лазерных профилометров, средств голографии и др. Недостатком этого метода является невозможность выявления скрытых дефектов.

Электрические и электрофизические методы контроля основаны на использовании взаимодействия контролируемого вещества с электромагнитными волнами радиодиапазона (измерение шумовых характеристик, томография, фото-эдс, микроволновое зондирование и др.).

Рентгеновские методы контроля основаны на изменении контрастности изображения (из-за различных коэффициентов ослабления) основного материала и дефектных структур при прохождении через них рентгеновских лучей. Эти методы используют для обнаружения скрытых дефектов изделия (механические повреждения, инородные включения, аномалии и др.).

В качестве примера рассмотрим рентгеновский метод неразрушающего контроля — рентгенодефектоскопию. Функциональная схема рентгенотелевизионного микроскопа приведена на рис. 100.

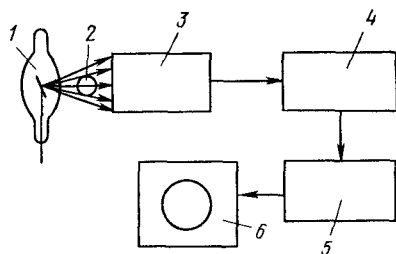


Рис. 100. Функциональная схема рентгенотелевизионного микроскопа

Пучок рентгеновских лучей, создаваемый рентгеновской трубкой 1, проходя через изделие 2, проектируется на рентгеновидиконе 3. После преобразования оптического изображения в электрические сигналы, последние усиливаются в усилителе-преобразователе 4 и поступают на телевизионное устройство 5 для воспроизведения на кинескопе 6.

Проникающая способность рентгеновских лучей зависит от длины волны и мощности излучения. Чем больше энергия и меньше длина волны, тем глубже в вещество проникают лучи.

С помощью рентгенотелевизионного микроскопа можно обна-

ружить следующие дефекты в интегральных микросхемах: обрывы, пережимы и короткое замыкание выводов транзисторов, перегор и уменьшение диаметров выводов и проводников, нарушение топологии, прогиб корпуса, нарушение расположения элементов в результате термокомпрессии и др. Этим методом можно производить контроль любых изделий электронной техники, которые не меняют своих свойств под действием рентгеновского облучения.

Наибольшее распространение в приборостроении получили методы контроля шумовых характеристик и теплового поля. Эти методы основаны на том, что неоднородности в различных электрических соединениях и кратковременные замыкания или обрывы внутри радиоэлементов (например, микросхем) являются источниками генерирования радиочастотного шума или повышения температуры, которые могут быть зарегистрированы соответствующими индикаторами (приемниками излучения).

В качестве приемников излучения могут использоваться фотоэлектрические и тепловые приборы или термолкраски, изменяющие цвет под действием тепла.

В настоящее время выпускаются различные приборы и измерительные комплексы неразрушающего контроля. Так, агрегатный комплекс АКНТ, содержащий приборы, основанные на использовании основных физических методов неразрушающего контроля (магнитных, магнитопорошковых, электромагнитных, радиационных, ультразвуковых, оптических, инфракрасных, капиллярных), позволяет обнаруживать дефекты (трещины, некачественную пайку и сварку и др.), изменение геометрических размеров (толщину покрытий, величину зазоров и др.), контролировать физические (электромагнитные, механические) свойства материалов на всем технологическом процессе производства отдельных элементов и аппаратуры в целом.

Для автоматизации контроля и статистического анализа результатов широкое применение находят методы математического моделирования и использования средств вычислительной техники. Широкое внедрение методов и средств неразрушающего контроля в разработку, производство и эксплуатацию РЭА позволяет значительно повысить ее надежность и ремонтпригодность.

### **Контрольные вопросы**

1. Какими характеристиками определяется надежность РЭА?
2. Что такое отказ и какие бывают виды отказов?
3. Какие вы знаете методы резервирования?
4. Каковы способы повышения надежности РЭА?
5. В чем состоит сущность предупредительного контроля?
6. Как организованы регулировочные работы на предприятии?
7. В чем состоит сущность выборочного и статистического контроля?
8. Расскажите об организации системы технического контроля за качеством продукции при производстве РЭА.
9. В чем состоит сущность методов неразрушающего контроля?

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>Глава I. Техническая документация и этапы разработки РЭА</b> . . . .	<b>5</b>
§ 1. Конструкторская и технологическая документация . . . . .	5
§ 2. Этапы разработки РЭА . . . . .	8
<b>Глава II. Общие сведения о производстве РЭА</b> . . . . .	<b>12</b>
§ 3. Особенности производства РЭА . . . . .	12
§ 4. Электрический монтаж РЭА . . . . .	16
§ 5. Оборудование рабочего места радиомонтажника . . . . .	19
<b>Глава III. Печатный монтаж</b> . . . . .	<b>20</b>
§ 6. Понятие о печатном монтаже . . . . .	20
§ 7. Конструкции печатного монтажа . . . . .	22
§ 8. Материалы, применяемые для изготовления оснований печатных плат . . . . .	24
§ 9. Методы изготовления печатных плат . . . . .	25
§ 10. Контроль качества печатных плат . . . . .	29
§ 11. Сборка и монтаж узлов и блоков РЭА на печатных платах . . . .	30
§ 12. Пайка печатных плат . . . . .	32
<b>Глава IV. Основы конструирования и регулировки микروэлектронной аппаратуры</b> . . . . .	<b>34</b>
§ 13. Основные направления развития миниатюризации и микроминиатюризации РЭА . . . . .	34
§ 14. Унифицированные функциональные модули (микромодули) . . .	36
§ 15. Интегральные микросхемы . . . . .	39
§ 16. Полупроводниковые интегральные микросхемы . . . . .	46
§ 17. Молекулярные функциональные устройства . . . . .	53
§ 18. Герметизация микроэлементов, микромодулей и микросхем . . .	56
§ 19. Сборка, монтаж и контроль параметров микросхем и микросборок . . . . .	57
§ 20. Сборка, монтаж и регулировка РЭА на микросхемах и микросборках . . . . .	60
<b>Глава V. Общие сведения о регулировке и настройке РЭА</b> . . . . .	<b>65</b>
§ 21. Понятие о процессе регулировки РЭА . . . . .	65
§ 22. Техническая документация, необходимая для регулировки и ремонта РЭА . . . . .	67
§ 23. Общие методы настройки и регулировки РЭА . . . . .	70
§ 24. Методы определения неисправностей в радиоприемниках и магнитолах . . . . .	71
§ 25. Методы обнаружения и устранения неисправностей в телевизионном приемнике цветного изображения . . . . .	76
<b>Глава VI. Электрорадиоизмерения</b> . . . . .	<b>78</b>
§ 26. Значение и особенности радиотехнических измерений . . . . .	78
§ 27. Единицы и оценка погрешностей измерений . . . . .	79

§ 28. Измерительные приборы и их классификация . . . . .	80
§ 29. Измерение напряжений и токов в цепях РЭА . . . . .	83
§ 30. Приборы и методы измерений параметров цепей РЭА с сосредоточенными постоянными . . . . .	87
§ 31. Особенности радионизмерения в диапазоне СВЧ . . . . .	90
§ 32. Методы измерения частоты и применяемые приборы . . . . .	95
§ 33. Измерительные генераторы, используемые для регулировки РЭА . . . . .	97
§ 34. Электронно-лучевые измерительные приборы (осциллографы), используемые для регулировки РЭА . . . . .	102
<b>Глава VII. Регулировка и испытания выпрямителей . . . . .</b>	<b>104</b>
§ 35. Источники питания РЭА, назначение и классификация выпрямителей . . . . .	104
§ 36. Схемы выпрямителей . . . . .	104
§ 37. Регулировка выпрямителей . . . . .	107
<b>Глава VIII. Регулировка и испытание усилителей звуковой частоты (УЗЧ) . . . . .</b>	<b>111</b>
§ 38. Функциональная и принципиальная схемы УЗЧ . . . . .	111
§ 39. Особенности сборки, монтажа и проверки УЗЧ . . . . .	117
§ 40. Настройка и регулировка УЗЧ . . . . .	119
§ 41. Методика испытаний УЗЧ . . . . .	123
<b>Глава IX. Регулировка и испытания узлов и блоков радиоприемного устройства . . . . .</b>	<b>128</b>
§ 42. Функциональные схемы и основные характеристики радиоприемного устройства . . . . .	128
§ 43. Настройка и регулировка УРЧ . . . . .	134
§ 44. Настройка и регулировка УПЧ . . . . .	138
§ 45. Настройка и регулировка амплитудного и частотного детекторов . . . . .	141
§ 46. Регулировка и настройка цепи АРУ . . . . .	146
<b>Глава X. Настройка и регулировка видеоусилителей и усилителей постоянного тока . . . . .</b>	<b>148</b>
§ 47. Настройка и регулировка видеоусилителей . . . . .	148
§ 48. Настройка и регулировка усилителей постоянного тока . . . . .	153
<b>Глава XI. Испытания радиоэлектронной аппаратуры . . . . .</b>	<b>155</b>
§ 49. Воздействие внешних условий на работоспособность РЭА . . . . .	155
§ 50. Виды испытаний РЭА . . . . .	157
§ 51. Оборудование для проведения испытаний . . . . .	159
§ 52. Электромагнитная совместимость . . . . .	160
<b>Глава XII. Надежность РЭА и технический контроль качества радио-монтажных и регулировочных работ . . . . .</b>	<b>161</b>
§ 53. Основные понятия и определения надежности и качества РЭА . . . . .	161
§ 54. Повышение надежности РЭА в процессе проектирования и эксплуатации . . . . .	166
§ 55. Повышение надежности и качества РЭА в процессе производства . . . . .	168
§ 56. Методы контроля качества продукции в процессе производства . . . . .	170
§ 57. Методы неразрушающего контроля качества изделий . . . . .	172