Начальное профессиональное образование

В. П. Петров

ВЫПОЛНЕНИЕ МОНТАЖА И СБОРКИ СРЕДНЕЙ СЛОЖНОСТИ И СЛОЖНЫХ УЗЛОВ, БЛОКОВ, ПРИБОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, АППАРАТУРЫ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ, ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛОВ ИМПУЛЬСНОЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Учебник

Профессиональный модуль

ACADEMA

соответствует ФГОС

УДК 621.3(075.32)
ББК 31.2:32.84я722
П305

Рецензент —
мастер производственного обучения Государственного бюджетного образовательного учреждения среднего профессионального образования «Политехнический колледж № 50» *Т. В. Гнусарева*

Петров В.П.

П305 Выполнение монтажа и сборки средней сложности и сложных узлов, блоков, приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники : учебник для нач. проф. образования / В.П.Петров. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 272 с.

ISBN 978-5-7695-9547-9

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по профессии 210401.02 «Монтажник радиоэлектронной аппаратуры и приборов», ПМ.01 «Выполнение монтажа и сборки средней сложности и сложных узлов, блоков, приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники».

Рассмотрены технология монтажных и сборочных работ при производстве электронных устройств: выполнение электромонтажных операций, навесного и поверхностного монтажа, сборка сложных радиотехнических изделий, создание электрических соединений и др. Приведены характеристики используемых технологических материалов и оборудования, правила оформления технической документации, составления и чтения принципиальных схем и схем электрических соединений. Освещены вопросы организации рабочего места, соблюдения требований техники безопасности и охраны труда.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.3(075.32)
ББК
31.2:32.84я722

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

ISBN 978-5-7695-9547-9

© Петров В. П., 2013
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

Предисловие

Стремительное развитие электроники, сопровождаемое поисками эффективных конструкторских и технологических решений, создает условия для возникновения принципиально новых многофункциональных электронных устройств, что в свою очередь вызывает революционные решения в области разработки новых приборов и элементной базы, совершенствования технологических приемов и материалов. На этом фоне происходит дальнейшее уменьшение размеров элементов электроники, увеличение интеграции, переход к нанотехнологиям. Современный уровень интеграции позволяет в одном пластмассовом корпусе реализовать не только отдельные элементы, но и целые устройства. На одном полупроводниковом кристалле, например, размерами 2 х 2 см может быть реализован и радиоприемник, и радиостанция.

Эти успехи не возможны без дальнейшего развития технологий, использования современных конструкционных материалов. В настоящее время все интенсивнее происходит переход от методов объемного монтажа к поверхностному с использованием миниатюрной элементной базы и новых материалов. Продвижению этой технологии способствовало широкое применение вычислительной техники при конструирования печатных плат, моделировании и анализе принципиальных схем, что позволило перейти к созданию двухсторонних и многослойных плат, тем самым резко сокращая размеры электронных изделий, увеличивая надежность, уменьшая потери мощности.

В производстве электронных устройств сокращается число операций, в которых участвует человек: современные системы автоматизированного монтажа позволяют весь цикл монтажных операций проводить практически в одной промышленной установке.

Овладение современными методами монтажа электронных приборов и устройств, строгое соблюдение последовательности технологических операций при сборке электронных устройств, знание новых конструкционных материалов, современной элементной базы, свободное владение правилами чтения и составления принципиальных схем, умение определять номиналы и типо-

размеры — от резисторов до микросхем — являются основой для высококвалифицированного радиомонтажника. Широкое распространение сетевых и информационных технологий требует технического кругозора и эрудиции, умения приспосабливаться к требованиям технического прогресса, иметь знания в микропроцессорном управлении, системах беспроводной связи, оптических, лазерных и других устройствах.

Проверка собранного и смонтированного радиоэлектронного устройства является одним из важнейших этапов серийного производства с точки зрения исключения возможного брака и нерациональных расходов производства. Одним из главных составляющих этого процесса является искусство настройки и регулировки смонтированного оборудования с использованием современных измерительных приборов и устройств. В одном ряду с этим стоит также владение приемами повышения надежности электронных изделий, уменьшения энергопотерь, реализация эффективного теплоотвода, что обеспечивается грамотными действиями при выполнении сборки изделий.

Понятно, что в ограниченных рамках учебника невозможно дать полное освещение всех затрагиваемых вопросов современной технологии сборки и монтажа электронных устройств, особенностям конструкций и характеристик элементной базы и измерительных приборов. Надеюсь, что предложенный список литературы и другие справочные материалы помогут обучающимся пополнить «копилку» недостающих знаний, в том числе и по темам, недостаточно полно раскрытым в учебнике.

Автор выражает благодарность сотрудникам и преподавателям Колледжа автоматизации и радиоэлектроники № 27 имени П. М. Вострухина за ценные рекомендации, высказанные ими при подготовке рукописи учебника.

Раздел I

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Глава 1
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В мировом электронном сообществе принято использовать некоторые общеизвестные понятия и определения для классификации составляющих изделий электронной техники.

К ***электронным устройствам*** относят промышленные изделия, которые создают для выполнения каких-либо конкретных задач в быту или на производстве, например телевизоры, видеомагнитофоны, проигрыватели и другие устройства, на основе элементной базы электронной техники с возможностью использования в качестве исполнительных элементов механизмов электромеханического действия. Электронное устройство может быть выполнено как в одном корпусе, так и в виде отдельных блоков и модулей, объединенных механически и связанных одной электрической цепью.

К электронным устройствам относят радиоэлектронные устройства (РЭУ), которые используют для приема и передачи информации с помощью радиочастотных сигналов под цифровым или аналоговым управлением.

К ***электронным приборам*** можно отнести измерительные приборы, датчики, генераторы и т.д. Электронные приборы могут быть выполнены на одном шасси или в виде отдельных модулей и субмодулей, расположенных на одной печатной плате и изготовленных в одном технологическом или сборочном процессе. В качестве основания для монтажа электронного изделия в рамках еди-

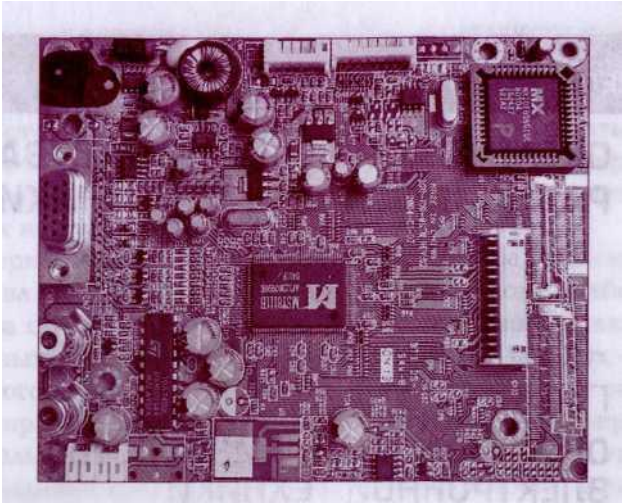


Рис. 1.1. Электронное шасси в сборе

ной принципиальной схемы выступает шасси (основание панели). Это обеспечивает экономию пространства, унифицирование производства, простоту настройки, обслуживания и замены.

Шасси (рис. 1.1) — это часть изделия или прибора в виде твердого изолированного основания, на котором проводится монтаж радиоэлементов, а электрические соединения выполнены с помощью пайки, скрутки, сварки или клепки.

Модуль — электронное изделие, обеспечивающее выполнение некоторой задачи в составе электронного устройства и состоящее, как из дискретных полупроводниковых элементов, так и элементов поверхностного монтажа. Модуль самостоятельного значения не имеет и связан с базовой схемой цепями питания и управления. Он может быть выполнен на общем шасси с устройством, но отделен от него прерывистой (сплошной) белой линией или перфорацией и включает в себя отдельные электронные компоненты, объединенные одной электрической цепью. Примеры модулей: модуль цветности в телевизоре, модуль цифровой обработки сигналов, модуль выходных усилителей в радиоприемнике. Использование модульной конструкции в специальной технике увеличивает ее ремонтопригодность, повышает эффективность наладки и замены.

Субмодуль — отдельное электронное изделие, которое не может быть использовано самостоятельно и является дополнением к модулю, в составе которого он выполняет узконаправленное действие. Субмодуль имеет с модулем один источник питания и под-

ключается к модулю с помощью разъема или пайки. Субмодули, имеющие соединение с модулем в виде скользящего или временного контакта, дополнительно должны иметь механическое крепление. В качестве примера можно привести субмодуль обработки стереосигналов в канале звука, субмодуль приема-передачи высокочастотного (ВЧ) сигнала в мобильном телефоне и др.

Блок электронного изделия выполняется в одном корпусе и имеет источник автономного питания постоянного или переменного тока. Блок можно считать одной из разновидностей электронного устройства.

Электронные компоненты (радиоэлементы) составляют элементную базу устройства, их работа основана на принципах электроники. Они выполняют отдельную элементарную функцию (усиление, сопротивление, включение, отключение) в электрических сетях и, как правило, герметично упакованы в одном жестком корпусе (пластмасса или металл). К электронным компонентам относят транзисторы, резисторы, конденсаторы и др. (рис. 1.2).

Интегральные схемы (ИС) — многофункциональные электронные компоненты по обработке электрических сигналов, сформированные из электрически связанных транзисторов, диодов, резисторов, изготовленные на одном полупроводниковом основании по планарной технологии, в одном пластмассовом корпусе. ИС бывают аналоговые, цифровые, усилительные, логические и т.д.

Гибридные схемы имеют такое же назначение, что и схемы (микросхемы) в интегральном исполнении. Выполнены из разнородных элементов по технологии смешанного монтажа, которые

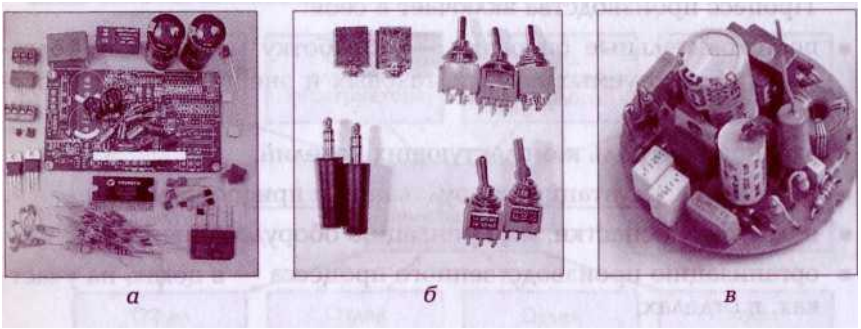


Рис. 1.2. Электронные компоненты:
а – набор активных элементов; б – переключатели и разъемы; *в* – пассивные элементы

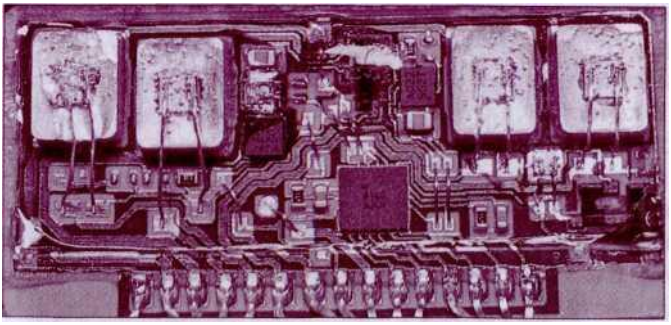


Рис. 1.3. Внешний вид гибридной схемы

заливаются сверху компаундом (рис. 1.3). Центральным звеном гибридной схемы является интегральная микросхема (ИМС), определяющая ее основные параметры и характеристики.

1.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ

Производство электронной аппаратуры и приборов — сложный и многогранный процесс современного производственного комплекса, основанный на строгом соблюдении технологии процесса, химической чистоте используемых материалов, использовании высокоточного и технологичного оборудования высококвалифицированным персоналом.

Процесс производства включает в себя:

- подготовительные операции — обработку материалов, подготовку используемых водных, газовых и энергетических ресурсов;
- входной контроль комплектующих изделий;
- запуск и эксплуатацию оборудования и приспособлений;
- подготовку оснастки, модернизацию оборудования;
- организацию производственного процесса — в цехах, на участках, в отделах;
- разработку новых изделий;
- испытания и контрольные операции по проверке качества произведенной продукции;

- организацию рекламы и мониторинг рынка;
- организацию сбыта произведенной продукции.

Подготовительные операции обеспечиваются соответствующими службами и отделами.

К подготовительным операциям относят:

- обеспечение энергоснабжения;
- обеспечение чистоты и химического состава воды;
- обеспечение мероприятий по поддержанию микроклимата в производственных помещениях;
- обеспечение качества расходных материалов (смесей, обтирочного протирочного материала, спиртосодержащих жидкостей);
- экологическую безопасность;
- охрану труда и технику безопасности.

При современном состоянии электронной техники ее производство возможно только на высокоорганизованных, хорошо оборудованных предприятиях при широком использовании полностью автоматизированных линий. Типичная структура производства показана на рис. 1.4.

Структура предприятия крупносерийного производства включает в себя службы, цеха и участки. Службы выполняют функции вспомогательного производства, обеспечивая основное производство материалами и инструментами, следят за работоспособностью оборудования, снабжением электроэнергией, разрабатывают конструкторскую и технологическую документацию, контролируют состояние склада комплектующих и готовой продукции. Особое место занимает отдел технического контроля (ОТК) — его за-

Рис. 1.4. Схема организации производства

дача обеспечить качество выпускаемой продукции, контролировать правильность технологического процесса. В производственных цехах сосредоточен весь технологический процесс. Цеха могут быть многопрофильные, выпускающие целую номенклатуру продукции, и узкопрофильные для выпуска особо важной продукции. Для лучшей управляемости производством в цехах создаются производственные участки, ориентированные, как правило, на отдельные операции или выпуск изделия одного наименования. Основным звеном участка является рабочее место.

Отдел техники безопасности является важной вспомогательной службой, предназначенной для контроля за соблюдением требований охраны труда. За выполнением требований промышленной санитарии следят технологические службы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие операции входят в производственный процесс изготовления электронных изделий?
2. Дайте краткое описание структуры производства электронной техники.
3. Какие производственные действия относятся к подготовительным операциям?
4. Назовите составные части электронного изделия.
5. Какие изделия можно отнести к электронным приборам?

Глава 2

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЭА

2.1. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Мероприятия по охране труда (ОТ) и технике безопасности (ТБ) определяются специальными инструкциями, регламентирующими действия любого участника производственного процесса. Мероприятия по ТБ и ОТ отражаются в технологической и конструкторской документации, а также в инструкциях на рабочем месте. Монтажные и сборочные операции связаны с работами электрифицированным и монтажным инструментом.

К работе с ручным электрифицированным инструментом (паяльное оборудование, измерительная техника) допускаются лица с квалификацией не ниже II группы, обученные безопасным методам работы с ним. При выполнении пайки на работника могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы:

- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны парами вредных химических веществ;
- повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев;
- случайное попадание на оголенные участки тела расплавленных брызг припоев и флюсов;
- опасные напряжения в электрической цепи при выполнении настроечных работ.

Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при использовании припоев, флюсов, паяльных паст, связующих веществ и растворителей должны проводиться при включенных общеобменной и местной вытяжной вентиляции.

При выполнении паяльных работ с использованием паяльников, паяльных станций и фенов следует строго следовать инструкциям. Кабель паяльника должен быть защищен от случайного механического повреждения и соприкосновения с горячими деталями. Паяльное оборудование устанавливается в зоне действия местной вытяжной вентиляции на огнезащитные подставки, исключающие его падение. Излишки припоя и флюса с жала паяльника снимают с ис-

пользованием материалов, указанных в технологической документации (хлопчатобумажные салфетки, асбест и др.).

Пайку малогабаритных изделий в виде штепсельных разъемов, наконечников, клемм и других аналогичных изделий производят, закрепляя их в специальных приспособлениях, указанных в технологической документации (зажимы, струбцины и другие приспособления). При пайке печатной платы она крепится на специальном зажимном столике с использованием поворотного устройства.

Во избежание ожогов расплавленным припоем при распайке проводов запрещено извлекать их из распаечного гнезда с применением силы. Флюс на соединяемые места наносят кисточкой, фарфоровой лопаткой или путем распыления с использованием средств индивидуальной защиты дыхательных путей.

Так как при изготовлении печатных плат имеют место операции травления и использование активных химических соединений, радиомонтажник должен знать безопасные правила работы с кислотами и щелочами, а также законы химии о возможных реакциях и воздействиях их продуктов на человеческий организм. При работе с кислото- и щелочесодержащими растворами необходимо в обязательном порядке пользоваться индивидуальными средствами защиты, а также владеть способами нейтрализации химически активных веществ при случайном попадании на кожу или вовнутрь организма.

2.2. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НАСТРОЙКЕ И НАЛАДКЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Прежде чем приступить к настройке и регулировке электронной аппаратуры, ее ремонту и диагностике, необходимо изучить:

- инструкции по эксплуатации изделий, технологические инструкции, инструкции по технике безопасности и производственной санитарии, а также приемы оказания первой медицинской помощи;
- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

Радиомонтажники, выполняющие настройку и наладку электронных изделий, подвергаются опасности случайного касания токопроводящих элементов и должны иметь третью группу допуска к работе с электрическими приборами.

Электрифицированный инструмент допускается запитывать от штатной электросети через переносные понижающие трансформаторы или преобразователи. Запрещается применение добавочных сопротивлений для понижения напряжения. Длина проводов подключаемых измерительных приборов не должна приводить к непроизвольным отключениям приемников тока при случайных механических воздействиях на них и не должна допускать случайных прикосновений к токоведущим частям.

На отключенном от электрической сети изделии измерительными приборами проверяют отсутствие напряжения в контрольных точках. На некоторых изделиях сохраняется высокий заряд даже после отключения от сети (конденсаторы блока питании, анод кинескопа и др.), поэтому перед началом диагностики эти элементы принудительно разряжают.

Переносные измерительные приборы должны располагаться так, чтобы при чтении их показаний исключалось опасное приближение к частям, находящимся под напряжением.

Настройку изделий с помощью переменных резисторов, построечных конденсаторов и т.п., имеющих ось со шлицем, разрешается производить неизолированными отвертками только через специальные отверстия в наружных панелях изделия и при условии полного исключения возможности касания любых токоведущих частей. При регулировке в открытых цепях сердечников индуктивных элементов используются изолированные диэлектрические отвертки. Если в процессе проведения работ необходимо провести контрольные замеры в ряде точек схемы, то эту работу разрешается выполнять одним прибором, причем замеры производятся в контрольных точках схемы штекерным концом провода, идущего от измерительного прибора. Штекерный наконечник для схем напряжением до 1 000 В должен иметь длину не менее 70 мм. Изоляция проводов, применяемых при замерах, должна быть рассчитана на трехкратное рабочее напряжение схемы.

Регулировочные и монтажные работы на электроустановках подразделяют на две группы.

1. ***Работа без снятия напряжения.*** В этом случае надо принять меры безопасности от прямого воздействия электрического тока и придерживаться следующих правил:

- подключать прибор или установку с открытыми токоведущими частями к сети только через разделительный лабораторный автотрансформатор (ЛАТР);
- напряжение питания подавать постепенно и работать на минимально допустимом напряжении;

- пользоваться измерительным инструментом с хорошо изолированными ручками и соответствующей длины;
- пользоваться индивидуальными дополнительными средствами защиты — резиновые коврики, обувь, изолирующие ручки инструментов;
- не приступать к работе с мокрыми руками и в больном состоянии;
- перед началом работы снимать с рук и других частей тела металлические предметы (броши, цепи, часы и т.д.);
- подключение наконечников измерительных приборов проводить при отключенном оборудовании;
- в первую очередь к измеряемой части схем подключать корпусной провод прибора, а затем — сигнальный;
- убедиться, что длина проводов позволяет проводить измерения без опасного натяжения и неожиданного отключения от места контакта.

2. ***Работы со снятием напряжения.*** В этом случае необходимо исключить любую возможность случайного подключения к сети питания, для чего перед началом работ извлекают все предохранители. При отсутствии в схеме предохранителей предотвращение включения коммутационных аппаратов должно быть обеспечено закрытием кнопок управления, установкой между контактами коммутационного аппарата изолирующих прокладок и закорачивающих устройств на токоведущие цепи. Отключенное положение определяется проверкой отсутствия напряжения на входных зажимах оборудования указателем напряжения, при этом не допускается пользоваться контрольными лампами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем обеспечивается безопасная работа монтажник радиоэлек-
2. Какими правилами руководствуется монтажник РЭА при про-
3. В каких случаях допускается работа без снятия электричества?
4. Какие опасности для здоровья монтажника имеют место при
5. Что нужно сделать, чтобы убедится что изделие не находится

Глава 3
ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ САНИТАРИЯ

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Промышленная санитария — это комплекс мероприятий, требуемых для поддержания рабочих условий труда в целях повышения его производительности и качества выпускаемой продукции, сохранения здоровья работающих в условиях воздействия на них производственных факторов, сопутствующих технологическим и сборочным операциям.

К области промышленной санитарии относят:

- постоянное поддержание рабочих помещений и рабочих мест в чистоте;
- снижение до допустимых норм воздействия вредных газов, пыли, шума, лучистой и высокочастотной энергии;
- обеспечение заданных норм освещения, отопления, вентиляции в производственных помещениях и на рабочих местах.

В производстве электронной техники существует понятие класс чистоты, при котором допускается производство тех или иных приборов (табл. 3.1).

Различают чистые зоны и чистые комнаты. К чистым зонам относят производственные помещения, в которых проводят подготовительные операции — склады материалов, комнаты отдыха персонала, проходные коридоры. К чистым комнатам относят помещения, в которых происходит основной производственный процесс, требующий особых условий чистоты.

Класс чистоты определяется количеством частиц пыли в 1 м^3 помещения. В соответствии с международным стандартом 209F имеет место 8 классов чистоты: 0; 1; 10; 100; 1 000; 10 000; 100 000; 1 000 000. В табл. 3.1 приведены упрощенные требования к чистым комнатам в соответствии с их классом.

Каждый вид производства электронной техники предусматривает свой уровень требований к чистоте помещения, где проводятся работы.

Таблица 3.1. **Требования к чистым комнатам классам чистоты**

Класс чистоты		Содержание частиц в 1 м³ помещения		Интенсивность воздухообмена, обменов/ч	Избыточное давление в чистой комнате, Па относительно чистых зон
ГОСТ Р 14644.1—2002	Международный стандарт 209Е	диаметром 0,3 мкм	диаметром 0,5 мкм		
1	0	10	4	Не контролируется	—
2	1	102	35	То же	—
3	10	1 020	352	540*	15
4	100	10 200	3 520	500*	15
5	1 000	—	35 200	300*	15
6	10 000	—	352 000	180	10—15
7	100 000	—	3 520 000	60—120	10—15
8	1 000 000	—	35 200 000	—	—
9	10 000 000	—	352 000 000	—	—

* При скорости ламинарного (однонаправленного) потока воздуха 0,3—0,5 м/с.

Таблица 3.2. Требования к климатическим условиям помещений при производстве электронной техники

Показатели температурно-климатических условий (ТКУ)	Значение параметра ТКУ	
	Период года	
	холодный	теплый
Оптимальная температура воздушной среды,” С	21±1	23±1
Допустимое значение относительной влажности воздуха	50±5	
Скорость изменения оптимальной температуры или относительной влажности воздуха, период	Не более 1 ч	
Скорость воздушного потока, м/с	0,15—0,25	

При производстве изделий электронной техники предусмотрено устанавливать следующие классы чистоты:

- на рабочих местах, наиболее критичных при производстве (фотолитография, диффузия, напыление), — не выше 100;
- в помещении без сборки и герметизации — 1 000;
- на участке сборки и герметизации — 10 000 (проведение монтажных и сборочных работ в электронной промышленности).

В помещениях, связанных с производством электронной техники, температура и влажность должны соответствовать определенным требованиям (табл. 3.2).

3.2. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В производственных помещениях для монтажных и радиотехнических работ должна проводится постоянная вентиляция воздуха. Ее задача — не допускать загрязнения воздуха производственных помещений газами, парами и пылью выше допустимых концентраций.

Все многообразие систем вентиляции, обусловленных назначением помещений, характером технологического процесса, видом вредных выделений и другими показателями, можно классифицировать следующим образом:

- по способу создания давления для перемещения воздуха: *с естественным* и *искусственным (механическим) побуждением;*
- по назначению: *приточные* и *вытяжные;*
- по зоне обслуживания: *местные* и *общеобменные;*
- по конструктивному исполнению: канальные и бесканальные.

Перемещение воздуха в системах ***естественной вентиляции*** происходит:

- вследствие разности температур наружного (атмосферного) воздуха и воздуха в помещении — так называемой аэрации;
- вследствие разности давлений «воздушного столба» между нижним уровнем — обслуживаемым помещением и верхним уровнем — вытяжным устройством (дефлектором), установленным на кровле здания;
- в результате воздействия ветрового давления.

Системы естественной вентиляции просты и не требуют сложного дорогостоящего оборудования и расхода электрической энергии. Однако зависимость эффективности этих систем от климатических факторов (температуры воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшая разность давлений на входе и выходе не позволяют решать с их помощью сложные и многообразные задачи вентиляции производственных помещений.

В ***искусственных*** (***механических***) ***системах вентиляции*** используются оборудование и приборы (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, пылеуловители, автоматические климат-устройства и др.), позволяющие перемещать воздух на значительные расстояния. Такие системы вентиляции могут подавать и удалять воздух из локальных зон помещения в требуемом количестве независимо от изменяющихся условий окружающей воздушной среды.

Приточные системы вентиляции служат для подачи в вентилируемые помещения чистого воздуха взамен удаленного. Приточный воздух в необходимых случаях подвергается специальной обработке (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.).

Вытяжная вентиляция удаляет из помещения (цеха, корпуса) загрязненный или нагретый отработанный воздух.

В общем случае в помещении предусматриваются как приточные, так и вытяжные системы вентиляции. Их производительность должна быть сбалансирована с учетом возможности поступления воздуха в смежные помещения или из смежных помещений. Как приточная, так и вытяжная вентиляция может устраи-

ваться на рабочем месте (местная) или для всего помещения (общеобменная).

Местная вентиляция используется для подачи воздуха на рабочие места (местная приточная вентиляция) и удаления загрязненного воздуха от мест образования вредных выделений (местная вытяжная вентиляция).

К местной приточной вентиляции относятся воздушные души (сосредоточенный приток воздуха с повышенной скоростью), которые снижают температуру окружающего воздуха и обеспечивают обдув рабочих, подвергающихся интенсивному тепловому облучению.

Местную вытяжную вентиляцию применяют, когда места выделений вредностей в помещении локализованы и нельзя допустить их распространения по всему помещению. Она обеспечивает улавливание и отвод вредных газов, дыма, пыли и частично выделяющегося от оборудования тепла. Для удаления вредных веществ с рабочих мест применяют местные системы отсоса (шкафы, зонты, бортовые отсосы, завесы и др.).

Общеобменная приточная вентиляция устраивается для ассимиляции избыточного тепла и влаги, разбавления вредных концентраций паров и газов, не удаленных местной и общеобменной вытяжной вентиляцией, а также для обеспечения расчетных санитарно-гигиенических норм и свободного дыхания человека в рабочей зоне.

Общеобменная вытяжная вентиляция применяется для поддержания воздухообмена и удаляет его из ближайшей к вентилятору зоны помещения.

Если вредными выделениями в цехе являются тяжелые газы или пыль и нет тепловыделения от оборудования, вытяжные воздуховоды прокладывают по полу цеха или выполняют в виде подпольных каналов.

При выполнении монтажных работ, связанных с пайкой оловом, используют как общеобменную вытяжную вентиляцию, так и местные вытяжные системы — вытяжные панели, которые особенно эффективны при работе со свинцовыми и висмутовыми сплавами.

При выполнении операций травления при производстве печатных плат малых габаритов с применением концентрированных кислот используют вытяжные шкафы. На рабочих столах для обеспечения безопасной протирки печатных плат органическими растворителями устанавливают односторонние бортовые отсосы с щелью по длине стола со стороны, противоположной рабочему месту.

3.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Производственные помещения по выпуску электронных устройств должны быть обеспечены естественным, искусственным и совмещенным освещением. Помещения с постоянным пребыванием персонала должны иметь естественное освещение. В случаях выполнения работ наивысшей точности применяют совмещенное освещение. Искусственное освещение бывает общим (при равномерном освещении помещения), локализованным (при расположении источников света с учетом размещения рабочих мест) и комбинированным — сочетание общего и местного освещения.

Освещенность на рабочих местах должна обеспечивать равномерную яркость в поле зрения, отсутствие резких теней и блескости, постоянство освещенности по времени и правильность направления светового потока. Фактическая освещенность в производственном помещении должна быть больше или равна нормируемой освещенности.

Искусственное освещение реализуется в виде двух источников: ламп накаливания и газоразрядных ламп.

Лампы накаливания просты по конструкции, обладают быстротой разгорания. Но световая отдача их (количество излучаемого света на единицу потребляемой мощности) низкая — 13—15 лм/Вт (лм — люмен от лат. ***lumen*** — свет; единица светового потока в Международной системе измерений СИ).

Газоразрядные лампы имеют световую отдачу 80 — 85 лм/Вт, а натриевые и того более — 115—125 лм/вт. Недостатками газоразрядных ламп являются необходимость специального пускорегулирующего аппарата, длительное время разгорания, пульсация светового потока.

Работа монтажника электронных устройств связана с блестящими металлическими деталями: контактами, выводами, паяными соединениями и т.п., которые практически полностью отражают свет, поступающий от светильника. В этих условиях нецелесообразно использовать точечный источник света, каким является обыкновенная лампа накаливания; предпочтительнее люминесцентные лампы, укомплектованные параболическими решетками, которые рассеивают свет.

Естественное освещение создается солнечным светом через световые проемы. Основной характеристикой естественного осве-

Таблица 3.3. Требования к освещенности рабочих мест при монтаже и сборке электронных устройств

Назначение	$E_ж$, лк	*UGR*	я.
Радиомонтажные работы	750	16	80
Рабочее место для компьютерного проектирования	500	19	80

Примечание. Принятые обозначения в табл. 3.3: $E_{экс}$ — освещенность на рабочем месте в зоне непосредственного зрительного контакта, лк; *UGR* — коэффициент показателя дискомфорта или блескости, характеризующий способность предметов отражать свет; R_a — индекс цветопередачи — уровень соответствия естественного цвета тела с видимым цветом этого тела при освещении его эталонным источником света, максимальная величина — 100.

щения служит коэффициент естественного освещения (КЕО) — отношение естественной освещенности внутри здания ($E_в$) к одновременно измеренной наружной освещенности горизонтальной поверхности ($E_н$).

В табл. 3.3 указаны нормы освещенности при производстве электронной техники.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что относится к области промышленной санитарии? Каково влияние промышленной санитарии на качество работ монтажника электронных устройств?
2. Дайте краткую характеристику чистой зоны и чистой комнаты.
3. Что такое класс чистоты производственного помещения?
4. Какие виды вентиляции используются при производстве электронных изделий?
5. Какие требования предъявляются к освещенности рабочих помещений и рабочего места монтажника РЭА?

Глава 4
ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Уровень сложности современных технологий электронных изделий требует качественного оснащения рабочего места монтажника. Эргономичность рабочего места повышает эффективность труда, снижает утомляемость, уменьшает вероятность ошибок, повышает качество монтажа.

Рабочим местом считается специально выделенный участок производственного помещения, свободная часть площади которого предназначена для размещения сборочного изделия, технологического оборудования, необходимого для производства данной работы, а также измерительных приборов, защитных средств и нахождения самого работающего.

Рабочий стол радиомонтажника (рис. 4.1) — многофункциональное устройство, обеспечивающее удобное расположение ра-

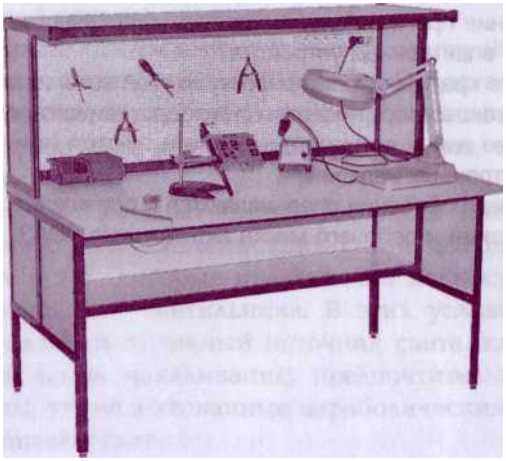


Рис. 4.1. Общий вид рабочего места радиомонтажника

ботника, оптимальное размещение приборов и инструмента и обеспеченное электропитанием, освещением, антистатической защитой и другими дополнительными функциями.

Типоразмеры стола не регламентируются при условии, что столешница должна быть длиной не менее 120 см. Помимо стола для повышения функциональности рабочего места используют тележки, стеллажи, тумбы и т. п.

4.2. ТИПОВАЯ КОМПЛЕКТАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

В типовой комплект рабочего места радиомонтажника входят:

- инструменты;
- монтажное оборудование:
  - ▲ измерительные приборы;
  - ▲ приспособления для хранения комплектующих изделий и компонентов, обеспечивающие безопасную работу и качественное выполнения операций;
  - **A** приспособления и оборудование для выполнения монтажных работ;
- технологические материалы;
- техническая документация:
  - **A** маршрутная и технологическая карты;
  - **A** монтажная и принципиальная схемы собираемого устройства или монтажного узла;
- средства антистатической защиты;
- средства защиты от поражения электрическим током;
- вентиляция и осветительные приборы.

Набор инструментов рабочего стола радиомонтажника должен соответствовать монтажным операциям, выполняемым на рабочем месте, но не перегружать его ненужными принадлежностями.

Рекомендуемый монтажный набор для рабочего стола:

- плоскогубцы;
- круглогубцы;
- пинцет;
- шило;

- отвертки диэлектрические и металлические;
- надфиль;
- напильник;
- специальные инструменты для вскрытия корпуса монтируемого изделия;
- скальпель.

При выполнении работ под напряжением в электрических установках до 220 В должен использоваться монтажный инструмент с изолирующими ручками. Длина изолированной части рукояток инструмента должна составлять 10 см, не менее. Для настройки параметров катушек индуктивности и настройки фильтров используют диэлектрические отвертки.

К ***монтажному оборудованию,*** обеспечивающему выполнение технологических операций (пайка и лужение), относятся:

- паяльник или паяльная станция (рис. 4.2) с набором насадок;
- подставка для паяльника;
- асбестовая салфетка;
- приспособление для удаления изоляции с монтажных проводов;
- платодержатель;
- лупа стационарная с подсветкой;

Рис. 4.2. Паяльная станция с паяльником и монтажным феном

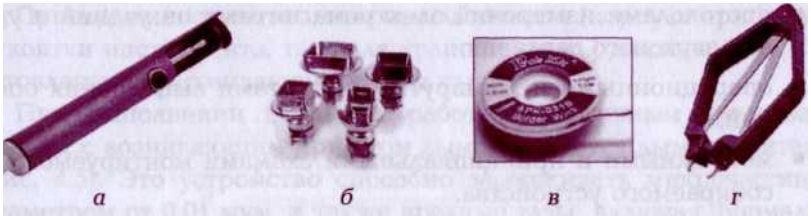


Рис. 4.3. Монтажное оборудование:
а – оловоотсос; б – насадки к фену; в – оплетка; г – экстрактор

- демонтажное устройство больших интегральных схем (экстрактор).

Для выполнения демонтажных операций и исправления брака при монтаже электронного устройства (рис. 4.3) применяют:

- механический или вакуумный оловоотсос;
- «оплетку» для удаления остатков припоя;
- разрядники для снятия остаточного напряжения после выключения устройства;
- демонтажный фен.

К ***технологическим материалам,*** которыми комплектуется рабочий стол, относятся:

- набор батистовых салфеток для протирки инструмента и платы;
- щеточка или кисточка для очистки платы от остатков флюса и нагара;
- спирт ректифицированный;
- аэрозоль для очистки платы;
- аэрозоль для охлаждения радиоэлектронных элементов монтируемого изделия при его наладке, припои и флюсы.

Как правило, технологические материалы хранятся в фарфоровой посуде с притертыми крышками.

Рабочее место для выполнения радиомонтажником технологических операций и настроечно-регулировочных работ должно быть укомплектовано технической документацией:

- схемами соединений испытательного стенда или измерительного оборудования;
- инструкциями по технике безопасности и производственной санитарии при проведении настроечно-регулировочных работ;

- протоколами измерений электромагнитных излучений и уровней звукового давления;
- операционными и маршрутными картами выполнения операций;
- монтажными и принципиальными схемами монтируемого или собираемого устройства.

С ростом степени интеграции и уменьшением размеров элементов на кристалле повышается вероятность повреждения статическим электричеством микросхем, поэтому для работы с электронными модулями должна выделяться специальная антистатическая рабочая зона с покрытием пола антистатическим линолеумом. Для эффективной борьбы со статическими зарядами воздух в производственном помещении должен ионизироваться.

Важной частью рабочего места являются эргономичные стол и кресло. Металлические детали стола и кресла покрывают особопрочной порошковой краской, рассеивающей статические заряды. В зоне проведения основных технологических операций поверхность стола накрывают заземленным настольным ковриком, у которого нижний слой проводящий, а верхний рассеивающий. Коврик должен быть износостойким, негорючим, термостойким от случайных прикосновений разогретым паяльником, не выделять газов, иметь однотонную спокойную расцветку.

К розетке настольного коврика подключается антистатический браслет (рис. 4.4). Как настольный коврик, так и антистатический браслет заземляются резистором сопротивлением 1 МОм.

Кресло должно регулироваться по высоте и положению, обеспечивая максимальную комфортность, иметь возможность легкого перемещения и вращения вокруг своей оси. Обшивка кресла должна быть выполнена из антистатического негорючего материала.

Рис. 4.4. Антистатический браслет Рис. 4.5. Дымоуловитель

Принадлежности и изделия из пластмассы (корпуса приборов, рукоятки инструмента, тара для хранения и др.) должны быть изготовлены из рассеивающего заряд сырья.

При выполнении паяльных работ эффективным средством борьбы с возникающим при этом дымом является дымоуловитель (рис. 4.5). Это устройство способно задерживать микрочастицы диаметром от 0,01 мкм, а также вредные газы, включая формальдегид. Очистка воздуха выполняется с помощью трех фильтров. Дымоуловитель применятся как дополнительное устройство к общей системе приточно-вытяжной вентиляции.

Для выполнения монтажа микроэлементов рабочий стол должен быть укомплектован комбинированным светильником с линзой увеличением три диоптрии (175%) из специального просветленного оптического стекла. Светильники должны предусматривать возможность поворота линзы вокруг горизонтальной оси, снабжены пружинной системой подвески, обеспечивающей легкое перемещение светильника и его фиксацию в любом положении. В отдельных случаях применяют монтажный микроскоп, подключаемый к USB-порту рабочего компьютера.

Для защиты от поражения электрическим током при случайном касании токоведущих частей используют резиновые коврики или дорожки. Минимальные размеры изолирующих резиновых ковриков должны быть 75х75 см, а минимальная ширина изолирующих резиновых дорожек — 75 см.

Особое внимание должно быть уделено защитному заземлению (рис. 4.6) корпусов оборудования, находящегося на рабочем месте или на расстоянии вытянутой руки, которое может оказаться под напряжением в результате аварийной ситуации или по какой-то другой непредвиденной причине. Защитное заземление выполняют жестким фиксированием заземляющего провода к оборудованию и шине заземления. Защитное зануление применяют в случае короткого замыкания рабочего оборудования или значительного повышения тока в электрической сети. Принцип действия защитного зануления заключается в превращении замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание с целью вызвать большой ток короткого замыкания, способный обеспечить срабатывание токовой защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети.

Используемый на рабочем месте электроинструмент должен проходить периодическую проверку. Периодичность проверки переносных и передвижных электроустройств и вспомогательного оборудования проводится не реже 1 раза в 6 мес.

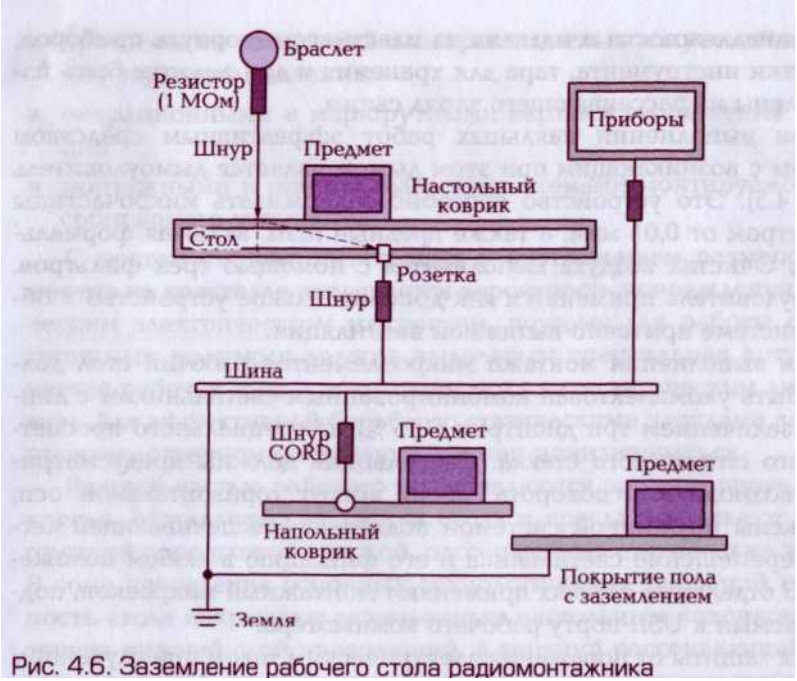


Рис. 4.6. Заземление рабочего стола радиомонтажника

После ремонта электрооборудование подвергают испытаниям (повышенным напряжением промышленной частоты: для инструмента мощностью до 1 кВт — 900 В, более 1 кВт — 1 350 В в течение 1 мин).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение рабочего места радиомонтажника.
2. Какие требования предъявляются к инструменту, используемому монтажником РЭА на рабочем месте?
3. Какие документы должен иметь на рабочем месте монтажник РЭА?
4. Перечислите меры защиты от статического электричества на рабочем столе и в помещении при проведении радиомонтажных работ.
5. Укажите меры защиты от поражения электрическим током.

Раздел II

ЭЛЕМЕНТЫ И УЗЛЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Глава 5
ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

5.1. РЕЗИСТОРЫ

Резистор — пассивный элемент электрической цепи, характеризуемый сопротивлением электрическому току. Для идеального резистора в любой момент времени должен выполняться закон Ома для участка цепи: мгновенное значение напряжения на резисторе пропорционально току, проходящему через него:

$$U(t)=RI(t). \qquad (5.1)$$

На практике резисторы в той или иной степени обладают паразитной емкостью, паразитной индуктивностью и нелинейностью вольтамперной характеристики.

Электрическим свойством проводниковых материалов является способность оказывать сопротивление прохождению по ним электрического тока, которое характеризуется удельным объемным электрическим сопротивлением, т. е. величиной сопротивления проводника из данного вещества длиной 1 м и сечением 1 м^2. ***По конструкции*** сопротивления бывают:

- углеродистые. Материал резистивного слоя выполняют из пиролитического углерода на керамических или стеклянных основаниях, получаемого термическим разложением газообразных углеводов в вакуумной камере;
- металлопленочные и металлооксидные. Материал резистивного слоя выполняют из тонкой пленки многокомпонентных сплавов

(Cr, Ni, Fe, Si), композиционных материалов (силициды и керметы), а также диоксида олова SnO_2, осаждаемого в вакуумной камере на керамическом основании методами термического испарения, катодного распыления;

- композиционные и пленочные. Материалом резистивного слоя служат смеси органической смолы с сажей, получаемые их разливом на гладкой поверхности изоляционного основания (зеркального гетинакса, стеклотекстолита) с последующим отжигом в печи с обогревом. Пленка обладает высокой стойкостью к истиранию, поэтому пригодна для изготовления переменных и подстроечных резисторов;
- композиционные и объемные. Резисторы представляют собой столбики из смеси мелкодисперсной керамики или стекла с частицами металла, полученными путем их спекания при высокой температуре в вакууме, используют для изготовления высокоомных и высоковольтных резисторов;
- проволочные и металлофольговые. Резисторы изготовляют из тонкой проволоки на основе сплавов высокого сопротивления (нихром, манганин), намотанной на термостостойком каркасе (шамотная керамика), покрывают стеклоэмалью;

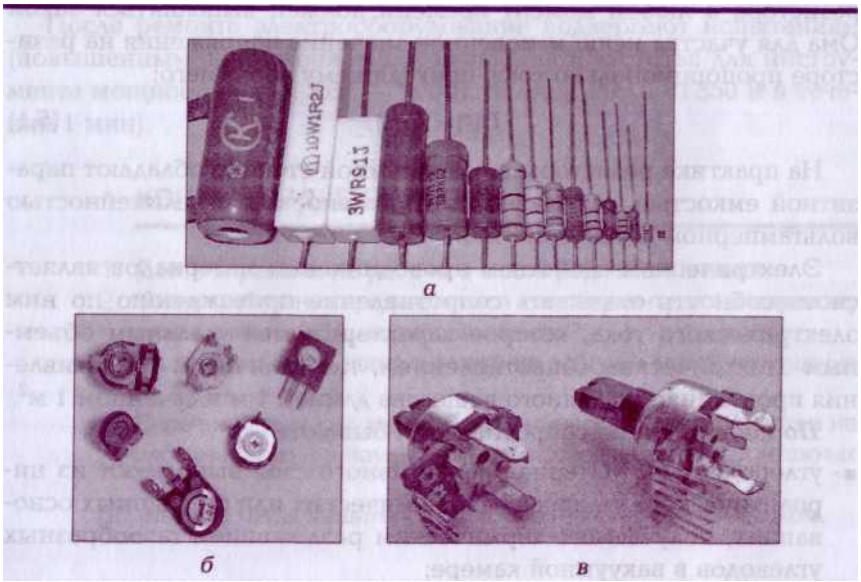


Рис. 5.1. Виды резисторов по внешнему виду и назначению:
а – постоянные; б – подстроечные; в – переменные

- металлодиэлектрические и безреактивные СВЧ-резисторы с материалом резистивного слоя из тонкой пленки тугоплавкого металла, нанесенной в вакууме на заготовку из высокодобротной керамики.

Внешний вид резисторов показан на рис. 5.1.

Характеристики некоторых металлических проводниковых материалов, используемых при изготовлении резисторов, приведены в табл. 5.1.

Проволочные резисторы производят из проволоки, изготовленной из материала, имеющего большое удельное сопротивление (табл. 5.2).

Таблица 5.1. Свойства проводниковых материалов

Материал	Плотность, мг/м³	Температура плавления, °С	^Дельное объемное сопротивление, мкОм • м
Алюминий	2,7	657	0,028
Бронза	7,5—8,9	900	0,01—0,28
Вольфрам	19,3	3 380	0,055
Золото	19,3	1 063	0,024
Кадмий	8,65	321	0,076
Медь	8,94	1083	0,017
Магний	1,74	651	0,045
Молибден	10,2	2 620	0,057
Никель	8,9	1455	0,073
Олово	7,31	232	0,12
Платина	21,4	1770	0,105
Серебро	10,5	961	0,016

Примечание. ***Бронза*** — сплав меди с оловом, кадмием, бериллием, фосфором и некоторыми другими элементами.

Латунь — сплав меди и цинка.

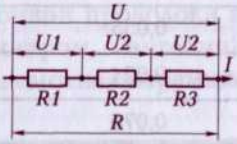
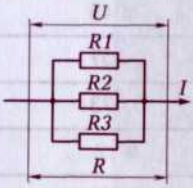
Таблица 5.2. Свойства материалов для проволочных резисторов

Материал	Плотность, кг/м³	Температура плавления, °С	Удельное объемное сопротивление, мкОм ■ м
Константен	8 900	1260	0,4 —0,5

Окончание табл. 5.2

Материал	Плотность, кг/м³	Температура плавления, "С	Удельное объемное сопротивление, мкОм • м
Манганин	8 400	960	0,42 — 0,5
Никелин	И 200	1 060	0,4 — 0,44
Нихром	8 200	1400	1 — 1,2
Фехраль	7 300	1490	1,26—1,35
Хромель	7 100	1500	1,45

Таблица 5.3. Последовательное и параллельное соединение резисторов

Вид соединения. Схема	Расчетные формулы		
	общего сопротивления	напряжения	тока
Последовательное 	$R = R_1 + R_2 + R_3$	$U = U_1 + U_2 + U_3$	$I = \frac{U}{R}$
Параллельное 	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	$U = IR$	$I = I_1 + I_2 + I_3$

При использовании в электрических схемах резисторы могут объединяться в группы параллельного и последовательного соединения. При этом добиваются распределения мощности по составляющим (последовательное соединение) и уменьшения эффективного сопротивления (параллельное соединение). Параметры соединений показаны в табл. 5.3.

К параметрам резисторов относятся:

- активное сопротивление — отношение действующего напряжения и тока в соответствии с формулой (5.1);
- полное сопротивление — определяется как отношение мгновенных значений напряжения и тока. Этот параметр учи-

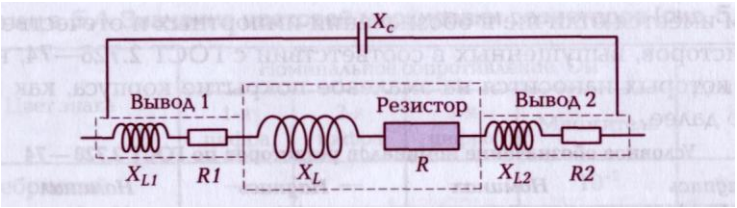


Рис. 5.2. Эквивалентная схема резистора

тывает влияние индуктивных и емкостных свойств резистора в соответствии с его эквивалентной схемой (рис. 5.2), Ом;

- рабочая мощность рассеивания — наибольшая мощность, выделяемая на сопротивлении, при котором сохраняются параметры и характеристики резистора, Вт;
- точность сопротивления (допуск к номиналу) — отклонение реального сопротивления от номинального (расчетного), %;
- зависимость величины сопротивления от температуры — определяется температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), который может быть как положительным, так и отрицательным, Ом/град.

Примечания. 1. Резисторы с ярко выраженным ТКС называются ***термисторами.*** Если ТКС резистора положительный, это ***позистор.***

2. Полное сопротивление резистора зависит от частоты тока или напряжения цепи, в которой работает резистор, и тем самым влияет на фазовые соотношения между ними.

Имеется два вида обозначения резисторов на принципиальных схемах (рис. 5.3) в соответствии с европейским стандартом DIN и американским стандартом ASNI.

Параметры резисторов определяются по внешнему виду и нанесенными на них кодами и технической документацией. При

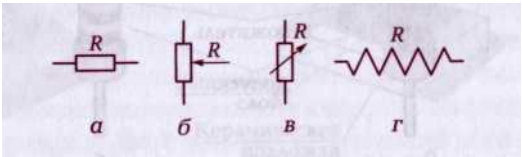


Рис. 5.3. Обозначение резисторов на принципиальных схемах:
а, ***б, в*** — соответственно постоянный, переменный и подстроечный резисторы по стандарту DIN; г — постоянный резистор по стандарту ASNI

этом имеется отличие в обозначении импортных и отечественных резисторов, выпущенных в соответствии с ГОСТ 2.728—74, номинал которых наносится на эмалевое покрытие корпуса, как показано далее.

Условное обозначение номиналов резисторов по ГОСТ 2.728 — 74

Надпись	*Номинал*	*Надпись*	*Номинал*
R12 =	0,12 Ом	12K =	12 кОм
1R2 =	1,2 Ом	M12 =	0,12 МОм
12R =	12 Ом	1M2 =	1,2 МОм
K12 =	0,12 кОм	12M =	12 МОм
1K2 =	1,2 кОм		

Допуск номинала также выполняется в виде надписи в процентах. Мощность рассеивания определяется по внешнему размеру. Если мощность резистора превышает 3 Вт, ее числовое значение наносится на корпусе резистора. В остальных же случаях определяется по штрихкоду, как показано далее.

Соответствие мощности рассеивания резисторов и штрихкода

Мощность резистора, Вт	*Соответствие штрихкоду*	*Мощность резистора, Вт*	*Соответствие штрихкоду*
0,05		1	I
0,125		2	II
0,25		5	V
0,5			

Большинство производителей электронных компонентов перешли на обозначение номинала резисторов цветными полосами на корпусе.

На рис. 5.4 и в табл. 5.4 показано правило определения номинала и допуска по цветным полосам.

а *б*

Рис. 5.4. Правила определения номинала резисторов и допуска по цветным полосам

Таблица 5.4. Значения цветовой маркировки резисторов (рис. 5.4)

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %
	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра	Множитель	
Серебристый	—	—	—	1(Г[2]	±10
Золотистый		–	–	КГ[1]	±5
Черный	—	0	—	1	—
Коричневый	1	1	1	10	±1
Красный	2	2	2	10^2	±2
Оранжевый	3	3	3	10^3	—
Желтый	4	4	4	10^4	—
Зеленый	5	5	5	10^5	±0,5
Голубой	6	6	6	10^6	±0,25
Фиолетовый	7	7	7	10^7	±0,1
Серый	8	8	8	10^8	±0,05
Белый	9	9	9	10^9	—

Для технологии поверхностного монтажа РЭА изготовляют резисторы в миниатюрном корпусе по пленочной технологии — из тонких пленок металла, нанесенного на керамическую подложку. Общий вид корпуса SMD-резистора (поверхностно-монтируемые элементы) и конструкция резистора показаны на рис. 5.5.

Номиналы таких резисторов определяются по цифровому или символьному кодам. При цифровом кодировании наносятся три

Рис. 5.5 Резисторы поверхностного монтажа:
а – общий вид резистора с указанием номинала; б – конструкция резистора

цифры: первые две определяют номинал резистора, а третья — степень (множитель). При символьном коде на поверхность резистора наносится буква латинского алфавита, по которой в справочнике определяется номинал резистора.

5.2. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсатор — это пассивный элемент электрической цепи, служащий для ее развязки по постоянному току, сопротивления переменному току, фильтрации частотных составляющих, накопления и сохранения электрического заряда.

Конденсатор по своей конструкции представляет собой две проводящие пластины, разделенные диэлектриком. Емкость конденсатора, измеряемая в фарадах (Ф), определяется диэлектрической проницаемостью диэлектрического материала, размерами проводящих пластин и обратно пропорциональна расстоянию между пластинами:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \qquad (5.2)$$

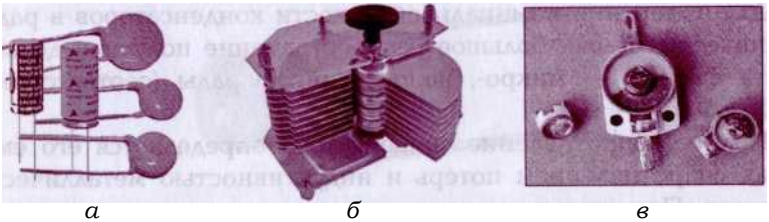
где e_0 — относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между обкладками, и е — электрическая постоянная, Кл/(В • м); S — площадь пластин, м^2; d — расстояние между ними, м.

Эта формула справедлива лишь, когда расстояние между пластинами d намного меньше линейных размеров пластин.

Конденсаторы подразделяют по типу применяемого диэлектрика и конструктивным особенностям. Все типы конденсаторов включены в две группы: с неорганическим (керамические — название условное, принятое в радиомонтажной практике) и органическим диэлектриками.

В «керамических» конденсаторах в качестве диэлектрика могут использоваться: стекло, стеклоэмаль, слюда, стеклокерамика, сегнетокерамика и тиконд. Они используются, как правило, в резонансных контурах в качестве проходных и помехоподавляющих элементов в высокочастотных и высоковольтных цепях.

В конденсаторах с органическим диэлектриком диэлектрической основой является конденсаторная бумага, которая наматывается послойно. К ним также относятся конденсаторы с оксидным диэлектриком (электролитические). По отечественной квалификации они обозначаются «К50», их пластины изготовляют из тантала



а *б* *в*

Рис. 5.6. Типы конденсаторов:
а – постоянной емкости (электролитические и керамические]; б – переменной емкости; в – подстроечные

или алюминия, помещенных в электролит. Алюминиевые и танталовые конденсаторы используют жидкий (на основе серной кислоты) или сухой электролит (твердый полупроводник на основе окисла марганца). Эти конденсаторы всегда полярны, поэтому при включении в электрическую цепь необходимо учитывать их полярность. Они используются в низкочастотных цепях до 100 кГц, в качестве фильтров источников питания, а также как источники порогового напряжения.

По конструкции конденсаторы бывают постоянные, переменные и подстроечные. Последние используют в качестве диэлектрика полистирол и фторопласт. Внешний вид конденсаторов показан на рис. 5.6.

На электрических схемах конденсаторы обозначаются буквой латинского алфавита «С» независимо от типа конденсатора с указанием номинала и порядкового номера.

К о с о б ы м т и п а м конденсаторов относятся:

- ***ионистры*** — конденсаторы, емкость которых достигает порядка 10—100 Ф за счет особой конструкции, в которой используются угольные электроды, покрытые алюминиевой фольгой с пористой структурой, повышающей эффективную емкость. При изготовлении ионистров применяется специальная технология формирования диэлектрического слоя из электролита за счет пропускания тока в определенном направлении. Внешний вид — цилиндрический;
- ***варикапы*** — конденсаторы переменной емкости, управляемые напряжением. Изготовляются по полупроводниковой технологии (как диоды). По внешнему виду варикап похож на диод. Условное обозначение варикапа на принципиальной схеме представляет собой диод, катод которого заканчивается двумя линиями.

Для измерения номинальной емкости конденсаторов в радиотехнических цепях большое распространение получили дольные части фарады — микро-, нано- и пикофарады (соответственно мкФ, нФ и пФ).

Полное сопротивление конденсатора определяется его емкостью, сопротивлением потерь и индуктивностью металлических выводов. При этом определяющее значение имеет номинальная емкость конденсатора.

На переменном токе конденсатор ведет себя как сопротивление, значение которого рассчитывается по формуле

$$X_C = -\frac{1}{\omega C}, \qquad (5.3)$$

где X_c — сопротивление конденсатора переменному току; С — номинальная емкость конденсатора, Ф; со — круговая частота, которая соответствует 2*кF (F* — линейная частота, Гц).

Формула (5.3) помогает установить причину неисправности схемы путем определения величины омического сопротивления конденсатора на переменном токе.

Другой, не менее важной характеристикой конденсаторов является номинальное напряжение — значение напряжения, обозначенное на конденсаторе, при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального значения более чем в 2 раза.

Многие конденсаторы с оксидным диэлектриком (электролитические) функционируют только при корректной полярности напряжения из-за химических особенностей взаимодействия электролита с диэлектриком. Для исключения неправильного включения конденсатора в сеть на корпус конденсатора наносят со стороны отрицательного электрода прерывистую линию, а напротив положительного электрода ставят знак «+».

С помощью температурного коэффициента емкости (ТКЕ) конденсаторов определяют изменение их емкости в зависимости от температуры по формуле

$$C(T) = C_н - TKE \cdot \Delta T, \qquad (5.4)$$

где $C_н$ — номинальное значение емкости при нормальных условиях работы конденсатора, Ф; ***ТКЕ*** — температурный коэффициент емкости (может быть как положительным, так и отрицательным); ΔT — изменение температуры относительно нормальных условий.

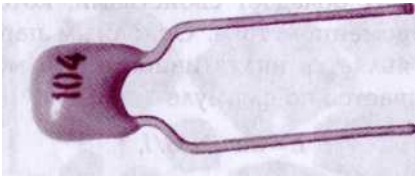


Рис. 5.7. Обозначение номинала на корпусе керамического плоского миниатюрного конденсатора

Важным параметром, определяющим поведение конденсатора на переменном токе, является тангенс угла потерь:

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{\varepsilon_{im}}{\varepsilon_{re}} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_a}. \qquad (5.5)$$

Он определяет отношение активной мощности $\boldsymbol{e_{im}}$ к реактивной E_{re}, т.е. характеризует потери мощности на конденсаторе на переменном и постоянном токе за счет неидеального исполнения конденсатора (потери вносят сопротивление утечки и индуктивность выводов). Чем меньше тангенс потерь, тем качественнее конденсатор.

Номиналы емкостей и рабочих напряжений указывают на корпусе конденсаторов в явном и кодированном виде или в виде цветных полос и точек за исключением конденсаторов в миниатюрных корпусах для поверхностного монтажа (в этом случае параметры конденсаторов определяют по справочникам и внешнему виду или геометрическим размерам). На электролитических конденсаторах значение емкости и рабочего напряжения напыляют краской на корпус. На корпус плоских миниатюрных конденсаторов значение номинала наносят в кодированном виде (рис. 5.7).

Емкость конденсатора в пикофарадах определяется так: первые две цифры — номинал, пФ, третья цифра — показатель степени (число нулей после значения номинала). Таким образом, емкость показанного на рис. 5.7 конденсатора равна 100 000 пФ, или 0,1 мкФ.

5.3. ИНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

К индуктивным элементам относятся катушки индуктивности, дроссели и трансформаторы. Индуктивные элементы сконструированы по принципу свертывания в спираль отрезка провода вокруг опорного элемента — сердечника. При этом полученный та-

ким образом элемент обладает свойствами, которые проявляют себя только на переменном токе. Основным параметром индуктивного элемента является индуктивность I, измеряемая в генри (Гн). Она рассчитывается по формуле

$$L = mm_0N^2S/l, \quad (5.6)$$

где m —магнитная проницаемость среды, Гн/м; m_0 — магнитная постоянная, или магнитная проницаемость, вакуума, Гн/м; ***N*** — число витков; S — поперечное сечение катушки, м^2; ***1*** — длина катушки, м.

На переменном токе индуктивность обладает реактивным сопротивлением, величина которого зависит от частоты протекающего тока со и индуктивности:

$$X_L = \omega L = 2\pi FL. \quad (5.7)$$

Катушки индуктивности изготовляют из медного провода с эмалевой изоляцией. Провод наматывается на каркас (рис. 5.8), выполненный из изолирующего материала (пластмасса, картон, текстолит).

Катушки индуктивности предназначены для накопления магнитной энергии при прохождении через них электрического тока. Различают винтовые, винтоспиральные и спиральные катушки индуктивности.

Катушки индуктивности используются в фильтрах, колебательных контурах. Катушки, показанные на рис. 5.8, *а, в,* имеют внутренние сердечники, с помощью которых можно изменять индуктивность катушек для подстройки частоты.

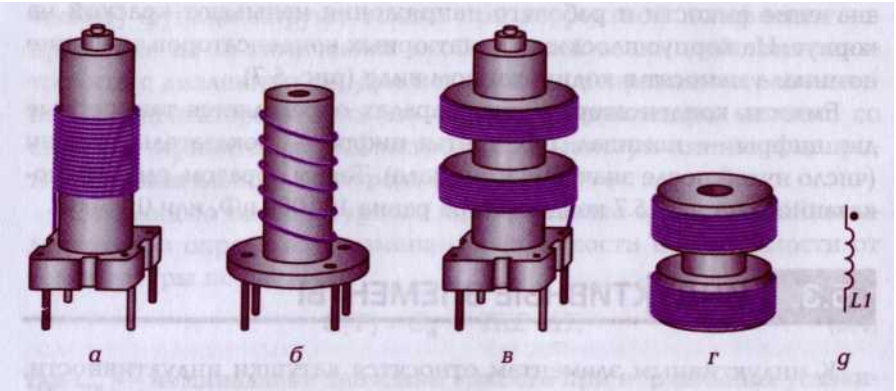


Рис. 5.8. Условные обозначения катушки индуктивности: а, б, в, г — виды катушек; д — с указанием начала намотки

Рис. 5.9. Внешний вид разновидностей дросселей

В низкочастотных цепях используют особый вид катушек индуктивности — ***дроссели,*** которые служат для защиты источников электропитания от высокочастотных скачков переменного тока, а также предохраняют сеть питания от «засорения» электромагнитными помехами.

Дроссель представляет собой катушку индуктивности, намотанную на сердечник из феррита или другого металла. Действие дросселя основано на том, что он имеет высокое сопротивление на переменном токе и малое — на постоянном. Дроссели используют как сглаживающие фильтры, удаляющие высокочастотные составляющие в переменном сигнале.

Как видно на рис. 5.9, некоторые дроссели имеют мощный броневой сердечник, который увеличивает эффективную индуктивность, повышая их фильтрующие свойства.

Трансформатор — тип индуктивного элемента, предназначенного для преобразования одного или более потоков переменного тока в потоки переменного тока с другими характеристиками. Он включает в себя одну или несколько изолированных катушек (обмоток), объединенных общим магнитным потоком.

Обмотки трансформатора состоят из проволочных или ленточных проводников, имеющих индуктивную связь между собой и размещенных на основании (сердечнике) из феррита или другого магнитного материала. В этом случае используется способность индуктивности накапливать энергию и за счет электромагнитного поля передавать ее на другие витки через воздушный промежуток.

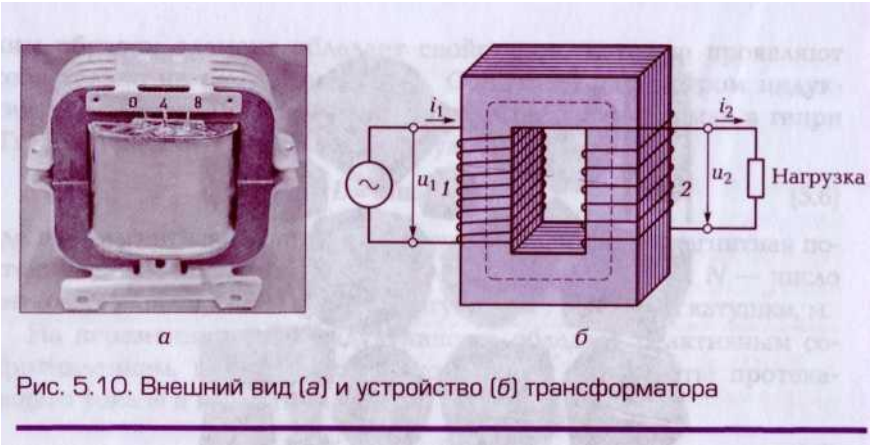


Рис. 5.10. Внешний вид (*а*) и устройство (*б*) трансформатора

или по магнитопроводу (сердечнику). Внешний вид трансформатора и его устройство показаны на рис. 5.10.

Передача энергии в трансформаторе происходит за счет пересечения магнитными линиями витков вторичной обмотки, источником которых является первичная обмотка. Для усиления этого эффекта магнитные линии замыкают через магнитопровод — сердечник. Сердечник набирается из металлических пластин для уменьшения «блуждающих» токов. Изменяя число витков вторичной обмотки, можно менять напряжение на ней, тем самым выполняя преобразование электрической энергии.

Преобразование энергии с помощью трансформатора определяется формулой

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}, \qquad (5.8)$$

где U_2, U_x — напряжения соответственно на вторичной и первичной обмотках, В; JV$_2$, Л7, — число витков обмоток; /$_2$, 7, — токи в обмотках, А.

Следовательно, напряжения и токи в обмотках зависят от числа витков в них. Также от соотношения витков в обмотках зависит полное сопротивление трансформатора. Таким образом, трансформаторы можно использовать не только как преобразователи

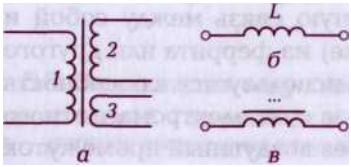


Рис. 5.11. Условное обозначение индуктивных элементов:
а – трансформатор; б – катушка индуктивности; в –дроссель

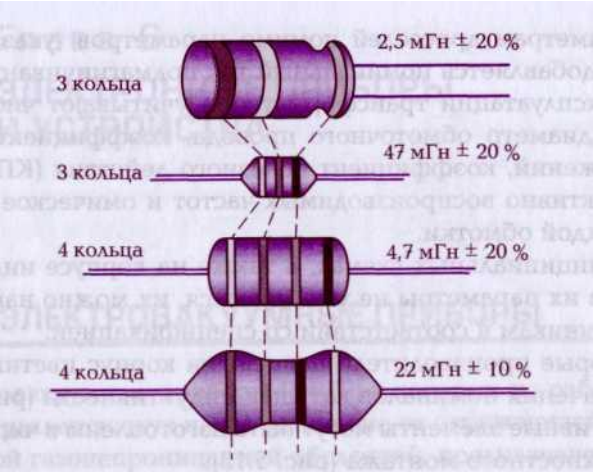


Рис. 5.12. Обозначение номиналов индуктивности с помощью цветных полос

токов и напряжений (силовые трансформаторы), но и как согласующие устройства, обеспечивающие эффективное согласование по мощности практически с любой нагрузкой, подключаемой ко вторичной обмотке.

На принципиальной схеме индуктивности дроссели и трансформаторы обозначаются так, как показано на рис. 5.11.

Параметрами катушек индуктивности являются индуктивность, максимальное значение рабочего переменного тока и напряжения, оптимальный частотный диапазон и добротность.

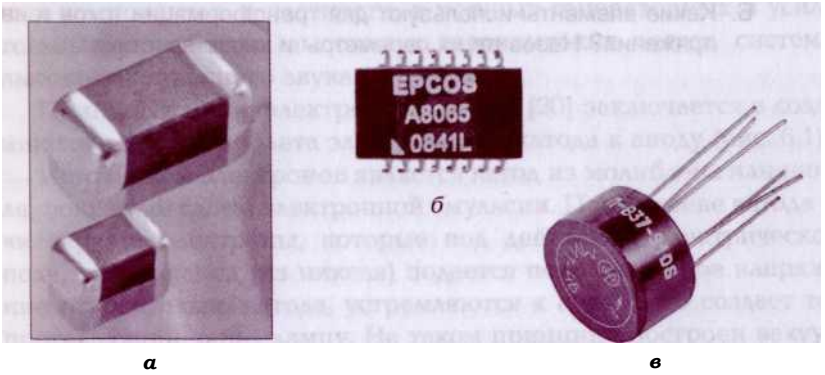


Рис. 5.13. Варианты изготовления индуктивностей:
а – бескорпусные; б, в – трансформаторы в чип-корпусе

К параметрам дросселей помимо параметров, указанных для катушек, добавляется номинальный ток подмагничивания.

При эксплуатации трансформаторов учитывают число витков обмоток, диаметр обмоточного провода, коэффициент нелинейных искажений, коэффициент полезного действия (КПД), диапазон эффективно воспроизводимых частот и омическое сопротивление каждой обмотки.

На принципиальных схемах, а также на корпусе индуктивных элементов их параметры не указываются, их можно найти только по справочникам в соответствии со спецификацией.

Некоторые производители наносят на корпус цветные полосы для обозначения номиналов катушек индуктивности (рис. 5.12).

Индуктивные элементы могут быть изготовлены в чип-корпусах для поверхностного монтажа (рис. 5.13).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких материалов и по какой технологии изготовляют часто используемые резисторы?
2. Как обозначают на схемах резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности?
3. Какие типы конденсаторов вы знаете? Назовите их особенности и области применения.
4. Какие свойства катушек индуктивности используются в электрических цепях? Укажите их основные параметры и характеристики.
5. Как определить номиналы резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности?
6. Какие элементы используют для трансформации токов и напряжений? Назовите их параметры и характеристики.

Глава 6

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

6.1. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

Электровакуумные приборы (ЭВП), в которых из рабочего пространства удален воздух и оно защищено от окружающей атмосферы жесткой газонепроницаемой оболочкой, предназначены для генерации, усиления и преобразования электрических колебаний.

Электровакуумные приборы подразделяются на электронные, в которых протекает только электронный ток в вакууме, и ионные (газоразрядные), для которых характерен электрический разряд в газе (или парах).

В ***электронных ЭВП*** ионизация практически отсутствует, а давление газа менее 100 мкПа (высокий вакуум).

В ***ионных ЭВП*** давление 133 х 10^{-3} Па (10^{3} мм рт. ст.) и выше. При этом значительная часть движущихся электронов сталкивается с молекулами газа и ионизирует их.

Особую группу ЭВП составляют электронные лампы, которые еще недавно занимали ведущее место, но в последнее время их практически везде заменили полупроводниковые приборы. Вместе с тем они до сих пор востребованы на рынке электронных компонентов, в частности, в мощных генераторных и усилительных устройствах высоких и сверхвысоких частот, системах высококачественного звука.

Принцип работы электронной лампы [20] заключается в создании тока за счет пролета электронов от катода к аноду (рис. 6.1).

Источником электронов является катод из молибдена или никеля, покрытый слоем электронной эмульсии. При нагреве катода он «испаряет» электроны, которые под действием электрического поля, если на анод (из никеля) подается положительное напряжение относительно катода, устремляются к аноду, что создает ток, протекающий через лампу. На таком принципе построен вакуумный диод (кенотрон).

Если между анодом и катодом установить сетку в виде спирали и подать на нее напряжение более низкое, чем напряжение на катоде,

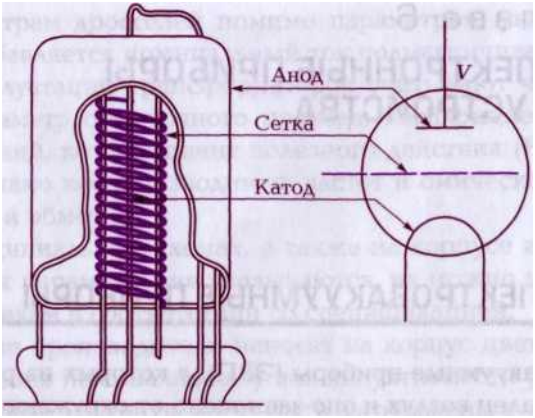


Рис. 6.1. Схематическое изображение электронной лампы-триода

то потоком электронов можно управлять. На этом принципе построены все электровакуумные приборы. При использовании в лампах не одной, а нескольких сеток (управляющих, экранирующих, фокусирующих) лампы обеспечивают высокий коэффициент усиления, становятся малошумными и эффективно управляемыми.

Лампы, имеющие помимо катода и анода электроды в виде сеток с общим числом от трех до восьми, называются ***триод*** (одна сетка), ***пентод*** (две сетки и катод с анодом), ***гексод, гептод*** и ***октод.*** Лампы с двумя и более сетками называются ***многоэлектродными.*** Если лам-
па содержит несколько систем электродов с независимыми потоками электронов, то ее называют комбинированной (двойной диод, двойной триод, триод-пентод, двойной диод-пентод и др.).

В зависимости от рабочих частот электронные лампы подразделяются на низко-, высоко- и сверхвысокочастотные.

В последнее время при производстве электронных ламп сохраняются их уникальные свойства, при этом в связи с использованием новых технологий и материалов в значительной степени повысились их эксплуатационные качества. Современные лампы обеспечивают значительно большее усиление при меньшем уровне шумов, расширился их частотный диапазон, они менее подвержены микрофонному эффекту, обладают более высоким КПД и быстрее прогреваются. Так, в новых лампах косвенного накала широко применяются так называемые «темные подогреватели», отличающиеся улучшенной теплопередачей между подогревателем и катодом без ущерба для электрической изоляции между ними, а также используется более совершенный способ нанесения активного слоя путем обертывания никелевой трубочки заранее приго-

товленной пленкой заданной толщины (от 0,01 до 1 мм). Эта технология обеспечивает очень высокую идентичность характеристик катодов и ламп в целом при малом уровне шумов.

Лампы по-прежнему используются в оконечных каскадах, в том числе в портативной аппаратуре совместно с транзисторами. Катоды таких ламп состоят из жесткой рамки, на которой плотно расположены вольфрамовые проволочки, покрытые эмитирующими составами. Так как длина и диаметр каждой проволоки невелик, прогрев их происходит за доли секунды. Также используются новые методы управления электронным потоком, в частности, с помощью стержней вместо сеток. Для изготовления сеток применяется проволока в 5—10 раз тоньше, чем у обычных ламп. Сетки из проволоки малого диаметра с плотной намоткой (до 20 витков на 1 мм длины) обладают большим управляющим действием. Кроме того, высокая жесткость натянутой рамочной сетки позволяет сократить расстояние сетка — катод и увеличить эффективность работы лампы.

Размеры миниатюрных ламп соизмеримы с габаритами транзисторов. Одна из наиболее удачных конструкций, получившая название н у в и с т о р а (рис. 6.2), имеет длину 20 — 25 мм и диаметр 11 мм. Нувистор работает при пониженных анодных напряжениях (до 12—15 В), что позволяет использовать их в гибридных схемах вместе с транзисторами.

В баллонах ламп «схемотрон» свободные места заполнены деталями, которые образуют стандартные узлы радиотехнических устройств (мультивибраторы, триггеры, усилители, логические элементы и т.п.). К примеру, узел триггера, содержащий два триода, два диода, семь резисторов и три конденсатора, целиком размещается в баллоне с девятиштырьковым цоколем. При этом сохраняется наиболее важное преимущество электронных ламп по сравнению с полупроводниковыми приборами — работа в вакууме, а значит, практически без шумов и помех.

Особое место в семействе электронных ламп занимают магнетроны (рис. 6.3) и лампы бегущей волны (ЛБВ). Первые используются как генераторные лампы в микроволновой области, в частности, в микроволновых печах. ЛБВ используются как усилители СВЧ в системах спутниковой связи.

Рис. 6.2. Нувистор

Магнетроны генерирует СВЧ-сигнал в области от 30 Гц до 130 ГГц при мощности от единиц до десятков кВт. Конструкция внутренней части магнетрона представлена ни рис. 6.3, ***б.***

В магнетроне предусмотрено несколько объемных резонаторов, симметрично расположенных вокруг катода, находящегося в центре. Прибор помещают между полюсами сильного магнита. Электроны, испускаемые катодом, под воздействием магнитного поля вынуждены двигаться по круговым траекториям, пересекая на периферии открытые пазы резонаторов. Они отдают свою кинетическую энергию, возбуждая колебания в резонаторах. Затем электроны возвращаются на катод, и процесс повторяется. Вырабатываемая энергия выводится через антенну.

Лампа с бегущей волной, электровакуумный прибор, в котором для усиления электромагнитных СВЧ-колебаний используется длительное взаимодействие бегущей электромагнитной волны и электронного потока, движущихся в одном направлении. Основ-

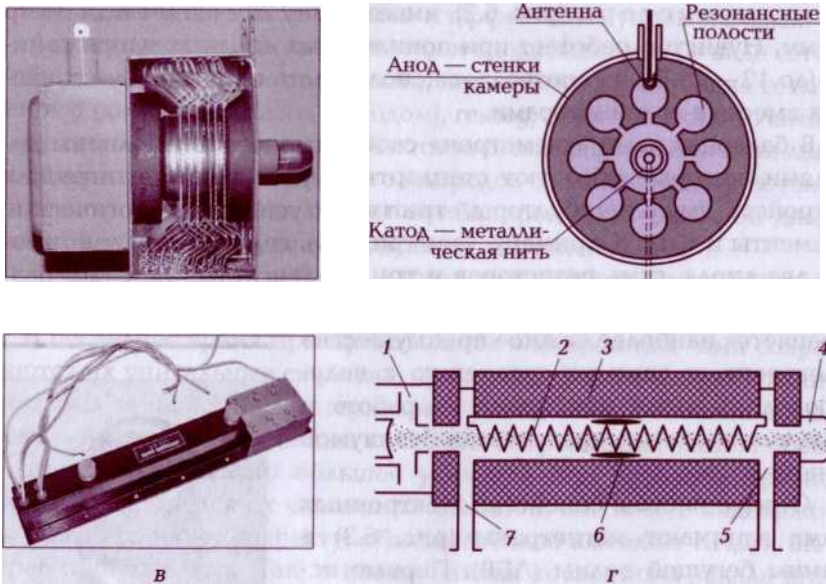


Рис. 6.3. Электронные лампы СВЧ:

а – магнетрон: б – конструкция магнетрона; а – лампа бегущей волны; г – схематическое изображение лампы бегущей волны: *1* – электронная пушка; *8* – замедляющая система; *3* – фокусирующая система соленоидного типа; 4 – коллектор; ***5*** — вывод энергии; 6 – поглотитель энергии колебаний СВЧ; 7 – ввод энергии

ное назначение АБВ — усиление колебаний СВЧ (300 МГц — 300 ГГц) в приемных и передающих устройствах.

Основными частями ЛБВ являются (рис. 6.3, г):

- электронная пушка для создания и формирования электронного потока;
- замедляющая система в виде металлической спирали, жестко закрепленной продольными диэлектрическими опорами, снижающая скорость бегущей волны вдоль оси лампы до скорости, близкой к скорости электронов;
- фокусирующая система в виде постоянных магнитов или соленоида, которая удерживает своим магнитным полем электронный поток в заданных границах поперечного сечения;
- коллектор для улавливания электронов;
- волноводы для ввода и вывода энергии электромагнитных колебаний;
- поглотитель энергии СВЧ-колебаний на небольшом участке замедляющей системы для устранения самовозбуждения.

6.2. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ

Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) — это особый класс электровакуумных приборов, предназначенных для преобразования электрических сигналов в видимое изображение.

Различают два вида ЭЛТ:

- с электромагнитным отклонением электронного луча (кинескопы), которые используются для получения динамического изображения в телевизионной технике и мониторах;
- с электростатическим отклонением луча для фиксации электрических сигналов в осциллографических приборах.

Кинескопы по своему функциональному назначению подразделяются на цветные кинескопы и черно-белые.

Трубки с электростатическим отклонением бывают только одноцветными, в этом случае подсветка изображения определяется составом люминофора.

На рис. 6.4 показана конструкция ЭЛТ с электростатическим отклонением луча. По принципу формирования электронного луча эта ЭЛТ похожа на тетрод с двумя управляющими сетками ***3*** и ***4.*** Все электроды ЭЛТ выполнены в виде цилиндров с круглым отверстием посередине для пролета электронов. Второй анод ***5*** имеет

Рис. 6.4. Конструкция ЭЛТ с электростатическим отклонением луча:
а – конструкция ЭЛТ; б – схематическое изображение ЭЛТ: *1* – подогреватель; *3* – катод; 3 – модулятор; 4 – первый анод; *5* – второй анод; 6 – пластины вертикального отклонения; 7 – пластины горизонтального отклонения

воронкообразную металлическую конструкцию, изнутри охватывающую раструб кинескопа. В отличие от обычного анода электронной лампы его задача — придавать ускорение электронам, летящим к экрану, на который нанесен люминофор, а также улавливать поток «выбитых» из электродов отрицательных ионов. Для получения изображения на внутреннюю поверхность экрана наносится люминофор, бомбардировка которого приводит к световому излучению. Люминофор — гранулированный порошок (диаметр гранулы определяет разрешающую способность экрана) из соединений алюмината стронция. Цвет светящегося люминофора также зависит от состава добавок (Zn, Cu и т.д.).

В случае электростатического отклонения исследуемые сигналы поступают на вертикальные отклоняющие пластины, а развертку создает пилообразное напряжение от внутреннего генератора, поступающего на горизонтальные пластины. Таким образом, движение электронного луча по экрану определяется законом изменения наблюдаемого сигнала.

При электромагнитном способе отклонения, используемом в кинескопах и приемных телевизионных трубках, процессы, протекающие в них, носят более сложный характер.

В цветных кинескопах используются три катода и три модулятора, которые электрически связаны. За модулятором формиру-

ются области так называемых электронных линз, в которых происходит магнитостатическая фокусировка электронного луча. Модулятор выполняет функции сетки. Меняя напряжение между модулятором и катодом (фактически напряжение на катоде), изменяют яркость каждого цвета в отдельности.

Принцип работы кинескопа достаточно полно раскрыт в технической литературе.[2]

6.3. ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПРИБОРЫ

Газонаполненные (***ионные***) ***приборы*** — это электронные устройства, заполненные газом, который оказывает влияние на характеристики и параметры приборов. Давление газа устанавливается ниже атмосферного. Для наполнения баллонов используют инертные газы (неон, аргон и др.) или пары ртути.

Газонаполненные приборы по конструкции соответствуют электронным лампам, только вместо вакуума внутри баллонов находится газ. Характеристики приборов определяются как свойствами используемого газа, так и уровнем давления внутри лампы.

Принцип работы этих приборов основывается на ионизации газа внутри колбы под действием ускоряющего электрического поля. Частицами, ионизирующими газ, являются электроны. Если электроны ускоряются под действием достаточно большой разности потенциалов между катодом и анодом, они могут выбивать электроны из молекул газа, оставляя после себя положительно заряженные частицы — ионы. При высоких потенциалах процесс ионизации распространяется стремительно, сопротивление лампы во время разряда резко падает. Дальнейшее развитие ионизации приводит к появлению тлеющего разряда. Этот эффект используется в газоразрядных приборах как разновидности газонаполненных устройств. К ним относятся газотрон (газонаполненный диод) и тиратрон (газонаполненный триод).

Принцип работы газотрона и тиратрона заключается в следующем. Электроны, эмитируемые катодом под действием электрического поля, ускоряются к аноду, в результате в объеме газа возникает разряд. Электроны могут высвобождаться в результате термоэмиссии даже при комнатной температуре. Они могут также появляться вследствие фотоэлектрических процессов, вызываемых «бомбардировкой» катода фотонами. Эмитируемые электроны под действием электрического поля вызывают в лампе ионизацию газа с последующим разрядом. Такие диоды — газотроны —

находят применение в низковольтных схемах выпрямления, в частности, в устройствах для зарядки батарей, где требуется большой ток в прямом направлении.

В тиратронах используется сетка, которая в отличие от сетки триода не изменяет силу анодного тока и не влияет на характеристики. Вследствие наличия газа в колбе с помощью сетки можно лишь зажечь разряд, но нельзя его погасить. С момента зажигания тиратрона и возникновения электрического разряда в нем сетка теряет свое управляющее свойство. Это связано с тем, что отрицательный заряд сетки оказывается окруженным оболочкой из положительных ионов, которые нейтрализуют его действие. Прекращение разряда в тиратроне можно осуществить снятием анодного напряжения. Современные тиратроны и лампы на их основе находят применение в системах автоматики, где требуются большие токи при малой величине управляющего импульса.

Люминесцентная лампа — это разновидность газонаполненного прибора, световой поток которого определяется в основном свечением люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения электрического разряда, происходящего внутри колбы. В качестве светоизлучающего вещества — люминофора используют смеси на основе сульфида цинка (ZnS) либо сложного состава: алюминат стронция, активированный европием (Ей), диспрозием (Dy), иттрием (Y) и диэлектрической «связки» (органическая смола, стирол, акрил и др.). Введением активаторов в люминофор можно получить свечение синего, зеленого, желтого и красного цвета. После тщательной откачки и обезгаживания лампа наполняется небольшим количеством ртути и инертным газом до давления в несколько сот паскалей. В обычных люминесцентных лампах в качестве инертного газа используется аргон (Ar).

Традиционная схема включения люминисцентной лампы показана на рис. 6.5, ***а.*** В этой схеме используется балласт, представляющий собой большое индуктивное сопротивление — дроссель и стартер, служащие для предварительного подогрева электродов лампы.

При включении лампы в сеть вначале возникает разряд в стартере и через электроды лампы проходит небольшой ток, который подогревает их, тем самым уменьшая напряжение зажигания лампы. При возникновении разряда в лампе напряжение между электродами падает, отключая цепь стартера. Балласт в виде дросселя используется только для ограничения тока. Для улучшения КПД параллельно дросселю включают конденсатор емкостью около 5 мкФ.

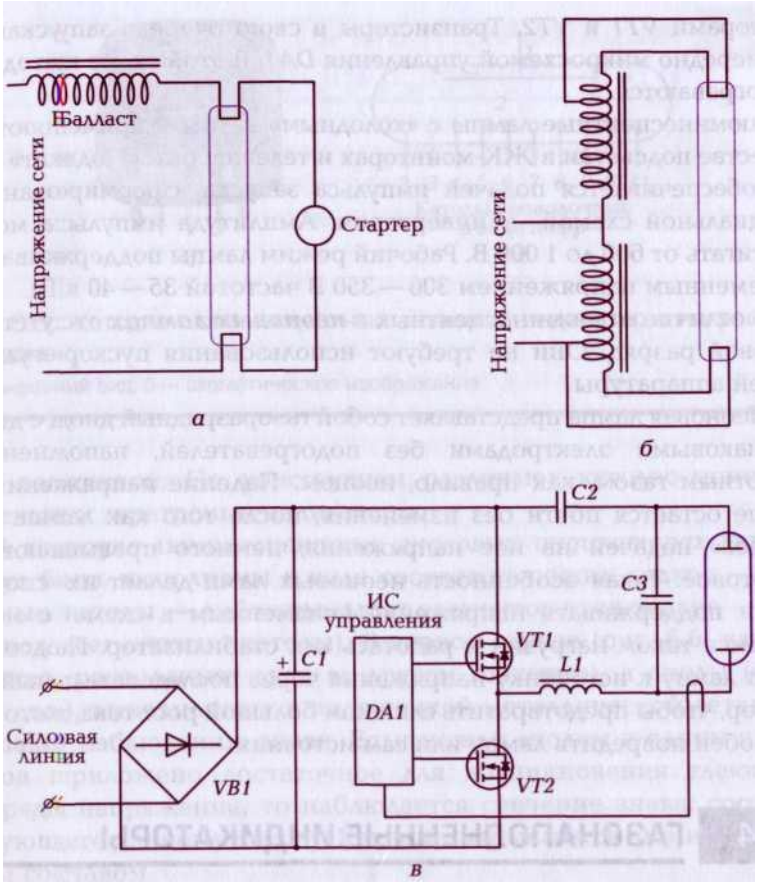


Рис. 6.5. Схемы включения люминесцентных ламп:
а – традиционное; б – бесстартерное; *в* – электронное

Существуют и другие схемы включения ламп.

1. Бесстартерная. Недостатки схемы со стартером (время прогрев,ания электродов, необходимость замены стартера и др.) привели к тому, что появилась другая схема, где подогрев электродов осуществляется со вторичной обмотки трансформатора, который одновременно является и индуктивным сопротивлением (рис. 6.5, ***б).*** Отличительная особенность такой конструкции в том, что оба сетевых провода подключаются к балласту, а к электродам лампы подводится напряжение с части обмоток трансформатора.

2. Электронная (рис. 6.5, в). В этом случае лампа питается импульсным напряжением, формируемым двумя полевыми тран-

зисторами ***VT1*** и ***VT2.*** Транзисторы в свою очередь запускаются поочередно микросхемой управления ***DA1.*** В этой схеме катоды не подогреваются.

Люминесцентные лампы с «холодным» катодом применяются в качестве подсветки в ЖК-мониторах и телевизорах. «Поджиг» лампы обеспечивается подачей импульса запуска, сформированного специальной схемой — инвертором. Амплитуда импульса может достигать от 600 до 1 000 В. Рабочий режим лампы поддерживается переменным напряжением 300 — 350 В частотой 35 — 40 кГц.

В отличие от люминесцентных в ***неоновых лампах*** отсутствует дуговой разряд. Они не требуют использования пускорегулирующей аппаратуры.

Неоновая лампа представляет собой газоразрядный диод с двумя одинаковыми электродами без подогревателей, наполненный инертным газом, как правило, неоном. Падение напряжения на лампе остается почти без изменения, после того как лампа «зажглась» подачей на нее напряжения, немного превышающего стартовое. Такая особенность неоновых ламп делает их способными поддерживать напряжение неизменным в схеме с меняющимся током нагрузки и работать как стабилизатор. Подсоединяют лампу к источнику напряжения через последовательный резистор, чтобы предотвратить слишком большой рост тока, который способен повредить лампу или сам источник.

6.4. ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Газонаполненные индикаторы — приборы, предназначенные для индикации буквенной, знаковой и цифровой информации с использованием разряда и электронной люминесценции в газонаполненных баллонах. По способу индикации газонаполненные индикаторы подразделяют на знаковые, точечные и линейные.

Знаковые газоразрядные индикаторы — многокатодные приборы тлеющего разряда, предназначенные для индикации знаков в виде цифр, букв, математических символов и др.

Точечные индикаторы формируют изображение из отдельных точек (пикселей).

Линейные индикаторы аналоговую или дискретную информацию представляют в виде светящегося столбца, длина которого пропорциональна входной величине напряжения или тока, или в виде светящейся точки, положение которой связано с вход-

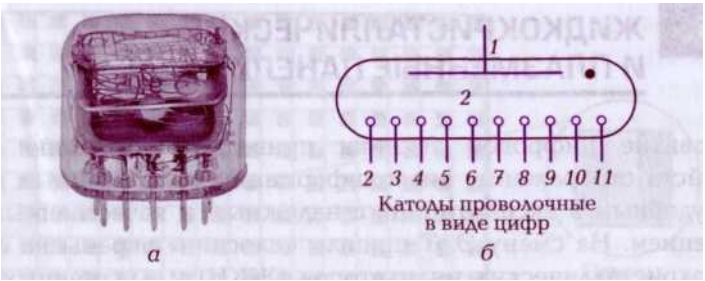


Рис. 6.6. Катодно-люминесцентный знаковый индикатор с нагревным катодом:

а – внешний вид; б – схематическое изображение

ной величиной. По конструкции различают катодно-люминесцентные и тиратроные индикаторы.

В ***катодно-люминесцентных знаковых индикаторах*** катоды могут быть выполнены в виде соответствующих знаков — фигурные катоды — либо отдельных элементов этих знаков — сегментов (сегментные катоды). В первом случае (рис. 6.6) катоды обычно располагают друг за другом (пакетом), а аноды (один или два), выполненные в виде тонкой металлической сетки, не мешают наблюдению знака. Если между анодом и одним из катодов приложено достаточное для возникновения тлеющего разряда напряжение, то наблюдается свечение знака, соответствующего данному катоду. Катоды покрываются люминесцентным составом.

Точечные тиратронные индикаторы имеют до 100 проволочных катодов и анодов с шагом порядка 1 мм, которые укладывают в пазах стеклянных пластин перпендикулярно друг другу. Анодная и катодная пластины разделены диэлектриком с отверстиями в точках перекрещивания анодов и катодов. Сетка тиратрона способствует уменьшению напряжения зажигания, но наблюдению не мешает, так как находится вне зоны разряда. Устройство наполняют инертным газом и герметизируют. При подаче достаточного напряжения между анодом и катодом в точке их пересечения возникает тлеющий разряд, наблюдаемый в виде яркой точки. Большое число точек (до 10 тыс. на панель) позволяет воспроизводить любые знаки, символы, графики и др.

Линейные индикаторы формируют символы и числа с помощью отдельных светящихся столбцов, каждый из которых представляет собой отдельный индикаторный тиратрон.

6.5. ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ПАНЕЛИ

Развитие цифровой техники привело к созданию новых устройств отображения видеоинформации с улучшенным дизайном, удобным в эксплуатации, с надежным и качественным изображением. На смену ЭАТ пришли «плоские» экраны на основе жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ) и плазменных панелей.

Экран ЖКИ представляет собой массив квадратных сегментов, называемых пикселями, которыми можно управлять каждым по отдельности, складывая, как из мозаики, изображение. Панель имеет несколько слоев. Главным из них является матрица ЖКИ. Между двумя стеклянными плоскостями «заливается» жидкий кристалл, который представляет собой смесь из ароматических соединений, содержащих чередующиеся линейные и циклические группировки молекул — бензольные кольца. Эти «длинные» молекулы чувствительны к электростатическому и электромагнитному полю и могут управлять поляризацией проходящего света. При появлении электрического поля молекулы жидких кристаллов частично выстраиваются вертикально вдоль поля и начинают беспрепятственно пропускать свет, но только в одной плоскости — плоскости поляризации (рис. 6.7).

Для усиления эффекта избранности пропускания за счет поворота плоскости поляризации светового луча к стеклянным панелям добавляют еще два слоя, представляющих собой поляризационные фильтры. Эти фильтры пропускают только ту компоненту

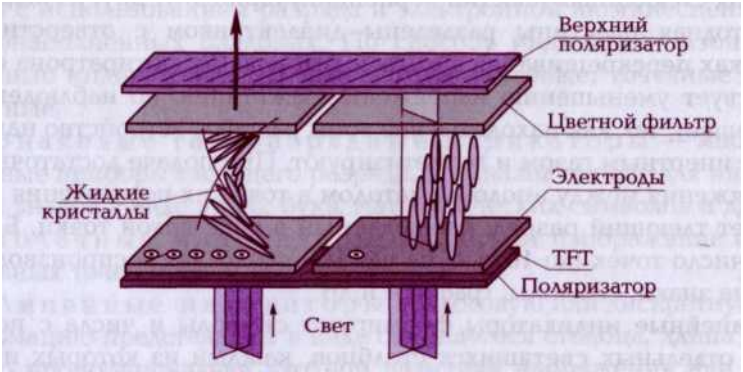


Рис. 6.7. Принцип работы жидкокристаллической панели

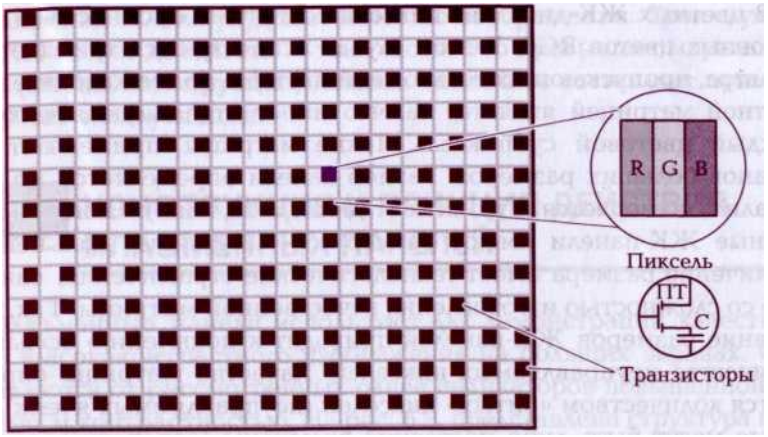


Рис. 6.8. Формирование пикселей ЖК-матрицы

светового пучка, у которой ось поляризации соответствует заданному углу поворота молекул жидких кристаллов. Иначе говоря, через матрицу ЖКИ к экрану «протискивается» через щель фильтра только избранный свет, которым можно управлять, меняя поворот молекул жидкого кристалла. Таким образом, для функционирования ЖК-панели должен быть источник света. В зависимости от того, где он расположен, жидкокристаллические панели работают на отражение или на прохождение света. В ЖК-мониторах и телевизорах: панель работает на прохождение света — лампы располагаются за плоскостью матрицы ЖКИ. Дисплеи, предназначенные для карманных устройств, работают на отражение падающего света.

Каждый пиксель — минимальный элемент изображения — представляет собой «карман» с жидкими кристаллами и отделен от других диэлектрическими стенками. Управление пикселем осуществляется тонкопленочным транзистором ПТ (рис. 6.8). Конденсатор, управляемый транзистором, заряжается, и его напряжение прикладывается к объему жидкого кристалла. Происходит поворот молекул, и свет, проходя через поляризационный фильтр, попадает иа экран.

В качестве элементов подсветки, создающих световой поток, используются люминесцентные лампы с холодным катодом, которые располагаются на краях рассеивающего стекла. В сверхтонких моделях ЖКИ вместо ламп используются мощные линейки светодиодов.

В цветных ЖК-дисплеях пиксели состоят из субпикселей трех основных цветов RGB. В этом случае используются три цветных фильтра, пропускающих только свой цвет. Но более качественной цветной матрицей является та, что имеет отдельную ячейку на каждый цветовой субпиксель. Такие матрицы применяют для экранов больших размеров. Размер панели определяется по диагонали и измеряется в дюймах (1 дюйм = 25,4 мм). Наиболее типичные ЖК-панели имеют размер 15 — 42 дюйма. Дальнейшее увеличение размера имеет технологические ограничения, связанные со сложностью изготовления качественной матрицы. Так, увеличение размеров ЖК-панелей приводит к появлению большого количества неуправляемых пикселей. Качество матрицы определяется количеством «битых» пикселей (неуправляемых ячеек), которые могут быть либо постоянно включены («светящиеся» точки), либо выключены («темные» точки). Количество допустимых «битых» пикселей, их предельные размеры и расположение ограничиваются требованиями стандарта.

Контрастность ЖК-панелей не достаточно высока и достигает 200 : 1 (отношение яркости наиболее яркого участка экрана к наиболее темному) и значительно уступает ЭЛТ и плазменным панелям, так как ЖК-панели пассивно модулируют свет от ламп подсветки, изменяя прозрачность ячеек, и не влияют на сам источник света.

Реакция отдельного пикселя на изменение сюжета изображения определяется временем отклика матрицы — временем перехода от светящейся точки до темной и обратно. Переход на технологию тонкопленочных быстропереключающихся транзисторов и, как следствие, постоянное уменьшение времени отклика (самые последние модели ЖКИ имеют длительность переключения около 4 мс) привели к тому, что от «смазывания» объектов при быстром движении практически удается избавиться. Дальнейшее уменьшение длительности отклика определяется технологическими ограничениями и трудоемкостью изготовления панелей.

Углы обзора у современных ЖКИ составляют 50 — 70° и различаются в горизонтальном и вертикальном направлениях: по горизонтали угол обзора больше, по вертикали — меньше. Ограничение угла обзора приводит к уменьшению контрастности и изменению цветопередачи при просмотре изображения под углом.

Число пикселей ЖК-панели всегда четко определенное. Так, разрешение 1024x768 соответствует числу ячеек, укладывающихся по горизонтали (1024) и вертикали (768). Это наиболее оптимальное разрешение. Программное увеличение или уменьшение

разрешения только ухудшает качество изображения. Срок службы у ЖКИ может достигать 75 тыс. часов. Это превышает моральный срок (смены конструкции) «жизни» панели и составляет примерно 20 лет эксплуатации.

6.6. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Плазменные панели используют для демонстрации качественного высококонтрастного изображения на больших экранах. Они отличаются от рассмотренных ранее индикаторов повышенной яркостью и контрастностью. На рис. 6.9. представлена структура пикселя плазменной панели. Так же как в ЖКИ, в плазменных панелях изображение формируется по принципу мозаичного рисунка.

Глубина ячейки около 3 мм, на фронтальном стекле наносятся два электрода поддержки, а электроды данных (управляющий) — на нижней стеклянной стенке в виде тонких проводниковых полосок, прозрачных для видимого спектра. Ячейка заполняется инертным газом (смесью ксенона и неона) при низком давлении (около 0,6 Па). В этом объеме возникает мгновенная ионизация газа за счет плазменного разряда, приводящая к ультрафиолетовому излучению, которое возбуждает люминофор и заставляет его светиться.

Отличие плазменной панели от ЖК-панели в том что, фактором, создающим изображение, является плазменный разряд в ячейке, который в определенный момент времени (время безопас-

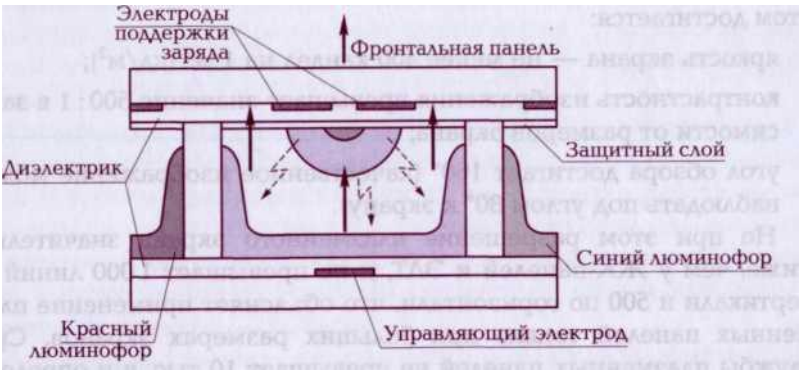


Рис. 6.9. Конструкция ячейки плазменной панели

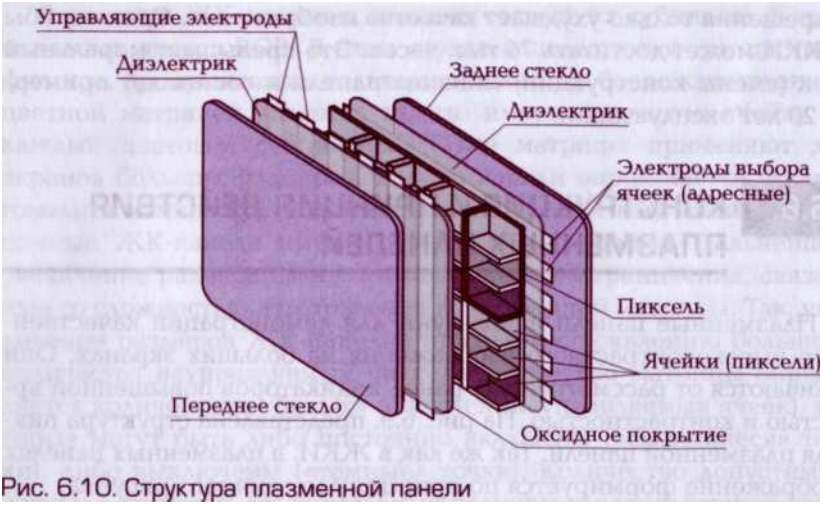


Рис. 6.10. Структура плазменной панели

ной «жизни» разряда) гасится схемой гашения, и воздушное пространство деонизируется, подготавливая ячейку к следующему действию. На рис. 6.10 показана структура плазменной панели. Фронтальная часть панели покрыта стеклом, на него наклеивается диэлектрическая пленка, на которой нанесены пленочные электроды в виде алюминиевых прозрачных для видимого спектра полосок. Пленкой из окисла марганца защищается каждая ячейка, на которой с внутренней стороны нанесены слои люминофоров трех цветов — RGB.

Параметры и характеристики плазменных панелей имеют более высокие показатели яркости и контрастности по сравнению с ЭЛТ и ЖК-панелями при диагонали экрана более 40 дюймов. При этом достигается:

- яркость экрана — не менее 400 кандел на 1 м^2 (кд/м^2);
- контрастность изображения превышает значение 500: 1 в зависимости от размеров экрана;
- угол обзора достигает 160° (качественное изображение можно наблюдать под углом 80° к экрану).

Но при этом разрешение плазменного экрана значительно ниже, чем у ЖК-панелей и ЭЛТ, и не превышает 1 000 линий по вертикали и 500 по горизонтали, что объясняет применение плазменных панелей только при больших размерах экранов. Срок службы плазменных панелей не превышает 10 тыс. ч и определяется физическим разрушением ячейки под действием плазмы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими свойствами обладают электровакуумные приборы? Что обеспечивает их востребованность в современной технике?
2. Опишите конструкцию, состав и принцип действия электронно-лучевых трубок (цветных и черно-белых кинескопов).
3. На каких принципах основаны газонаполненные индикаторы? В каких областях электронной техники они находят применение?
4. На каком принципе построены жидкокристаллические индикаторы?
5. Чем отличаются плазменные панели от других видов панелей (экранов)?

Глава 7
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

7.1. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ

Если соединить полупроводниковый материал ***p***- и л-типа, то в результате получится полупроводниковый прибор — диод [4, 16]. Уникальные качества этого радиоэлемента заключаются в том, что в прямом направлении его сопротивление минимальное (практически короткое замыкание), а при включении в обратном направлении — максимальное (несколько сотен тысяч Ом). Это свойство означает, что в идеале диод пропускает весь ток в прямом направлении (открытое положение) и обеспечивает полное отсутствие его в обратном направлении (закрытое положение). Условное обозначение диода, его структура и входная характеристика показаны на рис. 7.1.

При изготовлении диода образуется ***p***—л-переход, который и определяет его свойства. Эта область свободна от зарядов, которые концентрируются на границах перехода. Если приложить положительное напряжение к аноду по отношению к катоду (рис.

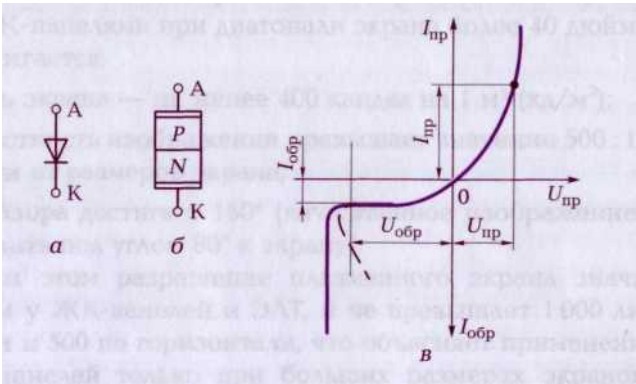


Рис. 7.1. Условное обозначение (а), структура (б) и входная характеристика (в) диода

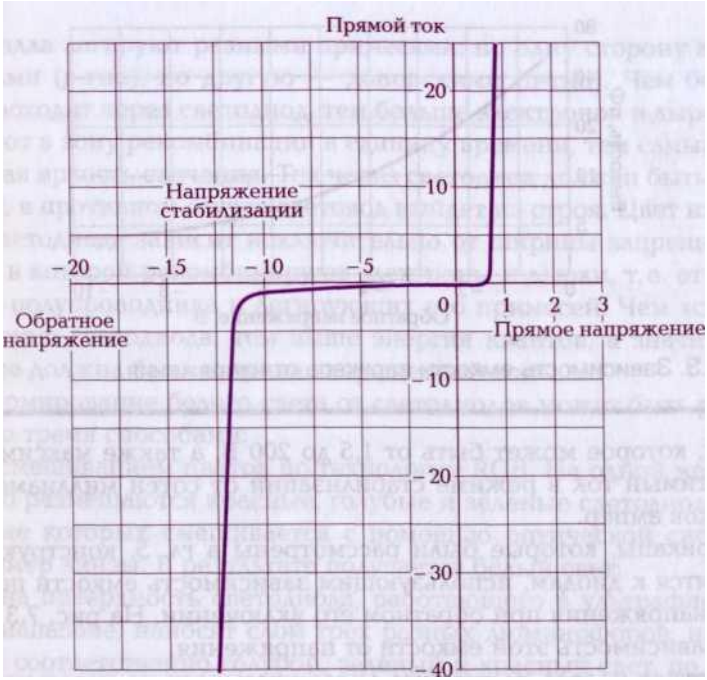


Рис. 7.2. Вольт-амперная характеристика стабилитрона

7.1, ***б),*** диод открыт. Если напряжение на катоде будет положительным относительно анода, диод закрыт.

В радиоэлектронной практике выделяют пять семейств диодов — выпрямительные, сигнальные, диоды Зенера (стабилитроны), варикапы, специальные (диоды Ганна, диоды Шотки).

Выпрямительные диоды используют в блоках питания, цепях пульсирующего и переменного напряжения. Выпрямительные диоды могут работать в цепях с током до 10 А и с обратным напряжением до 1 500 В.

Сигнальные диоды применяют в усилительных устройствах в качестве цепей смещения, ограничения и разделения участков цепи с противоположным напряжением. Принцип действия сигнальных диодов используется в цифровой технике для создания логических элементов и ячеек памяти. Кроме прямого и обратного тока и напряжения характерным параметром сигнальных диодов является рабочая область частот.

Для ***диодов Зенера*** — стабилитрон для небольших напряжений (рис. 7.2) — основным параметром является напряжение стабили-

Рис. 7.3. Зависимость емкости варикапа от напряжения

зации, которое может быть от 1,5 до 200 В, а также максимально допустимый ток в режиме стабилизации от сотен миллиаметр до десятков ампер.

Варикапы, которые были рассмотрены в гл. 5, конструктивно относятся к диодам, использующим зависимость емкости перехода от напряжения при обратном его включении. На рис. 7.3 показана зависимость этой емкости от напряжения.

Цветная полоса на корпусе диода указывает на положение катода, у стабилитронов катод обозначается так же, но при этом на корпусе стабилитрона указывают напряжение стабилизации, например: 9V1 означает напряжение стабилизации 9,1 В. На корпусе варикапа катод обозначают цветной точкой или выделяющейся полосой, выполненной на полкорпуса.

К специальным диодам относятся ***диоды Шотки,*** используемые для импульсных схем, и ***диоды Ганна*** — для генераторов высокой частоты.

7.2. СВЕТОДИОДЫ И ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ

Светодиод — полупроводниковый прибор, разновидность диода, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение.

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Конструкция мощного светодиода схематически показана на рис. 7.4.

Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области ***p***—п-перехода. Приконтактные слои полупроводникового

кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными (р-тип), по другую — донорскими (п-тип). Чем больше ток проходит через светодиод, тем больше электронов и дырок поступают в зону рекомбинации в единицу времени, тем самым увеличивая яркость свечения. Ток через светодиод должен быть ограничен, в противном случае световод выйдет из строя. Цвет излучения светодиода зависит исключительно от ширины запрещенной зоны, в которой рекомбинируют электроны и дырки, т. е. от материала полупроводника и легирующих его примесей. Чем «синее» излучение светодиода, тем выше энергия квантов, а значит, тем больше должна быть ширина запрещенной зоны.

формирование белого света от светодиодов может быть реализовано тремя способами:

1) смешиванием цветов по технологии RGB. На одной матрице плотно размещаются красные, голубые и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается с помощью оптической системы, например линзы. В результате получается белый свет;

2) на поверхность светодиода, работающего в ультрафиолетовом диапазоне, наносят слой трех разных люминофоров, излучающих соответственно голубой, зеленый и красный свет, по принципу работы люминесцентной лампы;

3) использование полупроводникового материала с излучением, близким к белому с оттенком того или иного цвета.

Светодиод — низковольтный прибор. Обычный светодиод, применяемый для индикации, питается напряжением от 2 до 4 В при токе до 50 мА. Используемые для освещения светодиоды питаются напряжением до 12 В, с током — от нескольких сотен миллиампер до 5 А.

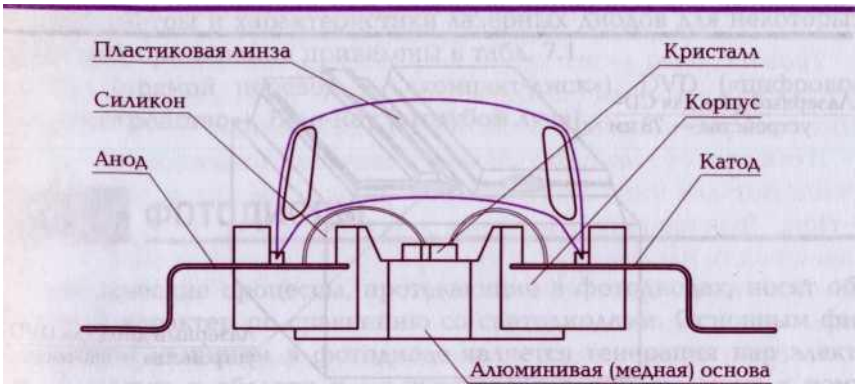


Рис. 7.4. Конструкция светодиода

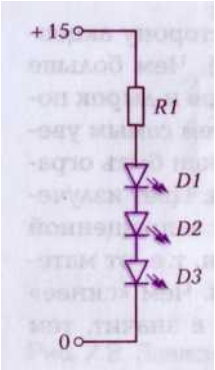


Рис. 7.5. Условное графическое обозначение светодиодов и способ включения их в электрическую цепь

При подключении светодиода (рис. 7.5) необходимо соблюдать полярность. Напряжение пробоя обычного светодиода составляет не более 5 В. К параметрам и характеристикам светодиода относятся световой поток, осевая сила света, диаграмма направленности и светоотдача (величина светового потока на 1 Вт электрической мощности). Светодиоды излучают свет в пределах телесного угла от 4 до 140°. Яркость светодиодов очень хорошо поддается регулированию методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), для чего используется специальный управляющий блок. В этом случае на светодиод подается импульсно-модулированный ток с частотой сотни или тысячи герц.

Светодиод механически прочен и надежен, срок его службы может достигать 100 тыс. ч.

Существующая система обозначений использует две и три буквы и три цифры, например, АЛ316 или АЛС331. Первая буква указывает на материал (арсенид галлия, алюминий, мышьяк), вторая (или вторая и третья) — на конструктивное исполнение: Л — единичный светодиод, АС — ряд или матрица светодиодов. Последующие символы кодируют параметры светодиода, носящие справочный характер.

К особому виду светодиодов относятся ***лазерные диоды,*** которые представляют собой полупроводниковые элементы, предназначенные для генерации видимого или невидимого (фотонного)

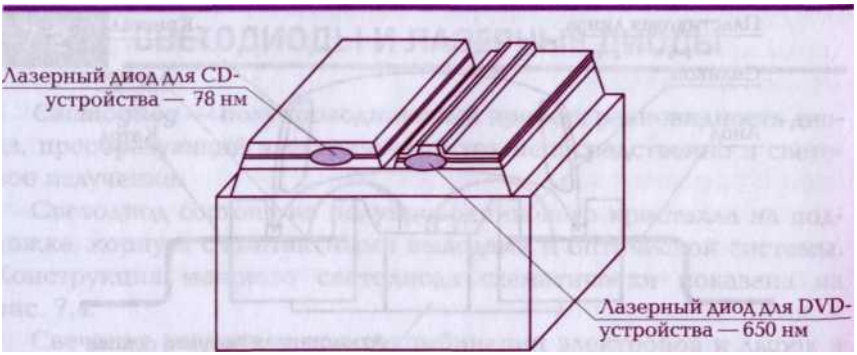


Рис. 7.6. Конструкция сдвоенного лазера для CD- и DVD-устройств

Таблица 7.1. Параметры лазерных диодов и области их применения

Параметры	Устройства			
	CD	DVD	Blue-Ray	Волоконно-оптические лазеры
Длина волны излучения, нм	790	655	455	1 300—1550
Рабочий ток лазера, мА	68	52	120	100
Рабочее напряжение, В	1,9	2,2	5	2
Эффективность (мощность/ток), мВ/мА	0,4	0,6	1,1	0,4

излучения в очень узкой полосе частот. Такое излучение называют когерентным.

У лазерного диода есть два главных конструктивных отличия по сравнению со светодиодом: 1) он включает встроенный оптический резонатор; 2) работает при значительно больших значениях токов накачки, чем светодиод, что позволяет при превышении некоторого порогового значения токов получить режим индуцированного излучения. Именно такое излучение характеризуется высокой когерентностью, благодаря чему лазерные диоды имеют очень малую ширину спектра излучения (1 — 2 нм).

Лазерные диоды используются в качестве генераторов для передачи сигналов по оптоволоконному кабелю в цифровых системах связи в составе устройств CD, DVD, Blue-Ray для записи и считывания информации на лазерных дисках. На рис. 7.6 показана конструкция лазера для CD- и DVD-устройств, выполненного на одном кристалле.

Параметры и характеристики лазерных диодов для некоторых областей применения приведены в табл. 7.1.

CD (прямой перевод — «компакт-диск»), DVD («цифровое видеоустройство»), Blue-Ray («голубой луч»).

7.3. ФОТОДИОДЫ

Физические процессы, протекающие в фотодиодах, носят обратный характер по сравнению со светодиодами. Основным физическим явлением в фотодиоде является генерация пар электрон—дырка в области p — n-перехода и в прилегающих к нему областях под действием облучения.

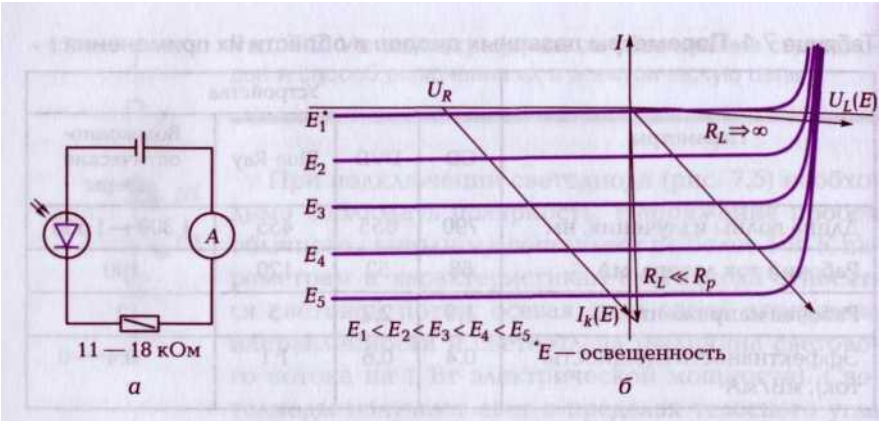


Рис. 7.7. Способ включения фотодиода в электрическую цепь [а) и его вольт-амперная характеристика (б) с нагрузочной характеристикой

Таким образом, фотодиод выполняет роль «ключа», который открывается при его облучении светом.

Фотодиоды удобно характеризовать семейством вольт-амперных характеристик (ВАХ), соответствующих различным световым потокам (в люменах) или различным освещенностям (в люксах).

Как видно на рис. 7.7, при усилении потока света ток через фотодиод увеличивается. Прямая линия на ВАХ является нагрузочной характеристикой и определяет сопротивление фотодиода постоянному току.

ТИПЫ И ВИДЫ ТРАНЗИСТОРОВ

Транзисторы — это полупроводниковые приборы, предназначенные для усиления сигналов, а также для использования в качестве электронных ключей «включено-выключено».

В отличие от электронных ламп в создании тока в транзисторах участвуют два типа носителей — «дырки» р-типа и электроны л-типа. Транзисторы компактны и технологичны, у них высокая зависимость параметров от температуры, большой уровень «темнового» тока. Транзисторы подразделяются на два основных типа — биполярные и полевые.

Система обозначений транзисторов установлена отраслевым стандартом ОСТ 11336.919—81. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код:

- первый элемент (цифра или буква) обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен транзистор;
- второй элемент (буква) определяет подкласс (или группу) транзисторов;
- третий элемент (цифра) устанавливает основные функциональные возможности транзистора;
- четвертый элемент (число) обозначает порядковый номер разработки технологического типа транзистора;
- пятый элемент (буква) определяет классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по единой технологии.

Для обозначения исходного материала используют следующие символы:

- Г, или 1, — германий и его соединения;
- К, или 2, — кремний и его соединения;
- А, или 3, — соединения галлия (арсенид галлия);
- И, или 4, — соединения индия.

Для обозначения подклассов используют буквы Т — биполярные транзисторы и П — полевые транзисторы.

Наиболее характерные эксплуатационные признаки транзисторов обозначают цифрами:

транзисторы малой мощности (максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, не более 0,3 Вт):

- 1 — с граничной частотой коэффициента передачи тока или максимальной рабочей частотой (далее граничной частотой) не более 3 МГц;
- 2 — с граничной частотой 3—30 МГц;
- 3 — с граничной частотой более 30 МГц;

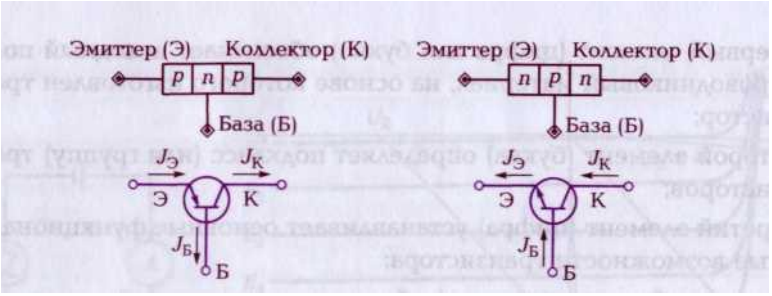
транзисторы средней мощности (0,3—1,5 Вт):

- 4 — с граничной частотой не более 3 МГц;
- 5 — с граничной частотой 3—30 МГц;
- 6 — с граничной частотой более 30 МГц;

транзисторы большой мощности (более 1,5 Вт):

- 7 — с граничной частотой не более 3 МГц;
- 8 — с граничной частотой 3 — 30 МГц;
- 9 — с граничной частотой более 30 МГц.

Существуют особые виды транзисторов:



а *б*

Рис. 7.8. Биполярные транзисторы ***p-n—p***- (а] и ***n-p—n***-типа (б]

- фототранзисторы, которые используют в оптопарах — системах автоматического управления;
- многоэлектродные транзисторы для реализации в цифровых и логических схемах;
- транзисторы с «плавающим» затвором для создания микросхем памяти микропроцессоров;
- однопереходные транзисторы, которые используются в блоках питания и др.

Биполярным транзистором называется полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р—л-переходами. Биполярные транзисторы в зависимости от чередования областей подразделяют на транзисторы *р*—л — р- и л—р—л-типа (рис. 7.8).

Принцип действия биполярного транзистора основан на использовании физических процессов, происходящих при переносе основных носителей электрических зарядов из эмиттерной в коллекторную область через базу,

$$I_э = I_б + I_к, \quad (7.1)$$

где $I_э$, $I_б$, $I_к$ — токи соответственно в цепи эмиттера, базы и коллектора.

Важнейшими параметрами, характеризующими качество транзистора, являются дифференциальный коэффициент передачи тока из эмиттера [illegible] коэффициент передачи

$$\alpha = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} \text{ при } U_{кэ} — \text{const}, \ \beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \gg 1. \quad (7.2)$$

Современные транзисторы имеют $\alpha = 0{,}9 — 0{,}99$ и $\beta = 4 — 10\,000$.

Основными параметрами транзисторов являются:

- коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{\Delta I_{вых}}{\Delta I_{вх}}; \qquad (7.3)$$

- коэффициент усиления по напряжении

$$K_U = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}}; \qquad (7.4)$$

коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{\Delta P_{вых}}{\Delta P_{вх}}; \qquad (7.5)$$

входное сопротивление

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta I_{вых}}; \qquad (7.6)$$

выходное сопоставление

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta I_{вых}}. \qquad (7.7)$$

Существуют три способа включения транзисторов в схемы. Это важный момент, учитываемый при чтении и составлении принципиальных схем. Параметры транзисторов при различных вариантах включения приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Способы включения биполярных транзисторов в схемы

Параметр	Способ включения		
	Общие		
	эмиттер	база	коллектор
Схема включения			
Входное сопротивление $R_{вх}$	$\Delta U_б/\Delta I_б$ 200—2 000 Ом	$\Delta U_э/\Delta I_э$ 30—1 500 Ом	$\Delta U_б/\Delta I_б$ 0,2—1 МОм
Выходное сопротивление $R_{вых}$	$\Delta U_к/\Delta I_к$ 10—100 кОм	$\Delta U_к/\Delta I_к$ 0,5—2 МОм	$\Delta U_э/\Delta I_э$ 50—500 Ом

Окончание табл. 7.2

Параметр	Способ включения		
	Общие		
	эмиттер	база	коллектор
Усиление по току	$\beta = \Delta I_к / \Delta I_б$ 20—200	$\alpha = \Delta I_к / \Delta I_э$ < 1	$\gamma = \Delta I_э / \Delta I_б$ 20—200
Усиление по напряжению	> 100	>100 или > 1 000	- 1
Усиление по мощности	> 1 000	> 100	> 10
Напряжения на выходе и входе	В противофазе	В фазе	В фазе
Использование	Универсальное. Усилитель и фазоинвертор	На наиболее высоких частотах. При работе на высокоомную нагрузку	При работе на низкоомную нагрузку или от высокоомного генератора

Характеристики транзисторов, которые определяют особенности их использования в усилительных и генераторных схемах, подразделяют на входные и выходные.

Входные характеристики показывают зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном напряжении на выходном электроде.

Выходные характеристики показывают зависимость выходного тока от напряжения на выходном электроде при постоянном входном токе или напряжении. На рис. 7.9 приведены статические характеристики для схемы с ОЭ.

Биполярные транзисторы применяют в качестве активных элементов в усилителях, генераторах, ключевых и логических схемах [4].

Полевым транзистором называется электронный прибор с проводящим каналом между двумя электродами, по которому протекает ток [26]. Управление этим током осуществляется электрическим полем, создаваемым третьим электродом. Электрод, с которого начинается движение носителей заряда, называется ***истоком,*** а электрод, к которому они движутся, — ***стоком.*** Электрод, создающий управляющее электрическое поле, называется ***затвором.***

Различают два типа полевых транзисторов: с управляющим ***p***—л-переходом и с управлением изолированным затвором (МДП-

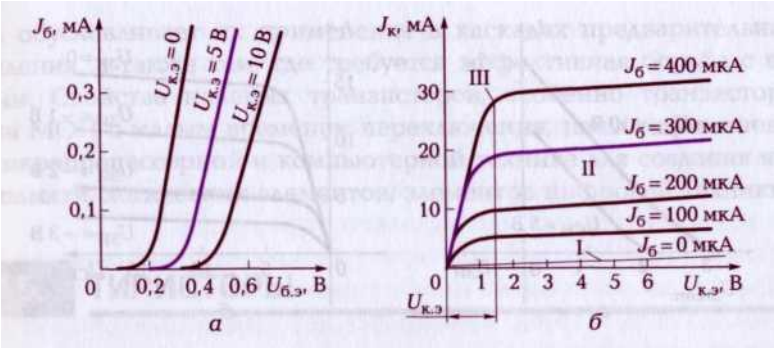


Рис. 7.9. Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов

транзисторы). По типу электропроводности полевые транзисторы могут быть с каналами p- и n-типов (рис. 7.10).

Входные и выходные статические характеристики полевых транзисторов показаны на рис. 7.11.

Полевые транзисторы обозначают аналогично биполярным, только используют букву П вместо Т, например КП306А — кремниевый полевой транзистор малой мощности, высокочастотный, номер разработки 06, группа А.

Схемы включения полевых транзисторов аналогичны схемам включения биполярных транзисторов: с общим затвором, общим стоком и общим истоком. Полевые транзисторы имеют высокое входное сопротивление, их управление обеспечивается напряжением, а ток формируется из потока одинаковых зарядов — дырок или электронов.

В транзисторах с изолированным затвором затвор отделен от полупроводника слоем диэлектрика, в качестве которого в кремниевых приборах обычно используется двуокись кремния. Эти

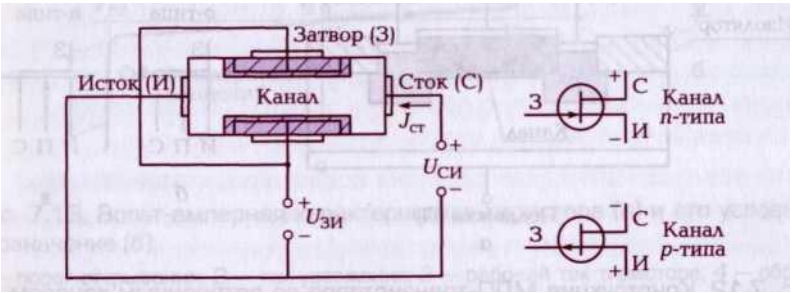


Рис. 7.10. Конструкция полевого транзистора с каналами ***n***- и p-типа

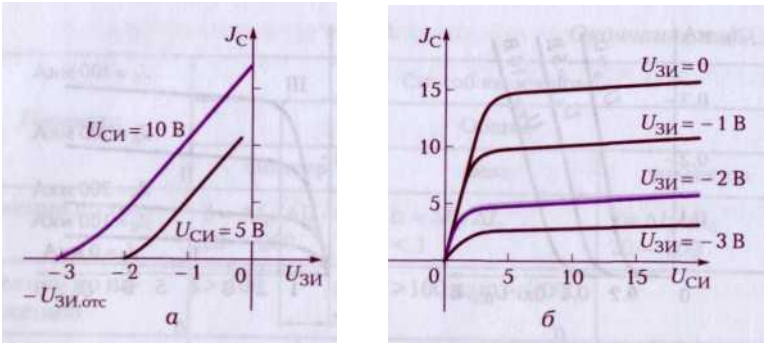


Рис. 7.11. Входные (а) и выходные (б) характеристики полевых транзисторов

транзисторы обозначают аббревиатурой МОП (металл — окисел — полупроводник) или МДП (металл — диэлектрик — полупроводник) , если используется другой диэлектрик.

В МДП-транзисторах со встроенным (собственным) каналом, так называемых транзисторах обедненного типа, еще до подачи управляющего напряжения на затвор имеется проводящий канал, соединяющий исток и сток. В транзисторах с индуцированным каналом (транзисторы обогащенного типа) такой канал отсутствует. МДП-транзисторы характеризуются очень большим входным сопротивлением. При работе с ними надо предпринимать особые меры защиты от статического электричества. МДП-транзисторы со

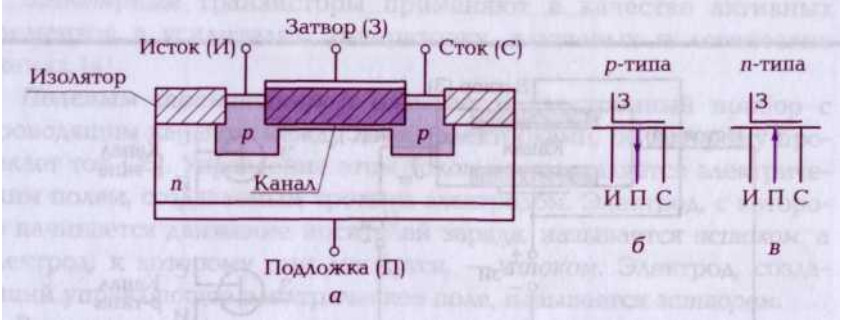


Рис. 7.12. Конструкция МДП-транзисторов со встроенным каналом (а) и их условное обозначение (б, в)

ров обусловливает их применение в каскадах предварительного усиления, а также там, где требуется эффективная борьба с шумами. Свойства полевых транзисторов, особенно транзисторов типа МОП с малым временем переключения, нашли применение в микропроцессорной и компьютерной технике для создания ячеек памяти, логических элементов, элементов цифровой техники.

7.5. ТИРИСТОРЫ

Тиристор — прибор ключевого действия. Во включенном состоянии он подобен замкнутому «ключу», а в выключенном — разомкнутому.

Упрощенно принцип работы тиристора заключается в следующем. Если не подключать к электрической сети управляющий электрод, то тиристор ведет себя как диод, при этом прямая характеристика похожа на обратную характеристику стабилитрона.

Если на управляющий электрод ***У*** (рис. 7.13) подать положительный потенциал относительно катода, то можно управлять процессом открывания тиристора в точке перегиба ВАХ. После того как тиристор включился и через него (от анода к катоду) начал протекать ток, управляющий электрод на него уже не влияет (принцип тиратрона). Выключить тиристор с помощью управляю-

Рис. 7.13. Вольт-амперная характеристика тиристора (а) и его условное обозначение (б):

1 – порог открывания; *2* – ток удержания; 3 – рабочий ток тиристора; 4 – обратное напряжение пробоя; 5 – ток пробоя; *А* – анод; *К* – катод; *У* – управляющий электрод

щего электрода нельзя. Это можно сделать, только разомкнув питающую сеть или подавая отрицательное напряжение на анод. Еще одна особенность тиристора заключается в том, что его ВАХ имеет участок с отрицательным сопротивлением, на котором напряжение на тиристоре уменьшается при значительном росте тока. Мощность, затраченная при запуске тиристора, возвращается в источник питания или выделяется в нагрузке.

Более подробно с работой тиристора можно познакомится в [4].

Тиристоры, которые не имеют управляющего электрода, а имеют только анод и катод, называются неуправляемыми тиристорами — *динисторами.*

Если увеличить число полупроводниковых слоев до пяти, прибор превращается в *симистор* (по англоязычной терминологии — «триак»). Такая конструкция приводит к появлению новых свойств. Симистор проводит ток в обеих направлениях в открытом состоянии. Так как это симметричный прибор, в нем нет катода, а есть только управляющий электрод и два анода. Свойства симистора эффективно используются в схемах управления питанием переменным током.

7.6. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Оптоэлектронные приборы — это замкнутая система, чувствительная к электромагнитному излучению в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях, эти приборы являются одновременно формирователями и пользователями такого излучения.

Одна из разновидностей оптоэлектронного прибора — оптрон имеет источник и приемник излучения, конструктивно объединенные в одном корпусе. В качестве источника света используются светодиоды и лазеры, а приемником служат фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры (рис. 7.14). Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического тока в свет, его передаче по оптическому каналу и последующему преобразованию обратно в электрический сигнал. Основные достоинства оптоэлектронных приборов:

- полная гальваническая развязка источников и приемников;
- отсутствие влияния приемника излучения на его источник (однонаправленность потока информации);
- невосприимчивость оптических каналов к электромагнитным полям (высокая помехозащищенность).

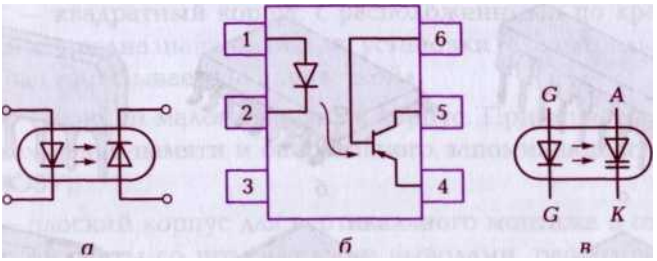


Рис. 7.14. Виды оптоэлектронных приборов:
а – диодный; б – транзисторный; ***в*** — тиристорный

В цепях передачи цифровых информационных сигналов применяют главным образом диодные и транзисторные оптроны, а для оптической коммутации высоковольтных сильноточных цепей — тиристорные оптроны. Быстродействие тиристорных и транзисторных оптронов характеризуется длительностью переключения, которая находится в диапазоне 5—50 мкс.

Кратко принцип работы оптрона заключается в следующем: излучающий диод (рис. 7.14, а, б) должен быть включен в прямом направлении, фотодиод, если работает в режиме фотогенератора, — в прямом, а в режиме фотопреобразователя — в обратном. Фотоны, излучаемые светодиодом, попадают на p—n-переход фотодиода и индуцируют в нем свободные заряды, которые создают ток во внешней цепи.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Интегральная схема (ИС) — микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигналов и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных полупроводниковых элементов — диодов, транзисторов, резисторов и пленочных конденсаторов.

Микросхемы упаковывают в единый корпус и выполняют их, как правило, на одном кристалле кремния. В зависимости от функционального назначения интегральные микросхемы (ИМС) подразделяют на аналоговые и цифровые.

Аналоговые ИМС предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции.

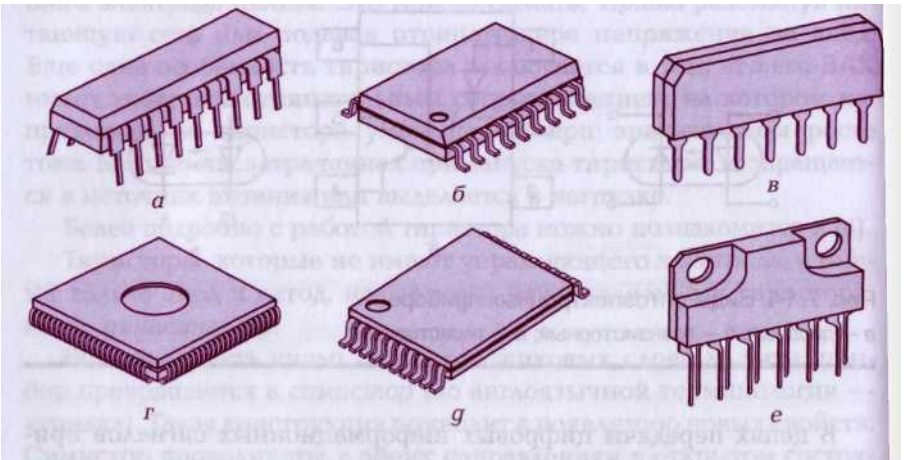


Рис. 7.15. Основные типы корпусов интегральных схем:
а — DIP; *б* — SOIC; *в* — SIP; *г* — PLCC; *д* — TSOP; *е* — ZIP

Цифровые ИМС применяют для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции. Частным случаем их применения являются логические микросхемы, выполняющие операции с двоичным кодом, которые описываются законами логической алгебры.

Микросхемы подключаются к электрической схеме изделия с помощью выводов, расположение которых определяется типом корпуса (рис. 7.15):

- DIP — тип корпуса микросхем, микросборок и некоторых других электронных компонентов для монтажа в отверстия печатной платы. Имеет прямоугольную форму с двумя рядами выводов по длинным сторонам. Может быть выполнен из пластика (PDIP) или керамики (CDIP). Обычно в обозначении также указывается число выводов;
- SOIC — корпус микросхем, предназначенных для поверхностного монтажа, занимает на печатной плате на 30 — 50 % меньше площади, чем микросистема в корпусе DIP, а также имеющий на 50 — 70% меньшую толщину, чем корпус DIP. Обычно в обозначении также указывается число выводов SOIC;
- SIP — плоский корпус для вертикального монтажа в отверстия печатной платы, с одним рядом выводов по длинной стороне. В обозначении этих микросхем на корпусе указывается число выводов;

- PLCC — квадратный корпус с расположенными по краям контактами, предназначенный для установки в специальную панель (часто называемую «кроваткой»;
- TSOP — тонкий малогабаритный корпус. Применяется для микросхем флеш-памяти и оперативного запоминающего устройства (ОЗУ);
- ZIP — плоский корпус для вертикального монтажа в отверстия печатной платы со штырьковыми выводами, расположенными зигзагообразно.

В полупроводниковой микросхеме все элементы и межэлементные соединения выполнены в объеме или на поверхности полупроводника. Это наиболее распространенная разновидность интегральных схем.

Интегральную схему называют гибридной, если она содержит навесные радиокомпоненты и кристаллы микросхем, выполненные на одной подложке и залитые компаундом.

В пленочных ИС отдельные элементы и межэлементные соединения создаются на поверхности диэлектрика (обычно используют керамику и гибкий пластик) в виде тонких и толстых пленок. При этом применяются различные технологии нанесения пленок из соответствующих материалов.

По степени интеграции ИМС подразделяются на обычные микросхемы (до 1 000 элементов на кристалле), большие интегральные схемы — БИС (от 1 000 до 10 000 элементов) и сверхбольшие интегральные схемы — СБИС (более 1 млн элементов на кристалле) .

Практически все полупроводниковые микросхемы изготовляют по планарной технологии. По этой технологии элементы формируют в слое пластины полупроводникового материала — кремния, арсенида галлия, германия — способом термической диффузии полупроводниковых примесей в тело базового полупроводника. Для формирования геометрических размеров контактных площадок, проводников, элементов схемы используют метод фотолитографии.

Цикл формирования элементов микросхемы способом фотолитографии показан на рис. 7.16.

При подготовке поверхности проводят ультразвуковую очистку, промывку и окисление. Фоторезист наносится методом распыления и выравнивается на центрифуге. На слой высушенного фоторезиста накладывают фотошаблон с рисунком очередного полупроводникового слоя в виде прозрачных для ультрафиолета окон.

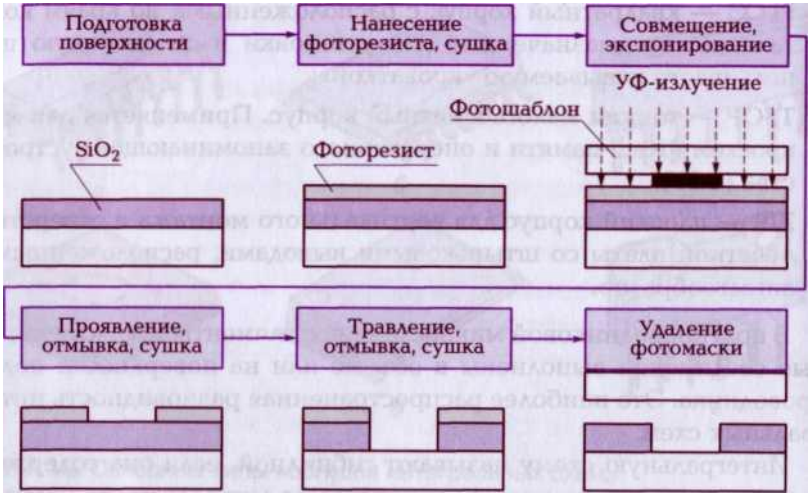


Рис. 7.16. Циклограмма формирования полупроводникового слоя в планарной технологии

Проводится засветка (экспонирование) ультрафиолетовым светом, фоторезист засвечивается и при проявлении в растворе щелочи засвеченные участки фоторезиста удаляют (позитивный фоторезист). В окне фоторезиста вытравливают защитный слой окисла — «обнажается» полупроводниковая пластина. Пластину кремния помещают в диффузионную печь (при температуре 1 000– 1 200 °С) и выдерживают в течение от 30 мин до нескольких часов. При этом пластина наполняется газообразной смесью нейтрального газа (азота) и молекул легирующей примеси (фосфор, бор, индий и т.д.). В результате температурной обработки получается «карман» противоположной проводимости к подложке и р — п-переход. Для формирования защитного слоя мест, не требующих обработки при диффузии, фотолитография пластины кремния проводится дважды с нанесением окиси кремния $Si0_2$.

При групповом методе изготовления микросхем на пластине диаметром от 100 до 200 мм получается несколько сотен одинаковых микросхем. На этапе тестирования бракованные кристаллы удаляют после операции скрайбирования (разламывания на отдельные кристаллы). При проведении операции термокомпрессии к контактным площадкам сформированных элементов приваривается золотая проволока, конец которой присоединяется к выводам корпуса микросхемы. На заключительной операции кристалл микросхемы «заваривается» в пластмассовый корпус.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На каких принципах основано действие полупроводниковых приборов?
2. Какие приборы вы можете отнести к диодам? Дайте им краткую характеристику и укажите область их применения.
3. Чем отличаются транзисторы от диодов? Как это сказывается на свойствах транзисторов и их характеристиках?
4. Опишите способы включения транзисторов в электрическую цепь. В чем заключаются достоинства и недостатки каждого из способов?
5. Назовите особенности конструкции и применения полевых транзисторов.
6. Объясните технологию изготовления микросхем.

Глава 8

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

8.1. РЕЛЕЙНЫЕ УСТРОЙСТВА

Электрическое реле [5] предназначено для коммутации электрических цепей и скачкообразного изменения выходных величин при заданных изменениях тока управления. Реле находят широкое применение в схемах управления и автоматики, с их помощью можно управлять большими мощностями на выходе при малых по мощности входных сигналах, реализовывать логические операции, осуществлять коммутацию электрических цепей, фиксировать отклонения контролируемого параметра и др.

Реле состоит из трех функциональных элементов: воспринимающего, промежуточного и исполнительного.

Воспринимающий (первичный) элемент — преобразует энергию электрического тока в механическое перемещение сердечника.

Промежуточный элемент — сравнивает силу магнитного поля с силой натяжения пружины.

Исполнительный элемент — обеспечивает механическое замыкание-размыкание электрических контактов.

При протекании тока по виткам электромагнитной катушки (рис. 8.1) железный сердечник намагничивается и притягивает ярмо. Сила магнитного притяжения превышает силу натяжения пружины. Срабатывает исполнительный механизм, и электрическая контактная группа переходит в другое состояние, отключая или включая ток через нагрузку.

Электромагнитные реле подразделяют на реле постоянного и переменного тока. В реле переменного тока сердечник и якорь изготовляют из листов электротехнической стали, чтобы уменьшить потери на гистерезис (перемагничивание сердечника) и вихревые токи. Катушки реле постоянного тока представляют собой обычный соленоид. Число витков определяется расчетным током катушки и величиной требуемого магнитного поля. Катушки реле переменного тока рассчитывают так, чтобы учесть реактивную составляющую

ее сопротивления на переменном токе, которая имеет значительную величину. Вследствие этого катушки реле в цепях постоянного и переменного тока обладают разным омическим сопротивлением и числом витков. Это не позволяет применять на постоянном токе реле, рассчитанные на переменный ток, так как сопротивление обмотки переменного тока меньше, что вызовет перегрев катушки и выход ее из строя. Сопротивление катушки реле переменного тока составляет 14 кОм, а постоянного — 54 кОм.

К основным параметрам электромагнитных реле относятся:

- воздействующая величина срабатывания реле — значение тока, напряжения, света и других величин, при которых реле включается. Величина срабатывания, на которую отрегулировано реле, называется уставкой;
- мощность срабатывания реле — минимальная мощность, которую необходимо подвести к воспринимающему элементу для перевода его из состояния покоя в рабочее состояние;
- управляемая мощность — мощность нагрузки, которой управляет реле в процессе переключения. По мощности управления

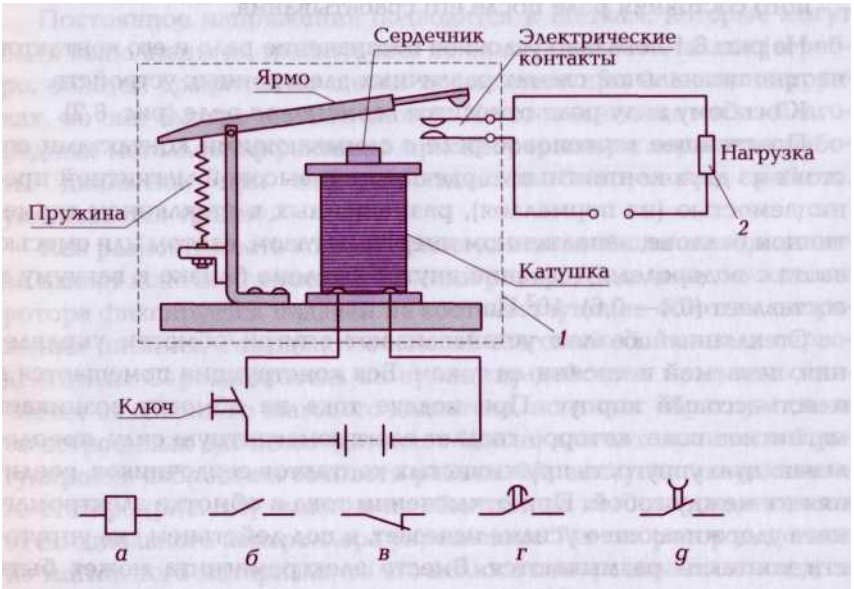
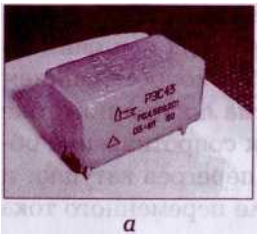


Рис. 8.1. Конструкция электромагнитного реле и условное обозначение реле на электрических схемах:
а – катушка реле; б – нормально разомкнутые контакты; в – размыкающий контакт; г, д – контакт с замедлением замыкающий



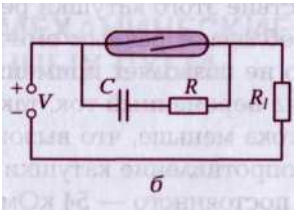


Рис. 8.2. Внешний вид герконового реле [а] и схема его включения (б)

различают реле малой мощности (до 25 Вт), средней мощности (до 100 Вт) и повышенной мощности (более 100 Вт);

- период срабатывания реле — промежуток времени от подачи на вход сигнала до начала воздействия его на управляемую цепь. По периоду срабатывания различают: нормальные, быстродействующие и реле времени. Для нормальных реле период срабатывания 50... 150 мс, для быстродействующих реле — 1 мс;
- период возврата реле — интервал времени с момента снятия напряжения до его отключения;
- период удержания реле — промежуток времени фиксированного состояния реле после его срабатывания.

На рис. 8.1 показано условное обозначение реле и его контактов на принципиальной схемах различных электронных устройств.

К особому виду реле относится ***герконовое реле*** (рис. 8.2). Простейшее герконовое реле с замыкающими контактами состоит из двух контактных сердечников с высокой магнитной проницаемостью (из пермаллоя), размещенных в стеклянном герметичном баллоне, заполненном инертным газом, азотом или смесью азота с водородом. Давление внутри баллона близко к вакууму и составляет (0,4 — 0,6) • 10^3 Па.

Стеклянный баллон устанавливают внутри обмотки управления, питаемой постоянным током. Вся конструкция помещается в пластмассовый корпус. При подаче тока на обмотку возникает магнитное поле, которое создает электромагнитную силу, преодолевающую упругость пружинистых контактов сердечников, соединяя их между собой. При отключении тока в обмотке электромагнита удерживающее усилие исчезает, и под действием сил упругости контакты размыкаются. Вместо электромагнита может быть использован магнит. На базе герконов конструируются кнопки, тумблеры, переключатели, устройства автоматической фиксации закрытия корпуса для защиты от несанкционированного проникновения.

8.2. ДВИГАТЕЛИ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ

В качестве исполнительных электромеханических устройств широкое применение в РЭА находят двигатели постоянного и переменного тока [6].

К двигателям постоянного тока относятся:

- коллекторные двигатели с щеточноколлекторным переключателем тока;
- бесколлекторные двигатели с электронным переключением направления тока.

К ***двигателям переменного тока*** относятся синхронные и асинхронные машины.

Коллекторные двигатели используют в следящих системах перемещения лазерной головки, в качестве шпиндельных моторов для раскручивания диска, механического перемещения шестерен и др.

Конструкция коллекторного двигателя показана на рис. 8.3.

Постоянное напряжение подводится к щеткам, которые могут быть выполнены из графита или из благородных металлов (серебро, золото). Графитовые щетки используют при больших нагрузках, но они быстро изнашиваются. Изготовление щеток из благородных металлов эффективно при непрерывном характере работы двигателя, при этом достигается бесшумность работы, уменьшается трение.

Как разновидность коллекторных двигателей ***шаговые двигатели*** имеют конечное число положений ротора. Заданное положение ротора фиксируется подачей на соответствующие обмотки напряжения питания. Различают обычный шаговый двигатель и серводвигатель. Серводвигатель по принципу действия мало чем отличается от обычного шагового двигателя, но имеет обратную связь от встроенных датчиков (датчиков Холла) для автоматической регулировки скорости и точности работы. На выступах неподвижного статора (рис. 8.4) выполнены обмотки, на которые подается ток от специального контроллера управления. Так как ротор выполнен из магнитного материала, то его полюса поворачиваются вслед, за изменением магнитного поля занимая минимальное расстояние между выступами.

Бесколлекторные двигатели постоянного тока (рис. 8.5) состоят из статора с многофазной обмоткой и ротора в виде

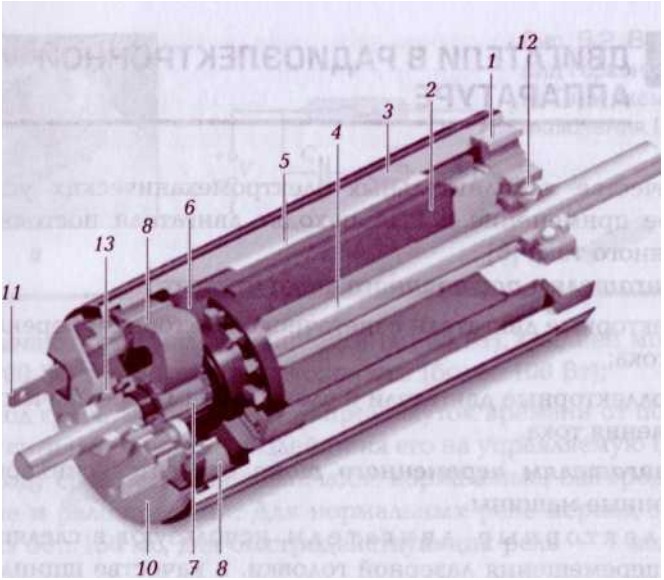


Рис. 8.3. Конструкция коллекторного двигателя постоянного тока:

7 – фланец; 2 – постоянный магнит; 3 – корпус; 4 – вал; 5 – обмотка; *В* – плата коллектора; 7 – графитовые щетки; *8* – шариковый подшипник; ***9*** – электрический контакт; 70 – кожух; 7 7 – коллектор; 72 – металлические щетки; *13* – металлокерамический подшипник скольжения

постоянного магнита и датчика положения ротора, выполненного в одном корпусе с двигателем и предназначенного для выработки сигналов управления моментами времени и последовательностью коммутации токов в обмотках статора.

Главное достоинство бесколлекторных двигателей — отсутствие вращающихся и переключающихся контактов, поэтому бесколлекторные двигатели имеют очень большой ресурс. Они используются, например, в качестве двигателей ведущего вала, блока вращающихся головок в видеомагнитофонах.

Двигатели переменного тока используются в некоторых изделиях РЭА, а также в различном производственном оборудовании. Их питание осуществляется одно- или трехфазным переменным током.

У синхронных электродвигателей ротор вращается синхронно с магнитным полем питающего напряжения. У асинхронных электродвигателей частота вращения ротора отличается от частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого питающим напряжением.

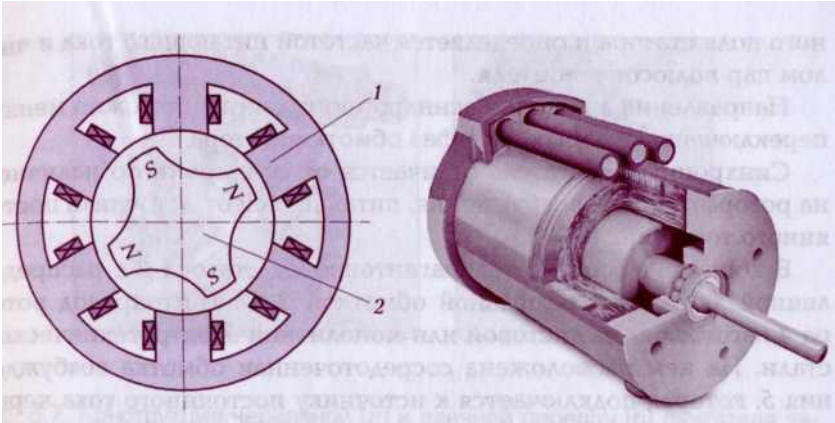


Рис. 8.4. Разрез шагового двигателя: *1* – статор; 2 – ротор

Рис. 8.5. Конструкция бесколлекторного двигателя

Трехфазные асинхронные электродвигатели по сравнению с однофазными обладают лучшими пусковыми и рабочими характеристиками. Основные конструктивные элементы асинхронных двигателей: статор — неподвижная часть (рис. 8.6, а) с обмотками 2 и ротором — вращающаяся часть (рис. 8.6, б). Воздушный зазор между статором и ротором у асинхронного мотора делается по возможности малым (до 0,25 мм). Частота вращения ротора асинхронного электродвигателя зависит от частоты вращения магнит-

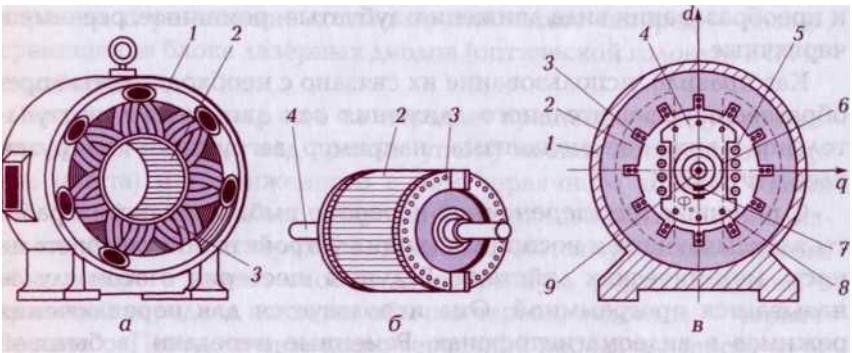


Рис. 8.6. Статор (а) и ротор (б) асинхронного двигателя, разрез синхронного двигателя (е):

а, б: *1* – корпус; 2 – магнитопроводы; *3* – коллектор; 4 – ось; *в: 1* — корпус; 2 – магнитопровод статора; 3 – обмотка трехфазная; 4 – магнитопровод ротора; 5 – обмотка возбуждения; *6* – контактные кольца; 7 – щетки; *В* – короткозамкнутая обмотка; *9* – вал

ного поля статора и определяется частотой питающего тока и числом пар полюсов двигателя.

Направление вращения асинхронного двигателя можно менять переключением любых двух фаз обмотки статора.

Синхронный двигатель отличается от асинхронного наличием на роторе обмотки возбуждения, питающейся от источника постоянного тока (рис. 8.6, в).

В корпусе ***1*** расположен магнитопровод статора ***2*** с распределенной двух- или трехфазной обмоткой ***3.*** Магнитопровод ротора ***4*** изготовлен из листовой или монолитной электротехнической стали. На нем расположена сосредоточенная обмотка возбуждения 5, которая подключается к источнику постоянного тока через два контактных кольца 6, установленных на валу ***9,*** и щетки 7. В специальных пазах полюсных наконечников ротора уложена короткозамкнутая обмотка типа «беличьей клетки» ***8,*** выполняющая в режиме двигателя роль пусковой обмотки.

Использование рассмотренных электродвигателей в электронной технике ограничено, но их широко применяют в производственном оборудовании (в станках для сверления отверстий в платах, установки радиоэлементов и др.).

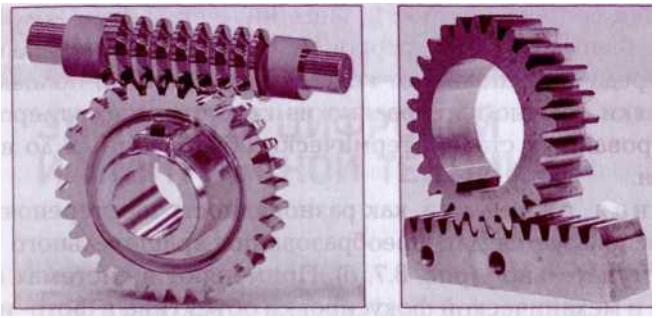
8.3. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ ДВИЖЕНИЯ

В электронной технике используются различные виды передач и преобразования вида движения: зубчатые, ременные, реечные и червячные.

Как правило, использование их связано с необходимостью преобразования вращательного движения оси двигателя в поступательное движение механизма, например загрузки — выгрузки кассеты (диска).

С помощью ***шестереночной передачи*** выбирают режим работы записывающих и воспроизводящих устройств и последовательность механических действий. Ведущая шестерня в этом случае называется программной. Она используется для переключения режимов в видеомагнитофонах. Ременные передачи (в бытовой технике они именуются как «пассики») служат для передачи движения от двигателей ведущего вала к механизмам перемотки и загрузки.

В зубчатых передачах (шестереночных, червячных, реечных) вращение от одного колеса к другому передается с помощью зубьев.



а *б*

Рис. 8.7. Конструкция червячной (а) и реечной передач (б] двигателя загрузки

Зубчатые колеса вращаются намного легче фрикционных. Фрикционные передачи из-за трения между вращающими валами в радиоэлектронной аппаратуре практически не применяются.

Передаточное число ***i*** в зубчатых колесах выражается через число зубцов на ведомой и ведущей шестернях:

$$i = z_2/z_1, \qquad (8.1)$$

где z_2 и z_1 — число зубцов соответственно ведомого и ведущего колес.

Вращательное движение с помощью ***червячной*** и ***реечной передачи*** (рис. 8.7) преобразуется в поступательное, обеспечивая, например, перемещение лотка загрузки кассет «вперед — назад», перемещения блока лазерных диодов (оптической головки) в DVD-устройствах.

Червячная передача передает вращение между скрещивающимися (обычно под прямым углом) валами посредством червяка (винта) и сопряженного с ним червячного колеса. Червяк (рис. 8.7, а) представляет собой винт с трапецеидальной или близкой к ней резьбой, а червячное колесо является зубчатым колесом, зубья которого имеют особую дугообразную форму. Ведущим в червячной передаче является обычно червяк, ведомым — червячное колесо. Передаточное число червячной передачи зависит от ее размеров и составляет от 8 до 100. Благодаря возможности получения больших передаточных чисел при сравнительно небольшом габарите передачи червячные передачи применяются в приводах загрузки — выгрузки кассет и др. Достоинства червячной передачи — плавность и бесшумность работы. Для уменьшения износа и

повышения сопротивляемости заеданию червячные колеса изготовляют главным образом из бронзы. В приборах и небольших силовых передачах используют колеса из текстолита, полиамидов и т. п. Червяки обычно изготовляют из качественных углеродистых или легированных сталей, термически обработанных до высокой твердости.

Реечная передача как разновидность шестереночной передачи используется для преобразования вращательного движения в поступательное (рис. 8.7, ***б).*** Применяют в системах автоматической и механической фокусировки объектива в фото- и видеокамерах. Зубчатые рейки должны соответствовать требованиям ГОСТ 10242 — 81. Скорость и точность перемещений механизмов зависят от передаточного числа, которое может быть очень большим (более 100), наклона и профиля зубьев передачи.

Ременная передача осуществляет передачу вращательного движения с помощью ремня, охватывающего закрепленные на валах шкивы. В зависимости от типа используемых ремней ременные передачи могут быть плоско-, клино- и круглоремёнными. Клино- и круглоремённые передачи требуют использования валов с проточками, но имеют преимущество перед плоскоремёнными в точности и скорости перемещения.

Эффективность передач и точное выполнение их функций связаны с механическим контактом между передаточными узлами и зависят от качества сцепления. Сцепление определяется не только материалами, из которых изготовлены элементы, но и от качества смазки, особенно для червячных и шестереночных передач.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите принцип работы электромагнитного реле.
2. Какие параметры и характеристики реле вы знаете?
3. Какие типы двигателей используются в электронной технике? Дайте их краткую характеристику и область применения.
4. Опишите конструкцию и принцип работы коллекторных и бесколлекторных двигателей.
5. Какие виды механических передач используются в электронной технике? Приведите пример их использования.

Раздел III

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ И ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНИКИ

Глава 9

ОБРАБОТКА АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Аналоговая природа присуща многим процессам. Изменение звука, температуры и других ощущений и состояний происходит непрерывно и показателем этого является аналоговая величина. В радиоэлектронике непрерывное изменение напряжения, тока, сопротивления, емкости и других величин во времени определяется как аналоговый сигнал. В любой промежуток времени по аналоговому сигналу можно оценить реальное значение какого-либо параметра. Несмотря на природный характер, аналоговые сигналы имеют такие особенности (шумы, постоянно меняющиеся значения и др.), которые ограничивают их использование особенно в системах управления и контроля, там, где требуется высокая точность.

Переход к цифровым сигналам, принимающих только два значения — высокий уровень напряжения (логическая 1) и низкий уровень напряжения (логический 0), позволяет использовать технологии сжатия информации, ее кодирование и восстановления, исправления ошибок, избавиться от недостатков аналоговой системы. Использование цифровых сигналов в вычислительной технике обеспечило ее бурное развитие. Цифровой сигнал может быть получен путем преобразования из аналоговой величины.

Перевод аналоговых сигналов в цифровую форму осуществляется в три этапа:

- дискретизация;

и

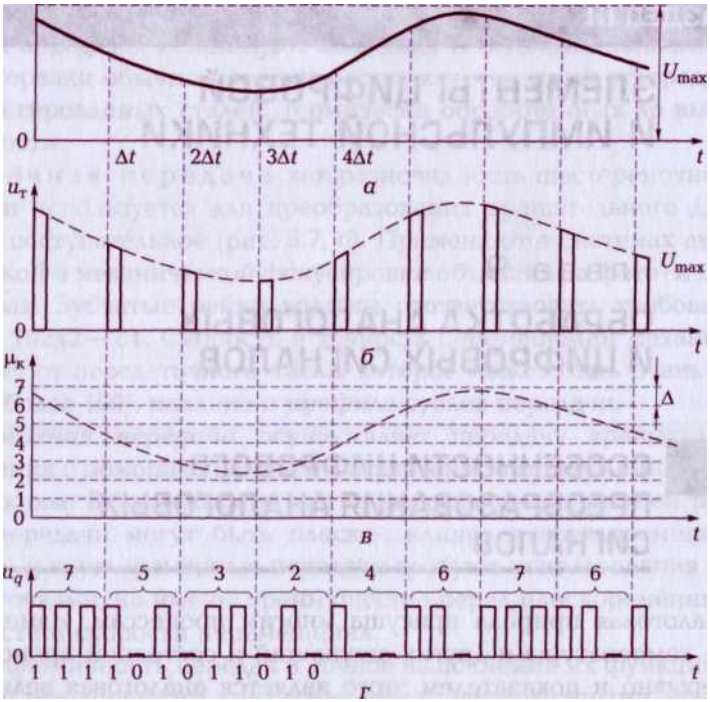


Рис. 9.1. Эпюры напряжений при преобразовании сигналов:
а – аналоговый сигнал; б – дискретизация; ***в*** — квантование; г — кодирование

- квантование;
- кодирование.

Дискретизация — процесс «разрезания» непрерывного (аналогового) сигнала через равные промежутки времени. Процесс дискретизации синусоидального сигнала иллюстрируется на рис. 9.1, ***б.***

Расстояние между отсчетами называется ***шагом дискретизации***,
величина обратная — ***частотой дискретизации.*** В результате такого преобразования непрерывный сигнал становится дискретным, состоящим из отдельных отсчетов (показаны на рис. 9.1, б точками).

Чем выше частота дискретизации (меньше шаг между отсчетами), тем точнее можно восстановить аналоговый сигнал из дискретного сигнала. Для выполнения условий восстановления реального сигнала из его дискретной копии существует теорема Котель-

никова (Нойквиста — Шеннона): «Если аналоговый сигнал имеет ограниченный по ширине спектр, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по дискретным отсчетам, выбранным с частотой не менее чем в два раза больше верхней частоты сигнала».

Квантование — процесс разбиения сигнала по его уровню (амплитуде) на равные отрезки.

Минимальный отрезок разбиения называется ***шагом квантования.*** После квантования каждое значение дискретной величины привязывается только к ближайшему от себя уровню. Например, сигнал амплитудой 6,7 В (рис. 9.1, в) будет привязан к уровню квантования 7 и примет его значение, а сигнал уровня 6,4 В будет привязан к уровню 6. Чем меньше шаг квантования, тем точнее уровень квантования будет отражать преобразуемый сигнал. Разница между истинным значением и уровнем квантования называется ***ошибкой («шумом») квантования.***

Кодирование — процесс перевода уровней квантования, к которым привязаны истинные значения в цифровой сигнал, в набор О и 1 (рис. 9.1, г).

Существует множество кодов и приемов кодирования, с помощью которых цифры и символы могут быть переведены в цифровую, двоичную форму. Самый простейший код, используемый при оцифровке, — прямой, или пересчет десятичных значений уровней в двоичные числа. Так, уровень 7 в приведенном выше примере будет соответствовать коду 111.

9.2. ПРИНЦИП РАБОТЫ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Преобразование аналогового сигнала в цифровой (дискретизация, квантование и кодирование) происходит в специальном устройстве — аналогово-цифровом преобразователе (АЦП). Многообразие АЦП можно подразделить на группы, объединенные общей технологией, схемотехникой и методом преобразования. Все имеющиеся на сегодня типы АЦП представлены на рис. 9.2.

Основными параметрами АЦП являются быстродействие и точность обработки аналоговых величин.

По быстродействию АЦП подразделяются:

- на АЦП среднего быстродействия;
- скоростные;

Рис. 9.2. Классификация аналого-цифровых преобразователей

- сверхскоростные.

По точности АЦП могут быть:

- низкой точности — 8-разрядные и менее;
- средней точности — 10— 13-разрядные;
- высокой точности — 14-разрядные и более.

Разрядность — это, упрощенно говоря, число нулей и единиц, которым может быть представлено десятичное число уровней. Отсюда: чем больше разрядность, тем точнее работает АЦП.

В цифровой технике в основном используют четыре типа АЦП.

Параллельные АЦП — используют там, где требуется высокая скорость преобразования. Обычно параллельные АЦП имеют разрешение до 8 разрядов, но встречаются также 10-разрядные версии.

АЦП последовательного приближения — применяются тогда, когда необходимо повысить точность преобразования до 12, 14 или 16 разрядов и не требуется высокая скорость преобразования. Этот тип АЦП чаще всего используют в разнообразных измерительных приборах и в системах сбора данных. В настоящий момент АЦП последовательного приближения позволяют измерять напряжение с точностью до 16 разрядов с частотой дискретизации от 100 кГц до 1 МГц.

Сигма-дельта АЦП — могут обеспечивать точность преобразования до 24 разрядов, но при этом уступают в скорости преобразования другим типам АЦП. Этот тип АЦП применяются в системах сбора данных и в измерительном оборудовании.

Интегрирующие АЦП — имеют высокую точность и разрешающую способность при сравнительно простой структуре. Чаще всего они реализуются в ИМС. Основной недостаток — невысокая скорость преобразования.

Со схемотехникой АЦП можно ознакомиться в [23, 24].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные этапы преобразования аналоговых сигналов в цифровые величины.
2. Чем определяется точность преобразования аналогового сигнала в цифровой?
3. Назовите характеристики АЦП и область их применения.
4. Какие из АЦП обладают наибольшей скоростью преобразования?

Глава 10

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ И ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНИКИ

10.1. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Над цифровыми сигналами, полученными после оцифровки, как и над аналоговыми числами, можно проводить различные действия, которые в цифровой технике называются логическими.

Устройства, с помощью которых выполняются логические операции, называются ***логическими элементами.*** Они выполняются в корпусах цифровых микросхем. Логические элементы оперируют двумя понятиями: «истина» (логическая 1 — высокий уровень напряжения) и «ложь» (логический 0 — низкий уровень напряжения) . Наглядно функции преобразования логических величин и их комбинации прописываются в таблицах истинности, принятых в информатике. Основными логическими функциями являются логическое умножение (конъюнкция), логическое сложение (дизъюнкция) и логическое отрицание (инверсия).

Логическое умножение обозначают союзом «И», символом» «л» или знаком умножения «х». Функция умножения принимает значение 1 только при равенстве 1 на всех входах.

При логическом сложении два или более высказывания связываются союзом «ИЛИ», символом «**v**» или знаком «+». Функция сложения принимает значение 1, если на одном из входов находится 1.

При логическом отрицании «НЕ» значение выходной функции противоположно входной величине.

Все названные операции выполняют три схемы: «И», «ИЛИ», «НЕ» и их комбинации.

В вычислительных системах, кроме перечисленных схем, находит применение схема «Исключающие ИЛИ», реализующая функции неравнозначности, при которой выходное выражение принимает значение 1 при неравных входных значениях и 0 — при равных. Эту схему также называют «Суммирование по модулю 2».

В табл. 10.1 приведены краткие характеристики и описание основных логических элементов.

Таблица 10.1. Основные логические элементы, их описание и краткие характеристики

Логический элемент	Схема	Табилца истинности			Описание
Инвертор: схема НЕ	1	A 1 0	$\bar{A}$ 0 1		Инверсия
Вентиль: схема И	&	A	B	A – B	Конъюнкция
		0	0	0	
		0	1	0	
		1	0	0	
		1	1	1	
схема ИЛИ	1	A	B	A + B	Дизъюнкция
		0	0	0	
		1	0	1	
		0	1	1	
		1	1	1	
схема ИЛИ—НЕ	1	A	B	A + B	A + B	На выходе схемы отсутствует 1 во всех случаях, когда 1 имеется хотя бы на одном входе
		0	0	0	1	
		1	0	0	0	
		0	1	0	0	
		1	1	1	0	
схема И—НЕ	&	A	B	A – B	A – B	На выходе схемы отсутствует 1, когда на обоих входах имеется 1, во всех остальных случаях имеется 1
		0	0	1	1	
		1	0	1	1	
		0	1	1	1	
		1	1	0	0	

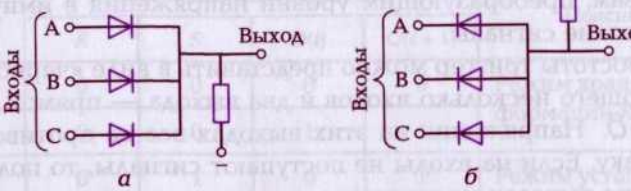


Рис. 10.1. Элемент «ИЛИ» (*а*) и элемент «И» (*б*)

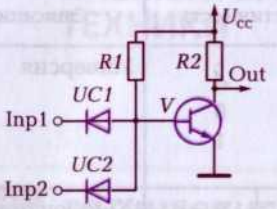


Рис. 10.2. Элемент «И» на диодно-транзисторной логике

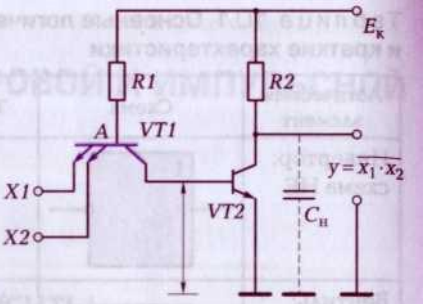


Рис. 10.3. Схема «И—НЕ» на двухэмиттерном транзисторе

Все логические элементы формируются из полупроводниковых элементов и реализуются в трех вариантах: диодная логика, диодно-транзисторная логика, транзисторно-транзисторная логика.

На рис. 10.1 в качестве примера представлены элементы «И» и «ИЛИ» на диодах.

На рис. 10.2 и 10.3 показаны реализация элементов «И» и «И — НЕ» соответственно на диодно-транзисторной и в транзисторно-транзисторной логике.

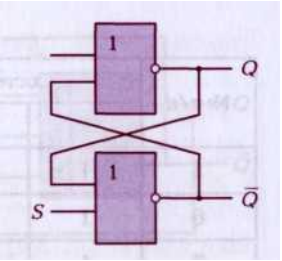
Из логических элементов создаются и другие элементы цифровых схем, в том числе элементы импульсной техники, к которым относятся триггеры.

10.2. ТРИГГЕРЫ

Триггеры имеют два устойчивых состояния — 1 и 0, поэтому идеально подходят для цифровой техники. Они могут быть собраны на транзисторах, на логических элементах и изготовлены в интегральном исполнении в виде микросхем. Триггеры используются как составные части микросхем памяти, микроЭВМ, в элементах автоматики. В то же время триггеры относятся к импульсным устройствам, преобразующим уровни напряжения в импульсные электрические сигналы.

Для простоты триггер можно представить в виде «черного ящика», имеющего несколько входов и два выхода — прямой ***O*** и инверсный ***O.*** Напряжения на этих выходах всегда противоположны по знаку. Если на входы не поступают сигналы, то положение триггера на выходах не меняется и сохраняется вплоть до снятия напряжения питания.

Рис. 10.4. Схема простейшего RS-триггера



Питание триггера обеспечивается постоянным напряжением, которое определяет амплитуду выходных сигналов. Как только триггер «запитывается», на его выходах устанавливаются противоположные по знаку уровни напряжения, и этот процесс случайный. Чтобы управлять им, триггеры имеют три вида входов для внешних сигналов:

- установочные (R и S) — для установки начального состояния триггера;
- информационные (D, J, K и T) — для ввода информации;
- исполнительные (C и V) — для задания момента срабатывания триггера.

С учетом воздействия входных сигналов на информационные выходы различают триггеры ***RS-, D-,*** Г- и JK-типа.

RS-триггер имеет два входа ***(R*** обеспечивает установку 0 — реализуется как «сброс» и ***S*** — установку 1) и два выхода (О — прямой и О — обратный, или инверсный). Триггер считается установленным, если на прямом выходе имеет место логическая 1. Простейший RS-триггер формируется из двух логических элементов ИЛИ — НЕ (рис. 10.4).

Возможные состояния триггера указывают в таблицах переходов (табл. 10.2).

Таблица 10.2. Таблица переходов RS-триггера

№ п/п	Состояния входов триггера				Пояснения
	R	S	0(0	Q(t+1)	
1	0	0	0	0	Режим хранения информации *R* = *S* = 0
2	0	0	1	1	
3	0	1	0	1	Режим установки единицы S = 1
4	0	1	1	1	

Окончание табл. 10.2

№ п/п	Состояния входов триггера				Пояснения
	R	S	0(f)	0 (f + 1)	
5	1	0	0	0	Режим установки нуля *R*= 1
6	1	0	1	0	
7	1	1	0	*	*R* = S = 1 — запрещенная комбинация
8	1	1	1	*	

*** Неопределенное значение.**

Читать табл. 10.2 надо следующим образом. Если на входы ***R*** и ***S*** (строка 1) не поступают импульсы, то состояние выхода до этого события Q(f) = 0 не меняется и остается ***Q(t*** + 1) = 0 и т.д.

Примечание. *RS*-триггер имеет существенный недостаток: при наличии одновременно сигналов высокого уровня на его входах (строки 7 и 8 в табл. 10.2) возникает состояние неопределенности, при этом триггер может выйти из строя.

D-триггер (рис. 10.5) имеет один информационный вход ***D.*** Состояние информационного входа передается на выход под действием синхроимпульса (вход С).

Логика переходов D-триггера приведена в табл. 10.3.

T-триггер имеет один счетный информационный вход и переключается каждый раз, когда на вход ***T*** поступает импульс. С его помощью можно просто осуществить подсчет импульсов, поступающих на вход.

Логика переходов Г-триггера приведена в табл. 10.4.

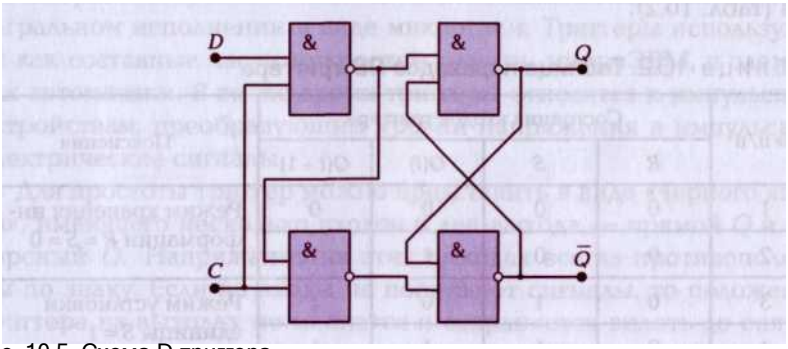


Рис. 10.5. Схема D-триггера

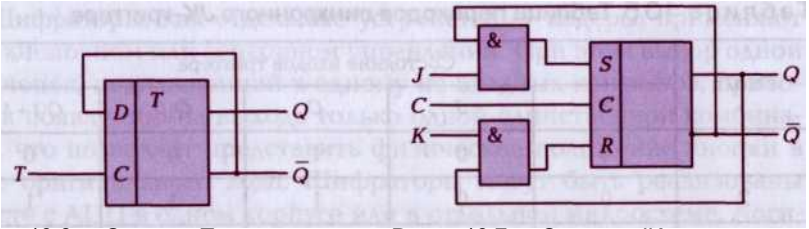


Рис. 10.6. Схема Т-триггера на основе D-триггера

Рис. 10.7. Схема JK-триггера на основе синхронного RS-триггера

Таблица 10.3. Таблица переходов D-триггера

№ п/п	Состояние входов триггера				Пояснения
	C	***D***	0(()	Q(f+1)	
1	0	*	0	0	Режим хранения информации
2	0	*	1	1	
3	1	0	*	0	Режим записи информации
4	1	1	*	1	

* Любое состояние этого вывода.

Триггеры различных типов могут формироваться из других триггеров, что очень удобно при составлении различных схем с их участием. Принципиальная схема Г-триггера в такой компоновке показана на рис. 10.6.

Универсальный триггер JK (рис. 10.7) имеет информационные входы ***J*** и ***K,*** которые по своему влиянию аналогичны входам ***S*** и ***R*** ^S-триггера, но в отличие от него одновременное присутствие логических 1 на информационных входах не является для Ж-триггера запрещенной комбинацией, а переводит триггер в противоположное состояние (табл. 10.5).

Таблица 10.4. Таблица переходов триггера Т

№п/п	Состояние входов триггера		
	T	O(t)	0(«+1)
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

Таблица 10.5.Таблица переходов синхронного JK-триггера

№ п/п	Состояние входов триггера				
	K	***J***	с	0(f)	Q(f+1)
1	0	0	1	0	0
2	0	0	1	1	1
3	0	1	1	0	1
4	0	1	1	1	1
5	1	0	1	0	0
6	1	0	1	1	0
7	1	1	1	0	1
8	1	1	1	1	0

10.3. ШИФРАТОРЫ И ДЕШИФРАТОРЫ

Шифратор — цифровое устройство, которое принимает входную цифровую информацию и зашифровывает ее в двоичный код, точнее, номер входа, куда поступает сигнал (логическая 1) на выходе, представляется его двоичным кодом.

Структурная схема шифратора (кодера) показана на рис. 10.8, *а*. Контакты ***E₀*** и ***G*** — относятся к питанию, Я, — сигнал разрешения (логическая 1) выполнения операции шифрования. При его отсутствии шифратор не работает. Данный шифратор имеет восемь входов и три выхода, на которых формируется 3-разрядный двоичный код.

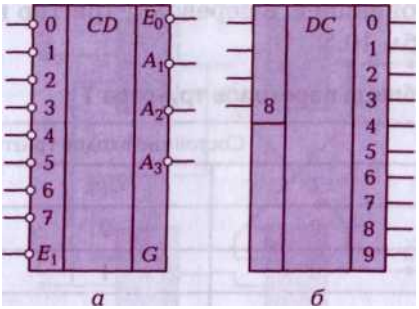


Рис. 10.8. Условное графическое обозначение (УГО) шифратора (а) и дешифратора (б)

Шифраторы, как отдельные устройства — кодеры, применяют при кнопочном или сенсорном управлении. При этом выбор одной из кнопок, подключенной к одному из входных контактов, приводит к появлению на выходе только одной-единственной комбинации, что позволяет представить физическое положение кнопки в виде оригинального кода. Шифраторы могут быть реализованы вместе с АЦП в одном корпусе или в отдельной микросхеме. Логическая функция шифратора обозначается символами — ***CD*** (кодирующее устройство).

Дешифраторы, или декодеры (рис. 10.8, ***б),*** выполняют действия, обратные шифраторам. В общем виде они преобразуют код на входе, например, 4-разрядный в 10-разрядный код на выходе. Дешифраторы используют, в частности, для выбора активного выхода в зависимости от кода на входе. С помощью дешифратора можно управлять работой знакового индикатора, формируя на его выходах необходимые управляющие напряжения, которые включают один из элементов индикатора. В системах автоматики дешифраторы применяют для включения и управления каким-либо устройством, подключенным к выходу, по его цифровому коду.

10.3. МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ И ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРЫ

Мультиплексирование — это процесс передачи сигнала с помощью кода информации с одного из входов микросхемы на ее единственный выход.

Демультиплексирование — это процесс, обратный мультиплексированию. При нем выбирается один из выходов для передачи через него сигнала с входа. Сигналы на входе могут быть как цифровые, так и аналоговые.

На рис. 10.9 схематически показаны реализация работы мульти- и демультиплексоров и их условные обозначения.

При использовании мультиплексора данные, которые необходимо передать на выход, поступают на шины 8-разрядного мультиплексора D0 — D7 (рис. 10.9, ***б).*** По адресу (коду), поступающему на входы А0—А2, выбирается один вход, данные с которого поступают на выход. Выходы ***Y***— ***Y*** открываются только при поступлении разрешающего сигнала ***E.*** Работа устройства похожа на код подъезда многоквартирного дома: чтобы попасть в нужную квартиру, надо набрать ее код (номер).

В системах автоматики и телемеханики мультиплексоры обеспечивают подключение датчиков для контроля за каким-либо процессом (рис. 10.10); выбор датчика определяется по его коду (адресу) на входах А0—А2.

В аналоговой технике мультиплексор используют как электронный переключатель. Например, для выполнения восьми переключений между различными устройствами используют трехразрядный двоичный код. Этот код поступает на адресные входы мультиплексора, а выходы переключаемых устройств подключаются к входами мультиплексора (рис. 10.11).

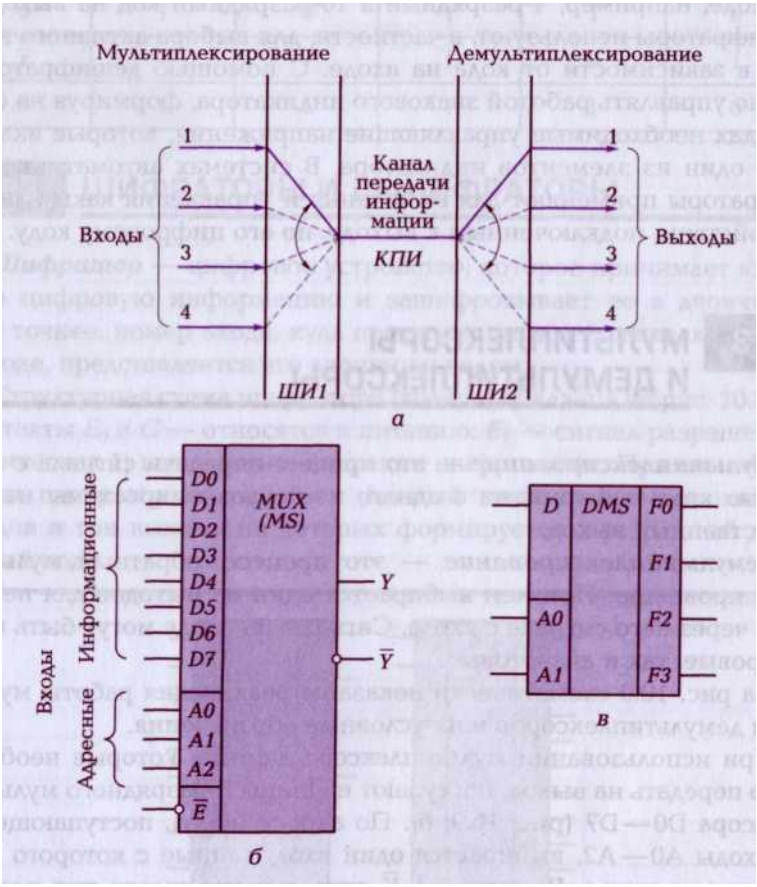


Рис. 10.9. Схематическое представление работы мульти- и демультиплексора (а) и условное графическое обозначение мульти- (б) и демультиплексора (в)

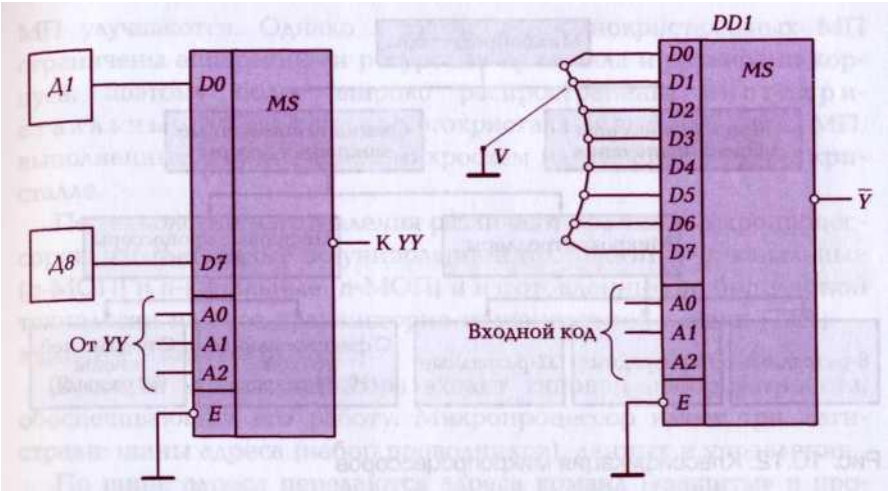


Рис. 10.10. Принцип выбора кон- Рис. 10.11. Компаратор положения тролирующего датчика с помощью переключателя мультиплексора

В телевизионной технике мультиплексоры используют для переключения между системами телевидения ПАЛ, СЕКАМ и НТСЦ.

Демультиплексоры принимают входной сигнал и направляют его на тот выход, номер которого соответствует его двоичному коду на адресных входах. Работа этого устройства похожа на дверь со звонком: если нажать кнопку один раз — откроется комната № 1, если три раза — то комната № 8 и т.д. Остальные выходы в этом случае находятся в неактивном состоянии (комнаты закрыты) . Демультиплексоры в виде отдельных устройств нашли применение в системах обмена информацией с устройствами автомобилей и других сложных объектов.

На рис. 10.9, в показан простейший двухразрядный демультиплексор, имеющий четыре выхода и сигнал разрешения ***D.***

10.4. МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Микропроцессор (МП) — многофункциональное электронное устройство, которое выполняет операции по обработке цифровой информации в соответствии с заданной программой.

Рис. 10.12. Классификация микропроцессоров

По назначению различают микропроцессоры общего назначения (универсальные) и специализированные (рис. 10.12).

Состав команд МП общего назначения позволяет им выполнять обработку цифровой информации в соответствии с любым алгоритмом. Они привлекаются для решения широкого круга разнообразных задач.

Специализированные МП изготовляют для решения каких-то узких задач. Их подразделяют на микроконтроллеры (МК) и цифровые процессоры (процессоры звука, управления стиральной машиной и др.).

Микроконтроллеры (микроЭВМ) наиболее распространены в микропроцессорной технике. Они объединяют на одном кристалле высокопроизводительный процессор, память и набор периферийных устройств, позволяют с минимальными затратами реализовать широкую номенклатуру систем управления различными объектами и процессами.

Основным классификационным признаком микроконтроллеров является разрядность, они бывают 4-, 8-, 16- и 32-разрядными. Разрядность микроконтроллера определяет точность и скорость обработки вычислений. Наиболее широкое применение нашли 8-разрядные микроконтроллеры.

По числу БИС в микропроцессорном комплекте различают микропроцессоры одно- и многокристалльные, секционные.

Однокристалльные МП исполняют в виде одной БИС или СБИС. По мере увеличения степени интеграции элементов в кристалле и числа выводов корпуса параметры однокристалльных

МП улучшаются. Однако возможности однокристалльных МП ограничены аппаратными ресурсами кристалла и размерами корпуса, поэтому более широко распространены многокристалльные МП, а также многокристалльные секционные МП, выполненные в виде набора микросхем или секций в одном кристалле.

По технологии изготовления различают два типа микропроцессоров: изготовленные по униполярной технологии — р-канальные (р-МОП) и п-канальные (n-МОП) и изготовленные по биполярной технологии на базе транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) — комплиментарные (КМОП).

В состав микропроцессора входит типовой набор устройств, обеспечивающих его работу. Микропроцессор имеет три магистрали: шины адреса (набор проводников), данных и управления.

По шине адреса передаются адреса команд («зашиты» в программе) и адреса данных, используемых этими командами.

Шина управления обеспечивает выполнение указаний, например «останов», «перезагрузка» и т.д.

Данные (закодированные числовые значения, над которыми производятся действия) могут поступать как из памяти, так и от внутренних схем процессора или извне.

Команды, которые находятся в программе, расшифровываются дешифратором команд и вместе с данными поступают в арифметическое логическое устройство (АДУ). Основной его операцией является арифметическое сложение цифровых величин, а производными — другие арифметические и логические действия. Инструкции — что и как выполнять, находятся в командах. Для предварительного хранения данных и команд, ждущих обработки, и результатов выполнения операций используются регистры. Регистры — это ячейки временной памяти, собранные из триггеров (RS или D). Кроме того, в процессоре также формируются ячейки памяти постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) для хранения программ или часто используемых данных и ОЗУ — для временного хранения данных, поступающих извне.

Для взаимодействия с внешними устройствами используются порты ввода-вывода (контакты микросхемы, в которой реализован процессор). Через порты с помощью интерфейсов, состоящих из проводящих дорожек, по которым с помощью «протоколов» устанавливаются правила движения данных, цифровые данные пересылаются от процессора к внешнему устройству. Для обработки сигналов внешних датчиков (температуры, частоты вращения вала и др.) в микроконтроллеры включают АЦП. Если АЦП выполнены

в отдельной микросхеме, то их выходы подключают к портам ввода-вывода.

Управление всем этим процессом обеспечивается программой, написанной программистом и «зашитой» в памяти — внутренней или внешней.

10.5. ТИПЫ И ВИДЫ ПАМЯТИ

Память — это программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий хранение данных, адресов, вспомогательных индексов и констант, необходимых для реализации функций управления микропроцессорными устройствами. В целях повышения эффективности выполнения функций вся память микропроцессоров представлена в двух видах — память команд и память данных. Память команд — это постоянная память, предназначенная для хранения программного кода команд и констант. Эта память не изменяет своего содержимого в процессе выполнения программы. Память данных хранит переменные величины — операнды, над которыми выполняются арифметические и логические действия и адреса ячеек памяти.

Память реализуется как в составе микропроцессора — внутренняя память, так и в отдельных микросхемах — вне шняя память.

На рис. 10.13 показана общая классификация запоминающих устройств.

Память ПЗУ — энергонезависима, содержимое памяти сохраняется после выключения питания. Относится она к памяти команд, в ней «лежит» программа и все необходимое для ее старта. Содержимое памяти ПЗУ не может меняться (перепрограммироваться) во время выполнения программы.

Масочные ПЗУ-ROM (рис. 10.14) характеризуются тем, что информация записывается в них однократно в процессе изготовления путем создания и удаления перемычек в местах пересечения строк и столбцов в матрице накопителя. Там, где в ячейках диодов нет, устанавливается 1 бит информации, там, где диоды есть, устанавливается 0.

Для ***однократно программируемых ПЗУ-PROM*** запись информации в ячейку (рис. 10.14, б) выполняется на специальном устройстве программаторе электрическим способом в соответствии с программой, загруженной в программатор. При этом элек-

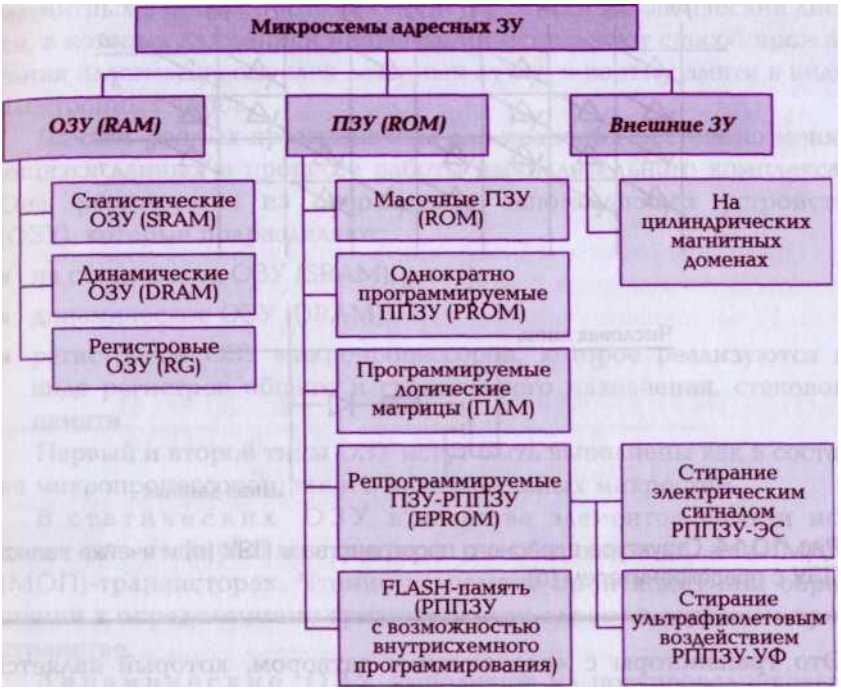


Рис. 10.13. Классификация запоминающих устройств

трическим током «пережигается» перемычка-предохранитель и транзистор отключается от шины данных. Таким образом, в ячейку записывается логическая 1. Память PROM может быть запрограммирована только один раз.

Микросхемы, выполненные в корпусе с металлическим окном, могут быть перепрограммированы стиранием информации с помощью ультрафиолетового излучения, при этом перемычки восстанавливаются за счет фотосинтеза. Для этого металлический экран снимается и проводится засветка. Электрически программируемая PROM не может быть перепрограммирована, т.е. восстановление перемычек не возможно.

Программные логические матрицы ПЛМ представляют собой вариант ПЗУ, в которых записаны не программы и данные, а логические функции.

Перепрограммируемые ПЗУ (ППЗУ или ***EPROM)*** изготовляют из транзисторов, которые изменяют состояние проводимости под воздействием электрического импульса или ультрафиолетового излучения и сохраняют это состояние длительное время.

Рис. 10.14. Структура адресного пространства в ПЗУ (а) и ячейка записи ПЗУ с предохранителем (б)

Это транзисторы с «плавающим» затвором, который является хранилищем (карманом) заряда, т. е. логической 1. Так как затвор изолирован, то в обычных условиях заряд может храниться бесконечно долго.

Программирование ППЗУ выполняется в программаторах, которые сопрягаются с ЭВМ, что позволяет автоматизировать процесс записи программы в микросхемы памяти. В связи с постоянным ростом объема памяти, требуемой для различных приложений, память ППЗУ вытесняется флеш-памятью. Отличительная ее особенность — возможность записи информации в процессе работы вычислительной системы, в которой они установлены, и сохранение информации при отключении питания. Конструктивно основное отличие флеш-памяти от EPROM состоит в способе стирания записанной информации и записи. В памяти EPROM стирание и запись производятся отдельно для каждой ячейки (каждого бита), а во флеш-памяти этот процесс осуществляется целыми блоками (матрицами ячеек размером 8x8 бит).

В запоминающих внешних устройствах на *цилиндрических магнитных доменах* (ЦМД) и конструкция, и способ записи в современном виде существенно отличаются от предшественников — магнитных барабанов и лент [28]: в них используется эффект локального перемагничивания микронных областей в тонких

магнитных пленках. К этому семейству относятся оптические диски, в которых для записи информации используют способ прожигания пластмассового слоя лазерным лучом и карты памяти в виде электронных чипов.

Память данных предназначена для хранения постоянно меняющихся данных в процессе работы вычислительного комплекса. Она формируется из оперативных запоминающих устройств (ОЗУ), которые подразделяют:

- на статическое ОЗУ (SRAM);
- динамическое ОЗУ (DRAM);
- регистровое ОЗУ микропроцессоров, которое реализуются в виде регистров общего и специального назначения, стековой памяти.

Первый и второй типы ОЗУ могут быть выполнены как в составе микропроцессоров, так и в виде отдельных микросхем.

В статических ОЗУ в качестве элементов памяти используют статические триггеры на биполярных или МДП (МОП)-транзисторах. Чтение из памяти происходит при обращении к определенному триггеру по его адресу в адресном пространстве.

Динамические ОЗУ выполняют из полупроводниковых пленочных конденсаторов, которые заряжаются до логической единицы, при включении управляющего транзистора. Выбор транзистора происходит по адресу ячейки. Эта память имеет большую емкость, приходящуюся на одну БИС, по сравнению с ОЗУ статического типа, но быстродействие ее ниже.

Регистровая ОЗУ характеризуется наивысшим быстродействием. Конструктивно выполняется внутри БИС микропроцессоров или контроллеров из триггеров D- или RS-типа. Регистровые ОЗУ иногда называют сверхоперативными ЗУ, или внутренней памятью процессора.

10.6. ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА

Все цифровые устройства являются составной частью большого семейства — импульсной техники. К ней также относятся импульсные аналоговые устройства, предназначенные для формирования импульсов синхронизации, тактов, широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и др. Импульсные аналоговые устройства подразделяются:

- на генераторы импульсных сигналов, реализованные в виде мультивибраторов, блокинг-генераторов и других устройств;
- ключевые устройства на биполярных и полевых транзисторах, задача которых пропускать импульсы амплитуды, превышающей некоторый порог;
- преобразователи управляющих импульсных напряжений в импульсно-кодовую и широтно-импульсную модуляцию.

Принципы работы, область применения и конструкция наиболее распространенных импульсных устройств будут рассмотрены в гл. 18 настоящего учебника и в источнике [10].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие элементы называют логическими?
2. Что такое таблица истинности? Какие параметры цифровых устройств она определяет?
3. В каких областях электронной техники используются триггеры?
4. Назовите основные типы триггеров и области их применения.
5. Укажите назначение, принцип действия и схемы реализации шифраторов и дешифраторов.
6. Какими свойствами характеризуются мульти- и демультиплексоры? В каких областях они применяются?
7. Приведите состав типичного микропроцессора, взаимодействие и назначение его отдельных узлов.
8. Какие типы памяти используются в цифровой и вычислительной технике?

Раздел IV

ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Глава 11
СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И ПРИБОРОВ

11.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Электромонтажные работы — это вид профессиональной деятельности, при которой выполняется монтаж внутрисхемных и внутримодульных электрических соединений механических, автоматических, периферийных устройств и устройств коммутации, входящих в состав устройства и объединенных одной электрической цепью.

К электромонтажным работам относят:

- подбор соединительных проводов, кабелей и шнуров с учетом различных условий эксплуатации радиоэлектронного устройства;
- вязку проводов в жгуты;
- подбор и монтаж элементов для электрического соединения плат, модулей и отдельных деталей между собой;
- безопасную и технологичную прокладку проводов по элементам и платам устройства;
- соединение проводов и радиоэлементов между собой и с деталями конструкции в целях создания электрической цепи прибора с использованием разъемных и неразъемных методов.

Выполнение электромонтажных работ производится на основе монтажных (топологических) схем, чертежей внутрисхемных и межмодульных соединений, входящих в состав конструкторской

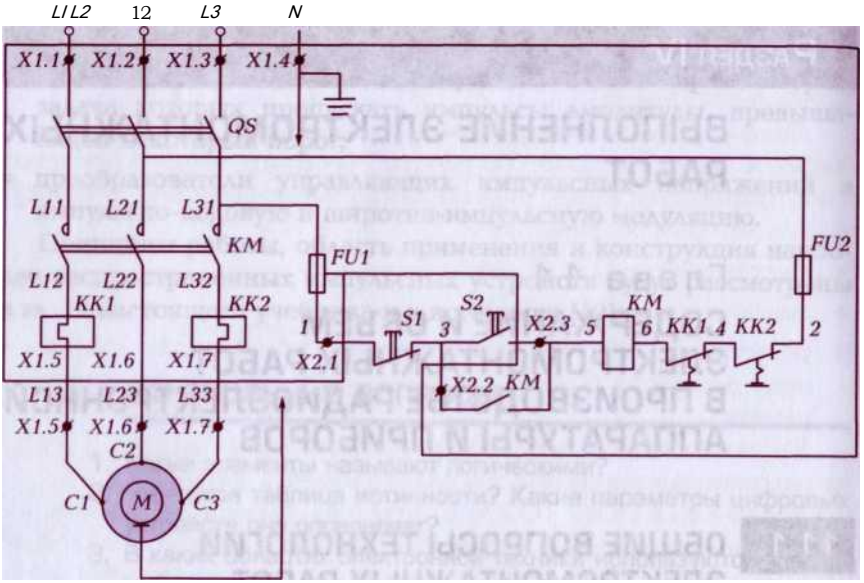


Рис. 11.1. Фрагмент электромонтажной схемы питания электродвигателя

документации. Соединительные провода и изделия (разъемы, контакторы, лепестки, штыри), их тип, вид, параметры и характеристики определяются спецификацией, прилагаемой к каждому сборочно-монтажному чертежу.

При выполнении электромонтажных работ необходимо учитывать множество факторов и объединять в единую цепь большое количество исполнительных механизмов различного назначения и типа: механических, цифровых, аналоговых и электромеханических. Качественные монтаж и сборка требуют неукоснительного руководства кинематической схемой соединяемых элементов и устройств. ***Кинематическая схема*** — это особый вид технической документации, в которой отражаются не только цепи электрических соединений, но и графически представлены результаты действия исполнительных устройств (двигателей, реле, переключателей и др.). Пример выполнения электрической схемы соединений показан на рис. 11.1. На схеме демонстрируется система управления двигателем с защитой от перегрева: двигатель ***M*** трехфазного питания подключается к трехфазной цепи через выключатель I, реле ***KM*** и кнопки ***S1*** и ***S2*** обеспечивают включение и отключение двигателя.

Основная задача при выполнении электромонтажных работ — правильный выбор материала и способа создания электрических соединений.

11.2. ВИДЫ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Итак, в результате электромонтажных работ создается электрический контакт между отдельными элементами. На практике реализуется несколько методов выполнения электромонтажных соединений (рис. 11.2).

Представим обобщенную характеристику основных методов.

Пайка — процесс соединения металлов в твердом состоянии путем введения в зазор между ними расплавленного припоя, взаимодействующего с основным металлом и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва.

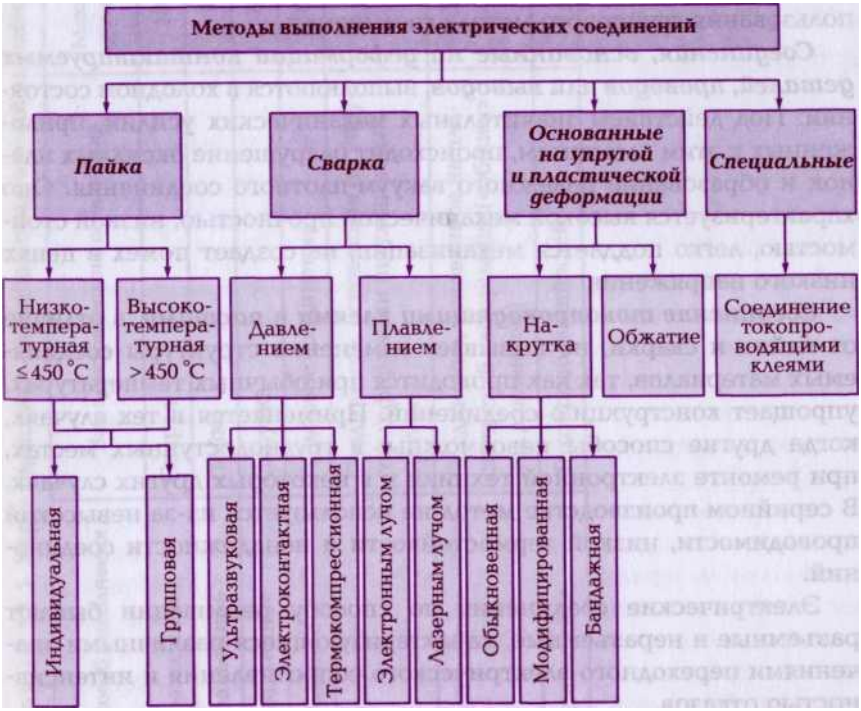


Рис. 11.2. Методы выполнения электрических соединений

Паяные электрические соединения очень широко применяют при монтаже электронной аппаратуры из-за низкого и стабильного электрического сопротивления, универсальности, простоты автоматизации работ, контроля и ремонта. Однако этому методу характерны и существенные недостатки: высокая стоимость используемых цветных металлов и флюсов, длительное воздействие высоких температур, коррозионная активность остатков флюсов, выделение вредных веществ.

Сварка — процесс получения неразъемного соединения материалов под действием активирующей энергии теплового поля, деформации при воздействии ультразвуковых колебаний или их сочетаний.

По сравнению с пайкой она характеризуется следующими преимуществами: более высокой механической прочностью получаемых соединений, отсутствием присадочного материала, дозированной тепловой нагрузкой электронных элементов. К недостаткам метода следует отнести: критичность при выборе сочетаний материалов, увеличение переходного сопротивления из-за образования полуметаллических слоев, невозможность использования группового метода соединений.

Соединения, основанные на деформации контактируемых деталей, проводов или выводов, выполняются в холодном состоянии. Под действием значительных механических усилий, приложенных к этим элементам, происходит разрушение оксидных пленок и образование надежного вакуум-плотного соединения. Оно характеризуется высокой механической прочностью, низкой стоимостью, легко поддается механизации, не создает помех в цепях низкого напряжения.

Соединение токопроводящими клеями и ***пастами,*** в отличие от пайки и сварки, не вызывает изменения структуры соединяемых материалов, так как проводится при обычных температурах, упрощает конструкцию соединений. Применяется в тех случаях, когда другие способы невозможны: в труднодоступных местах, при ремонте электронной техники и в некоторых других случаях. В серийном производстве метод не используется из-за невысокой проводимости, низкой термостойкости и ненадежности соединений.

Электрические соединения по способу реализации бывают разъемные и неразъемные, характеризующиеся различными значениями переходного электрического сопротивления и интенсивностью отказов.

Характеристики соединений приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1. **Характеристики способов соединений элементов электронных устройств**

Способ выполнения	Вид электрического соединения	Механическая прочность, МПа	Переходное сопротивление, мкОм	Интенсивность отказов (число отказов за срок эксплуатации)
Неразъемное	Сварка	100—500	0,01—1	0,1—30
Неразъемное	Пайка	10—40	2—5	1—10
Неразъемное	Скрутка	60—80	1—2	0,2—0,5
Разъемное	Резьбовое соединение	100—500	5—20	100—500
Разъемное	Соединение, основанное на упругой деформации (пружинистый контакт)	1—10	5—40	100—1 000
Неразъемное	Соединение, основанное на пластической деформации («обжим» под давлением)	20—50	1—10	2—5
Неразъемное	Токопроводящий клей	5—10	1 000—10 000	20—50

К качественным относят соединения, которые имеют низкое переходное сопротивление, маленькую интенсивность отказов, высокую механическую прочность [10]. Выбор метода получения электрических соединений определяется конструкцией контактного узла, материалом контактируемых деталей, требованиями к качеству, а также условиями экономичности и производительности.

11.3. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Требования, предъявляемые к технологичности, ремонтопригодности, модульности построения современных электронных средств, успешно реализуются использованием разъемных электрических соединений. Качество подобных соединений характеризуется следующими параметрами:

- малым переходным сопротивлением контакта;
- небольшой индуктивностью контактов;
- незначительной межконтактной емкостью;
- большим значением коммутируемых токов и напряжений;
- большим значением механических усилий сочленения или расчленения соединений;
- большим допустимым числом сочленений и расчленений;
- широким температурным диапазоном эксплуатации;
- высокой предельно допустимой температурой перегрева при монтаже.

Разъемные электрические соединения часто выполняют на основе ***резьбовых соединений,*** в которых петля из оголенного провода или специальный контакт на конце провода винтом прижимается к токопроводящей поверхности (рис. 11.3). Использование стального винта обеспечивает необходимое большое усилие затяжки соединения, позволяющее сформировать большую площадь контакта.

Для уменьшения переходного сопротивления в контакте на поверхность наносят пленку из золота, никеля, родия или сплавов на основе олова, препятствующую образованию коррозийных пленок. Это соединение используется в цепях с большими токами, а также для обеспечения теплового контакта. Для резьбового соединения проводов с печатными платами выпускают соединители, например бугельной конструкции, в которой винт прижимает пластину к проводу в клетке из пружинной стали. При скреплении

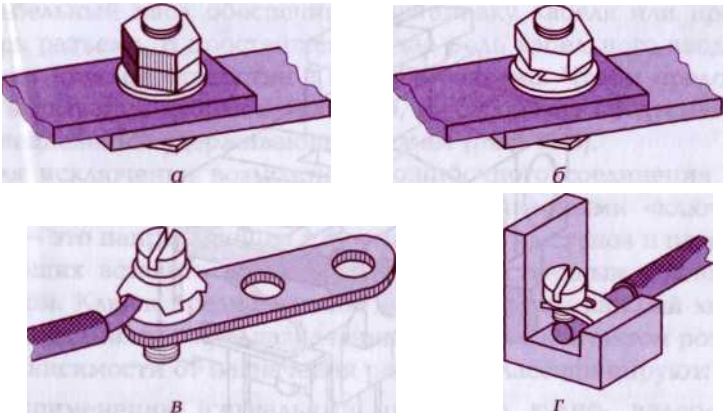


Рис. 11.3. Болтовое соединение токопроводящих элементов:
а – внахлест; б – внахлест с пружинистой шайбой; в – соединение провода с контакт-деталью; г – закрепление провода на плоской поверхности

элементов верхний лепесток клетки немного отгибается вбок и зажимает резьбу на винте, обеспечивая вибростойкость соединения (рис. 11.4). Приемная часть бугеля устанавливается на плате.

При электромонтаже широко используют разъемные электрические соединения, основанные на упругой деформации: разъемы, контактные устройства, клеммы.

В ***клеммном пружинном соединении*** установлена контактная пружина из нержавеющей пружинной стали. Она прижимает одножильный или многожильный провод к медной шине, покрытой

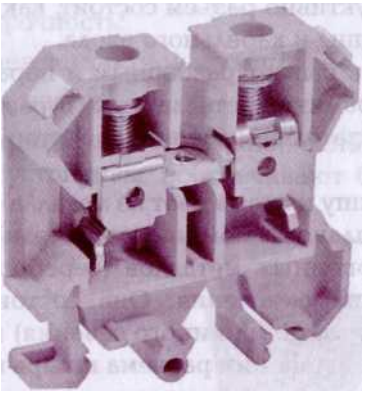


Рис. 11.4. Бугельное соединение

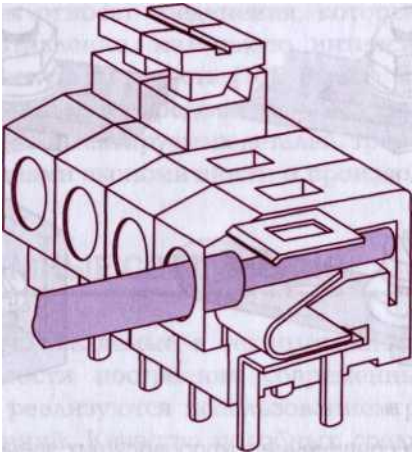


Рис. 11.5. Клеммное пружинное соединение

сплавом на основе олова, с усилием пропорциональным диаметру провода (рис. 11.5).

В конструкции клемного соединения разделены функции между механическим прижимом и электрическим контактом. Механическое давление в контакте, необходимое для малого переходного электрического сопротивления, обеспечивается стальной пружиной. Электрический контакт осуществляется между проводом и луженой медной шиной. Для создания надежного соединения пружину покрывают цинком и хромом.

Разъемы состоят из гнезд и вилок. Обычно вилку располагают на кабеле, а гнездо — на корпусе, шасси прибора или другой поверхности. Конструктивно разъем состоит, как правило, из корпуса, контактной группы и кабельного ввода.

Корпус разъемов бывает разборным и неразборным из пластмассы, резины, керамики, металла и др. В разъемах с металлическим корпусом обязательно имеется изолятор из пластмассы или керамики.

Контактную группу изготовляют из металла с хорошей электропроводимостью (сплавов алюминия или меди) и часто покрывают слоем из драгоценных металлов (серебро, золото, платина) для предотвращения окисления. Она состоит из контактного штыря (стержня круглого или иного сечения) и упругих контактных пластин. При сочленении разъема штырь касается пластины, которая, изгибаясь, обеспечивает постоянный электрический контакт.

Кабельный ввод обеспечивает установку кабеля или провода внутрь разъема. В простейшем случае роль кабельного ввода выполняет круглое отверстие в корпусе разъема. Чтобы предотвратить вырывание кабеля из разъема, в устройстве предусматривают специальный удерживающий зажим (рис. 11.6).

Для исключения возможности ошибочного соединения большинство разъемов выполняют с так называемыми «ключами». Ключ — это направляющие в форме разных выступов и пазов, позволяющих вставить вилку в розетку единственным возможным способом. Ключи предназначены для того, чтобы каждый контакт вилки соединился с предназначенным для него контактом розетки. В зависимости от назначения разъемы классифицируют:

- по применению (сигнальные, питающие, аудио-, видео-, компьютерные и др.);
- напряжению (низковольтные и высоковольтные);
- силе тока (слаботочные и сильноточные);
- диапазону частот проходящего через них тока (постоянный, низкочастотный и высокочастотный);
- методу монтажа (на панель, провод, шасси);
- способу подключения провода к контакту (винтовая клемма, обжим, пайка).

К параметрам разъемов относят:

- число контактов;
- допустимые токи и напряжения;
- контактное давление;
- контактное сопротивление;
- электрическую прочность;
- сопротивление межконтактной изоляции;
- диапазон рабочих частот.

Разъемные электрические соединения, основанные на упругой деформации, виброустойчивы, обеспечивают быстрое и прочное сочленение.

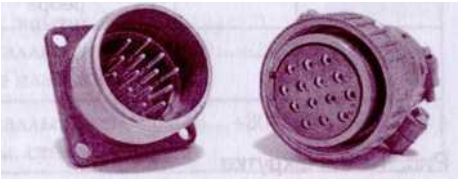


Рис. 11.6. Общий вид разъема

НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Неразъемные электрические соединения выполняют способами пластической деформации, сваркой, токопроводящим клеем и пайкой.

На пластической деформации основано соединение ***накруткой,*** при которой оголенный одножильный провод накручивается с натягом на металлический штырь с острыми углами специальным инструментом. Натяжение провода приводит к его пластической деформации на углах штыря (рис. 11.7). Метод позволяет формировать соединения с высокой надежностью.

Специфическим методом создания неразъемных соединений является использование ***токопроводящих клеев.*** Их применяют для крепления кристаллов полупроводников к подложкам, ремонта печатных плат, создания соединений в труднодоступных местах. Электропроводящие клеи представляют собой жидкую смесь из клеевой основы и электропроводящего наполнителя — мелкодисперсионного серебра, золота, палладия, меди, никеля или графита. После отверждения нанесенный слой обеспечивает хорошую проводимость и адгезию к поверхности. Марку клея (табл. 11.2) выбирают, руководствуясь стандартом ОСТ 4Г0.029.004. Склеивание нетокопроводящими клеями широко применяется в технологии для изготовления фольгированного материала и закрепления компонентов на поверхности плат.

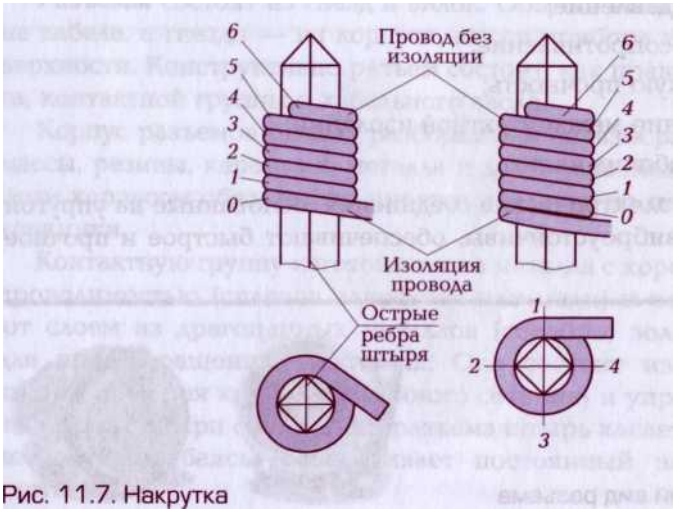


Рис. 11.7. Накрутка

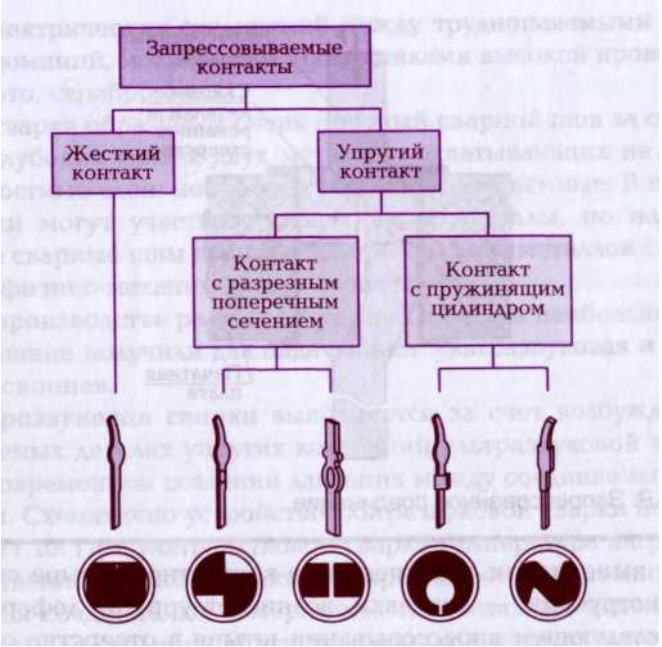


Рис. 11.8. Виды пуклевок

Недостатками клеевых соединений являются их низкие прочность и термостойкость.

К неразъемным соединениям также относится ***метод впрессовывания контактных штырей*** в металлизированные покрытия плат и оснований, при этом электрическое соединение образуется за счет холодной деформации фрагментов соединяемых элементов.

Таблица 11.2. Марки клеев для соединения элементов электронных устройств и их характеристики

Марка клея	Основа клея	Склеиваемые материалы	Рабочая температура	Предел прочности МПа
БФ2 и БФ4	Фенолформальдегидная смола	Металлы, керамика, ферриты	-60...+60	8 — 30
БК-9	Эпоксидная смола	Металлы, слоистые пластики	-60...+25	15—23
ПУ-2	Полиуретан	Металлы, ферриты, стекла	-6...+80	3—22

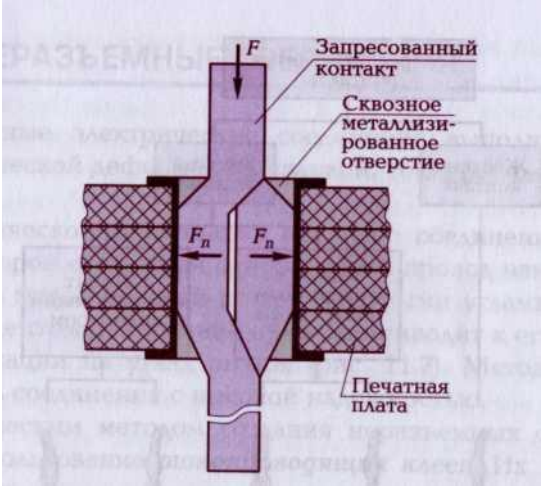


Рис. 11.9. Запрессованное соединение

При выполнении соединения на контактном штыре специальной конструкции — пуклевки, возникает упругая деформация и при последующем впрессовывании штыря в отверстие создается прочный контакт. Соединения этого типа обладают следующими достоинствами:

- высокой механической прочностью на растяжение;
- высокой устойчивостью к вибрационным нагрузкам;
- отсутствием необходимости в нагреве для образования соединения;
- коррозионной стойкостью за счет герметичности контакта;
- высокой надежностью.

Формы пуклевок разнообразны (рис. 11.8).

Запрессовываемая часть контакта выполняет основную роль в образовании соединения: ее главная задача — создание давления на боковые стенки сквозного металлизированного отверстия, устойчиво удерживающего штырь в отверстии в напряженном состоянии (рис. 11.9).

11.5. ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СВАРКОЙ

Сварка используется как неразъемное соединение металлических (алюминиевых) экранов и элементов монтажа для прочного соединения деталей металлического корпуса, а также при выпол-

нении электрических соединений между труднопаяемыми металлами (алюминий, молибден) и проводниками высокой проводимости (золото, серебро, медь).

При сварке образуется очень прочный сварной шов за счет создания глубоких связей двух металлов, охватывающих не только поверхностные слои, но и более глубокие — объемные. В процессе сварки могут участвовать различные металлы, но наиболее прочные сварные швы получаются при подборе металлов с одинаковыми физико-механическими свойствами.

При производстве радиоэлектронной техники наибольшее распространение получили два вида сварки: ультразвуковая и термокомпрессионная.

Ультразвуковая сварка выполняется за счет возбуждения в свариваемых деталях упругих колебаний ультразвуковой частоты при одновременном создании давления между соединяемыми элементами. Схематично устройство ультразвуковой сварки показано на рис. 11.10. При ультразвуковой сварке температура нагрева непосредственно в зоне контакта не превышает 50% температуры плавления соединяемых материалов, что позволяет использовать этот метод для соединения чувствительных к нагреву материалов. Прочность сварного соединения определяется амплитудой колебаний на рабочем торце инструмента и давлением, приложенным к соединяемым деталям, которое должно быть оптимальным. Заниженное давление замедляет пластическую деформацию в контактной зоне соединения и снижает плотность дислокаций, необходимых для активирования поверхности. Завышенное давление уве-

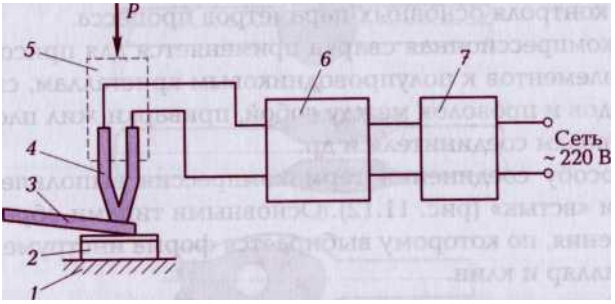


Рис. 11.10. Устройство ультразвуковой сварки:
7 - рабочий столик; *2* — подложка или полупроводниковый кристалл; *3* – проводник; 4 – V-образный инструмент [пуансон); 5 – сварочная головка для создания давления; 6 – источник питания; 7 – реле времени

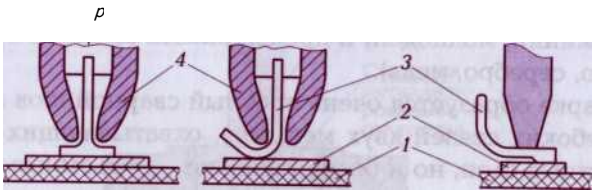


Рис. 11.11. Устройство стержня ультразвуковой установки:

1 – подложка; *3* – свариваемая деталь [основание]; *3* – привариваемый проводник 4 – стержень

личивает трение и снижает амплитуду колебаний рабочего торца инструмента. Поэтому и тот, и другой режимы неприемлемы при ультразвуковой сварке. Оптимальное значение давления должно быть в пределах от 0,5 до 20 Н/мм^2 в зависимости от типа материалов и геометрических размеров контакта.

Повышение частоты колебаний инструмента в некоторых случаях ускоряет процесс соединения. Основным элементом установок ультразвуковой сварки является стержень с конической частью, размеры торца которого выбираются в зависимости от диаметра привариваемого проводника (рис. 11.11). В качестве материала стержня для ультразвуковой сварки используют твердые сплавы на основе карбида вольфрама. Инструмент из этого сплава выдерживает до 50 тыс. циклов сварки.

Термокомпрессионная сварка проводится при невысоких давлениях с подогревом соединяемых деталей. К ее достоинствам следует отнести стабильность сварочного инструмента и его высокую стойкость, малую чувствительность к изменению режима, простоту контроля основных параметров процесса.

Термокомпрессионная сварка применяется для присоединения выводов элементов к полупроводниковым кристаллам, сварки микропроводов и проволок между собой, приварки жил плоского кабеля к выводам соединителя и др.

По способу соединения термокомпрессия выполняется «внахлестку» и «встык» (рис. 11.12). Основными типами образующегося соединения, по которому выбирается форма инструмента, являются капилляр и клин.

К параметрам режима термокомпрессии относят:

- усилие сжатия;
- температуру нагрева инструмента или соединения;
- длительность выдержки под давлением.

Выбор давления определяется допустимой деформацией присоединяемого проводника или максимально допустимым давлением на присоединяемую деталь. Так, допустимая деформация для проволоки из золота составляет 50 – 70% ее первоначальных размеров, а для проволоки из алюминия — 60 – 80 %. Температура нагрева в месте сварки не должна превышать температуру образования жидкой фазы соединяемых материалов. Для золота она составляет 1 063 “С, серебра — 961 °С, для соединений алюминия — 660 °С, меди — 1 083 °С. Можно сделать вывод, что для медных соединений термокомпрессионная сварка не эффективна. Длительность выдержки устанавливают в зависимости от сочетания свариваемых материалов и определяют ее экспериментально _ путем оценки прочности соединений. При термокомпрессионной сварке материал инструмента изготавливают из твердых сплавов (карбидов вольфрама и титана) и керамики (оксида бериллия, алюмокерамики).

Сварку под давлением с косвенным нагревом в отличие от термокомпрессии проводят инструментом, который нагревается проходящим по нему импульсным током. Вследствие кратковременности процесса нагрева металлический проводник в месте контакта нагревается до более высоких температур, чем при термокомпрессии. Это позволяет приваривать проводники из относительно малопластичных металлов к тонким пленкам на керамических подложках. Этот способ сварки используют при изготовлении креплений радиаторов из стали, алюминия и меди.

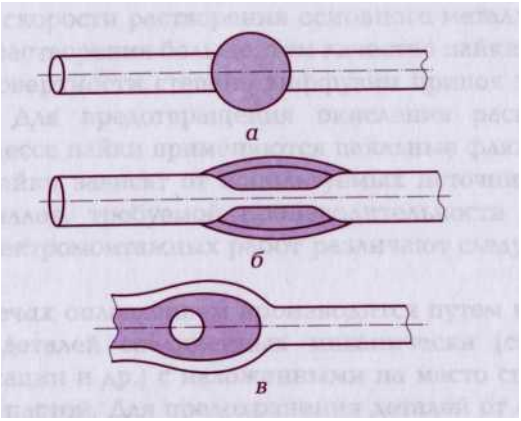


Рис. 11.12. Типы соединений:
а – встык; б – внахлест – капилляр; в – внахлест – клин

Как показывает практика, большинство способов сварки обеспечивает индивидуальное выполнение каждого соединения, что уменьшает их производительность и затрудняет процесс автоматизации этого процесса в радиоэлектронной промышленности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите состав электромонтажных работ и охарактеризуйте их.
2. Какие способы электрических соединений электронных элементов между собой в единую электрическую цепь вы знаете?
3. Назовите виды неразъемных соединений и области их применения.
4. В каком случае применяются разъемные соединения?
5. Какой из способов соединений имеет наибольшую прочность и надежность?

Глава 12
ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ

12.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СПОСОБЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Одним из главных технологических процессов при выполнении электромонтажных работ является пайка.

Пайка металлов — это процесс соединения материалов в твердом состоянии припоями, которые при температуре пайки находятся в расплавленном состоянии. Припоем смачивают паяемые поверхности, заполняют зазор между ними, и в результате кристаллизации образуется паяный шов. Образование паяного соединения происходит в результате возникновения химических связей в контакте: основной металл — припой. Качество пайки и прочность швов зависят от вида металлов, участвующих в процессе пайки, их химической и физической совместимости.

Припой в процессе паяния в результате смачивания образует с поверхностью спаиваемой детали зону промежуточного сплава, который в процессе охлаждения создает особое интерметаллическое соединение, обладающее температурной пластичностью, низким переходным сопротивлением и прочностью. Качество пайки зависит от скорости растворения основного металла в припое: чем скорость растворения больше, тем качество пайки лучше. При окисленной поверхности степень диффузии припоя значительно уменьшается. Для предотвращения окисления расплавленного припоя в процессе пайки применяются паяльные флюсы.

Способы пайки зависят от используемых источников нагрева паяемых металлов, требуемой производительности и качества. В практике электромонтажных работ различают следующие виды пайки.

Пайка в печах оплавлением производится путем нагрева подготовленных деталей соединенных механически (склеиванием, замками фиксации и др.) с наложенными на место спая припоем или паяльной пастой. Для предохранения деталей от окисления и отрицательного флюсующего воздействия в печах создают специальную газовую атмосферу.

Индукционная пайка состоит в том, что подготовленные детали с припоем в месте пайки вводят в магнитное поле индуктора, питаемого током высокой, повышенной или промышленной частоты. Необходимая энергия выделяется за счет индуктируемого тока. Этот вид пайки применяют там, где существуют ограничения на нагрев корпуса приборов.

Пайку сопротивлением осуществляют за счет тепловой энергии, выделяемой при прохождении тока через паяемые детали и припой между ними. Этот способ энергозатратный, требует хорошего механического контакта спаиваемых деталей, но при этом малочувствителен к материалу соединяемых металлов и дает сплавы с высокими эксплуатационными характеристиками.

Пайку погружением производят нагревом паяемых деталей и припоя, помещаемых в ванны с расплавом активирующих солей. Применяют при групповой обработке поверхности плат и облуживании.

Радиационную пайку выполняют при условии нагрева паяемых деталей мощными кварцевыми лампами, расфокусированным электронным лучом или мощным лазером. Последний способ применяют при пайке единичных деталей, требующих высокого качества соединений и особой точности при малом шаге между выводами.

При ***пайке горелками*** используют газосварочные горелки, плазменные горелки косвенного действия, паяльные лампы и газовые паяльники. Область применения — пайка металлов, которые имеют разные температурные коэффициенты расширения и не могут быть спаяны в обычном режиме, а также при использовании тугоплавких припоев.

Селективная пайка основывается на использовании приемов пайки паяльником или паяльным феном. Применяют в экспериментальном и единичном производстве, при ремонте и восстановлении работоспособности схем, а также в ответственных случаях, требующих высокого качества соединений.

При массовом производстве широкое применение находят наиболее производительные методы: пайка погружением в расплавленный припой, пайка волной припоя, инфракрасный нагрев и оплавление.

Пайка бывает низкотемпературная (до 450 °С) и высокотемпературная.

Для низкотемпературной пайки используют в основном электрический нагрев паяльником или лазерным лучом, инфракрасный нагрев, оплавление и пайку волной.

Для высокотемпературной пайки применяют нагрев горелкой или паяльным феном, погружением в ванну с припоем.

Качественное паяное соединение получают при точном выполнении технологии пайки, качества и правильности подбора паяльных материалов. Типичный технологический процесс включает в себя:

1) подготовку поверхности деталей;

2) активирование соединяемых элементов — металлов-проводников и припоя обслуживанием;

3) обеспечение взаимодействия на границе «основной металл — жидкий припой»;

4) создание условий для кристаллизации жидкой металлической прослойки.

При подготовке к пайке удаляют загрязнения органического и минерального происхождения, оксидные пленки, в некоторых случаях наносят покрытие, улучшающее условия пайки или повышающее прочность и коррозионную стойкость паяных соединений.

Удаление пленок, препятствующих смачиванию поверхностей расплавленным припоем, проводят механическими или химическими (обезжиривание, травление) способами. При механической очистке удаляется тонкий поверхностный слой металла с помощью режущего инструмента (резца, шабера и др.) или наждачной бумаги и проволочной щетки. Образование шероховатой поверхности после механической обработки способствует растеканию флюса и припоя. Обезжиривание изделий проводят в растворах щелочей или в органических растворителях (ацетоне, бензине, спирте, четыреххлористом углероде, фреоне, спиртобензиновых и спиртофреоновых смесях) путем протирки, погружения, распыления, обработки в паровой фазе или в ультразвуковой ванне.

Удаление окисных пленок осуществляют травлением в растворах кислот или щелочей. Состав раствора определяют видом металла, толщиной окисной пленки и требуемой скоростью травления. Обычно применяют 10%-ный раствор каустической соды. В отдельных случаях (для меди и ее сплавов) применяют 10%-ный раствор серной кислоты. После операции травления детали тщательно промывают с применением нейтрализующих растворов.

После очистки и подготовки деталей места пайки должны быть облужены. Предварительным лужением достигают повышения прочности и плотности спая. В процессе лужения перед пайкой на поверхность соединяемых деталей наносят покрытия, которые улучшают процесс смачивания припоем и поддерживают хорошую способность к пайке в течение длительного межоперацион-

ного хранения. В качестве материалов для таких покрытий используют различные припои (ПОС-61, сплав Розе и др.), серебро, золото, палладий и их сплавы.

Лужение проводят разогретым жалом паяльника либо погружением в паяльную ванну.

Перед пайкой детали скрепляют, чтобы места соединений не расходились при небольших механических воздействиях: обвязывают мягкой проволокой; сжимают струбцинами; механически соединяют с помощью винтов, пинцета, плоскогубцев или зажимов держателей плат. При соединении деталей, особенно поверхностного монтажа, так же может быть использован лак или специальный клей.

12.2. ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИПОЕВ

Припой — это металл или сплав металлов, предназначенный для соединения деталей и узлов термическим методом для получения монолитного соединения между двумя спаиваемыми металлами. Припой должен обладать хорошей текучестью в расплавленном состоянии, хорошо смачивать поверхности соединяемых материалов и иметь требуемые характеристики в твердом состоянии (механическая прочность, стойкость к воздействию внешней среды, усадочные напряжения, коэффициент теплового расширения). Для изготовления припоев применяют сплавы на основе олова, свинца, кадмия, меди, никеля и др.

Припои бывают легкоплавкие и тугоплавкие.

К легкоплавким припоям относят припои с температурой плавления до 300°С, к тугоплавким — выше 300°С. Легкоплавкие припои имеют предел прочности при растяжении 16 — 100 МПа, а тугоплавкие — 100 — 500 МПа.

Легкоплавкими припоями считают оловянно-свинцовые сплавы (ПОС) с содержанием олова от 10 (ПОС-Ю) до 90% (ПОС-90), остальное — свинец. Для уменьшения температуры плавления припои содержат небольшое количество сурьмы и других примесей.

В табл. 12.1 приведены состав и характеристики некоторых легкоплавких припоев на основе олова и свинца.

Тугоплавкие припои создают высокую прочность шва. В электро- и радиомонтажных работах их используют нечасто. В табл. 12.2 приведены составы некоторых медно-цинковых припоев.

Европейское сообщество 11 октября 2002 г. одобрило документы WEEE — Положение об отходах радиоэлектронного и электро-

Таблица 12.1. Характеристики припоев марки ПОС

Марка	Химический состав, %						Температура плавления,°С	
	Олово	Свинец	Сурьма	Примеси, не более				
				медь	вис-мут	мышь-як	Нача-ло	Конец
ПОС-90	90	9,62	0,15	0,08	0.1	0,05	183	222
ПОС-40	40	57,75	2	0,1	0,1	0,05	183	230
ПОС-ЗО	30	67,7	2	0,15	0,1	0,05	183	250
ПОС-18	18	79,2	2,5	0,15	0,1	0,05	183	270

Таблица 12.2. Характеристики тугоплавких припоев

Марка	Химический состав в %						Температура плавления,°С
	Медь	Цинк	Примесей не более				
			Сурьма	Свинец	Олово	Железо	
ПМЦ-42	40 — 45	Оставшаяся часть	0,1	0,5	i,6	0,5	830
Г1МЦ-47	45 — 49		0,1	0,5	1,5	0,5	850
ПМЦ-53	49 — 53		0,1	0,5	1,5	0,5	870

оборудования и RoHS — Положение о применении некоторых опасных веществ в радиоэлектронном и электрооборудовании. Эти положения касаются применения таких тяжелых металлов, как свинец, кадмий, ртуть и шестивалентный хром, а также бромированных огнезащитных составов. С 1 июля 2006 г. эти вещества были запрещены к использованию в производстве РЭА. В связи с этим в производстве электронной техники большинство производителей используют бессвинцовые технологии и бессвинцовые припои. В основном они создаются как сплавы олова, серебра и меди без присутствия свинца. Например, сплав CASTIN, запатентованный американской компанией AIM, обеспечивает повышенную теплостойкость благодаря добавлению сурьмы и образованию интерметаллических структур сурьмы с серебром и медью.

Внешний вид бессвинцовых паяных соединений отличается от соединений, полученных с применением оловянно-свинцовых припоев. Бессвинцовые соединения выглядят более тусклыми, но это не означает, что они менее прочные, скорее наоборот.

2.3. ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛЮСОВ

Флюсы, образуя жидкую и газообразную защитные зоны, предохраняют поверхность металла и расплавленного припоя от окисления, растворяют и удаляют уже имеющиеся пленки оксидов и загрязнений с поверхностей, улучшают смачивание металла припоем и растекание припоя за счет уменьшения сил поверхностного натяжения.

К флюсам предъявляют следующие требования:

- флюс не должен взаимодействовать химически с припоем, при расплавлении флюса и припоя должны образовываться два жидких несмешиваемых слоя;
- флюс должен иметь температуру плавления ниже, чем у припоя. Жидкий флюс должен до расплавления припоя очистить поверхность соединяемых деталей от примесей и неметаллической пленки и защитить паяемое соединение от воздействия окружающей среды;
- флюс должен быть химически инертным или минимально активным по отношению к паяемым металлам и сплавам. Коррозионная активность остатков флюса после пайки по отношению к паяному шву и основному металлу должна быть также минимальной;
- флюс не должен разрушать или удалять поверхностные неметаллические пленки, образующиеся на поверхности соединяемых деталей и припоев под воздействием температуры и окружающей среды;
- флюс в жидком состоянии должен хорошо растекаться по припою, затекать между соединяемыми деталями и смачивать их;
- в расплавленном и газообразном состояниях флюс должен способствовать растеканию припоя по паяным поверхностям и соединению его с основным металлом;
- флюс должен быть устойчивым при хранении и пайке.

В состав флюсов входят компоненты, обладающие травящими или активно восстанавливающими свойствами, повышающие поверхностное натяжение и улучшающие смачивание.

В зависимости от температурного интервала активности флюсы подразделяют на низко- (до 480°С) и высокотемпературные (480 — 850 °С). Для электромонтажных работ в основном применяются низкотемпературные флюсы температурой плавления 180 — 300 °С.

По действию, оказываемому на металл, флюсы подразделяют на активные (кислотные), бескислотные (неактивные), активированные, антикоррозийные и защитные.

По химическому составу флюсы подразделяют на две группы. К первой группе относят смолосодержащие флюсы на основе канифоли или полиэфирных флюсующих смол (марки ПН-9 и ПН-56). Эти флюсы обладают слабой химической активностью и предназначены для пайки легкопаяемых металлов. Канифольные флюсы, активированные содержанием 2...3,5% органических кислот (бензойной, салициловой и др.), обладают повышенной активностью и используются при групповой и ручной пайке многослойных печатных плат. Их сильное влияние на сопротивление изоляции диэлектриков и коррозию проводников требует тщательного удаления остатков флюса после пайки.

Вторую группу составляют коррозионные активные флюсы, не содержащие смол. Для повышения активности флюсов в их состав вводят активирующие добавки: анилин, гидразин, триэтаноламин, диэтиламин соляно-кислый. При введении активаторов стремятся, чтобы при пайке добавки со щелочными свойствами нейтрализовали остатки кислотных компонентов.

Активные флюсы содержат в своем составе соляную кислоту, хлористые и фтористые металлы и т.д. Эти флюсы интенсивно растворяют оксидные пленки на поверхности металла, благодаря чему обеспечивается высокая механическая прочность соединения. Однако остаток флюса после пайки вызывает интенсивную коррозию соединения и основного металла.

К активным флюсам относится также бура — водная натриевая соль пироборной кислоты; применяют при пайке латунными и серебряными припоями.

При монтаже электроаппаратуры применение активных флюсов не допускается, так как с течением времени их остатки разъедают место пайки.

Активизированные флюсы готовят на основе канифоли с добавлением небольших количеств соляно-кислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты или соляно-кислого диэтиламина. Эти флюсы применяют при пайке большинства металлов и сплавов (железо, сталь, нержавеющая сталь, медь, бронза, цинк, нихром, никель, серебро), в том числе и оксидированных деталей из медных сплавов без предварительной зачистки. К активированным относятся флюсы марки ЛТИ, в состав которых входит этиловый спирт (66 — 73%), канифоль (20 — 25%), соляно-кислый анилин (3 — 7%), триэтаноламин (1—2%).

Для пайки меди и медных сплавов, константана, серебра, платины и ее сплавов применяют антикоррозийные флюсы. Они содержат в своем составе фосфорную кислоту с добавлением различных органических соединений и растворителей. В состав некоторых антикоррозийных флюсов входят органические кислоты. Остатки этих флюсов не вызывают коррозии. Антикоррозийный флюс ВТС состоит из 63 % технического вазелина, 6,3 % триэтаноламина, 6,3 % салициловой кислоты и этилового спирта. Остатки флюса удаляют протиркой детали спиртом или ацетоном.

Некоррозионные (защитные) флюсы оказывают только защитное действие. Они не способны растворять оксидную пленку большинства металлов, их применяют при пайке меди и ее сплавов, а также стальных изделий, покрытых серебром, медью, оловом или кадмием. К таким флюсам относят канифоль и ее растворы в спирте или в органических растворителях, а также древесные смолы, воск, стеарин и вазелин.

12.4. ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПАЙКИ

Оборудование для лужения и пайки подбирается в соответствии с технологией пайки, масштабом производства и паяемых радиоэлементов. В мелкосерийном производстве при селективной пайке применяют паяльники или паяльные станции.

Паяльники классифицируют по напряжению и мощности. Для пайки поверхностно монтируемых компонентов, особенно микросхем, используются паяльники с пониженным напряжением питания. В этом случае и мощность паяльника выбирается небольшая — 25 Вт. В случае работы в особо опасных помещениях используются паяльники с пониженным напряжением питания — до 42 В.

Качество пайки зависит от качества паяльного жала. Видов паяльных жал множество. Среди них своими характеристиками выделяется необгораемое (необслуживаемое) жало, конструкция которого показана на рис. 12.1.

Внешний слои паяльника (никель, хром) является защитным, внутренний — (электролитическая медь или серебро) отвечает за теплопроводность, промежуточный (железо) — за прочность и долговечность, а рабочая часть (олово) — за хорошую смачиваемость припоем.

Рис. 12.1. Необгораемое жало

В настоящее время обычные электронагревательные паяльники вытесняются паяльными станциями и ремонтно-паяльными центрами.

Принцип действия ***паяльной станции,*** как и обыкновенного паяльника, так же основан на нагреве жала паяльника или его насадки электрическим током. Микропроцессорное управление поддерживает и регулирует температуру жала, устанавливает режим работы в зависимости от профиля пайки. Конструктивно паяльная станция имеет удобные держатели для паяльников, обеспечивает вакуумный отсос припоя, быструю и эффективную смену насадок. Внешний вид паяльной станции показан на рис. 4.2. Она имеет встроенный блок питания, который подает непосредственно на нагреватель паяльника пониженное напряжение питания (обычно 9—12 В), что обеспечивает безопасную работу с ним.

При производстве работ, связанных с микросхемами, ремонте электронной техники, монтаже и демонтаже процессоров и микроконтроллеров, которые чувствительны к перегреву и статическому электричеству, используют термовоздушные паяльники (термофены, паяльные фены), которые паяют в потоке нагретого воздуха.

Цифровая паяльная станция отличается от обычной аналоговой наличием дисплея, автоматически обнаруживает подключаемое оборудование и задает режим пайки. Настройка и удержание температуры пайки устанавливается автоматически.

Ремонтно-паяльный комплекс предназначен для проведения различной сложности паяльных работ: от пайки обычных компонентов до многовыводных БИС со штырьковыми и лепестковыми выводами. Как правило, в этом случае пайка проводится инфра-

красным излучением или лазерным лучом, мощность которых концентрируется на ламелях выводов, без температурного воздействия на корпус микросхемы или элемента. Оборудование ремонтных станций обеспечивает автоматическое совмещение контактов и дорожек, оптимальные температуру и продолжительность пайки.

Для предварительного лужения подготовленной платы применяются паяльные ванны, в которых пайка производится окунанием готовой платы с нанесенным флюсом в припой. В паяльной ванне припой расплавляется в течение 3 — 7 мин, затем проводят окунание. Паяльные ванны эффективны для пайки наконечников, облуживания проводников.

В промышленном производстве используются автоматы пайки волной и в печи оплавления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды пайки используют в производстве электронной техники?
2. Перечислите этапы технологического процесса подготовки и проведения паяльных работ.
3. Назовите основные виды припоев и их характеристики.
4. Перечислите известные вам флюсы, их состав и область применения.

Глава 13

ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ ПРОВОДА И КАБЕЛИ, РАБОТА С НИМИ

13.1. ТИПЫ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Провод представляет собой кусок проволоки, имеющей определенное сечение и длину, который применяют для электрического соединения деталей, приборов, аппаратов между собой. В качестве материала для проводящей жилы используют металл с низким удельным сопротивлением: как правило, алюминий, медь, никель, золото или серебро, а также сплавы на их основе (латунь, платинит и др.). Соединительные провода должны быть гибкими, иметь прочную изоляцию, которая не теряет своих свойств в агрессивных средах, не должны создавать механических помех для движущихся частей, должны быть прочными при кручении и изгибе.

Виды проводов, используемые в радиомонтажной практике, подразделяют:

- на установочные:
- обмоточные:
- монтажные;

1 кабели.

Установочные провода и ***шнуры*** служат для присоединения к питающей сети электродвигателей, генераторов, реле и других потребителей тока. Токопроводящие жилы установочных проводов изготовляют из медной или алюминиевой проволоки. Изоляция установочных проводов рассчитана на рабочее напряжение, в несколько раз превышающее сетевое.

В радиоэлектронике применяют, как правило, медные провода, жилы которых изолируют электроизоляционной резиной, полиэтиленом или полихлорвиниловым пластиком. В табл. 13.1 приведен основной ассортимент установочных проводов с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией.

Широкое применение проводов с полихлорвиниловой изоляцией обеспечивается их высокой водостойкостью, маслостойкостью и негорючестью полихлорвинила.

Таблица 13.1. Марки установочных проводов и шнуров и их характеристики

Марка провода	Число жил х площадь сечения, мм^2	Характеристика провода
ПВ	1 х 0,5 — 0,95	Провод с медной жилой, изолированной полихлорвиниловым пластиком
ППВ	2 — 3х0,75 — 4	Провод ленточный (плоский) с медными жилами, уложенными параллельно и заключенными в полихлорвиниловую изоляцию
ПГВ	1 х 0,5—0,95	Провод с гибкой многопроволочной жилой с полихлорвиниловой изоляцией

Правила маркировки установочных проводов следующие: например, провод ПГВ расшифровывается так: П — провод, Г — с гибкой медной жилой, В — с поливинилхлоридной изоляцией, 1 х 0,5 0,95 — одножильный провод сечением от 0,5 до 0,95 мм^2.

Обмоточные провода используют для обмоток электрических машин, аппаратов, дросселей и трансформаторов. Материалами для них служат медь, алюминий и их сплавы.

В качестве изоляции применяют эмалевую, волокнистую, эмалево-волокнистую, бумажную, пластмассовую, пленочную, стекловолокнистую, стеклоэмалевую и сплошную стеклянную пленки.

Медные эмалированные провода с изоляцией на основе масляных лаков (марка ПЭЛ) выпускают диаметром 0,02 — 2,5 мм. Этот вид проводов сохраняет высокие электроизоляционные характеристики в условиях воздействия повышенных температур и влажности.

Эмалированные провода марок ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2 диаметром 0'05 1,6 мм и изоляцией на основе полиуретанового лака отличаются особенностью облуживания без предварительной зачистки эмали, что значительно облегчает пайку.

Провода с изоляцией на поливинилацеталевой основе отличаются механическими характеристиками, хорошими электроизоляционными свойствами, стойкостью к действию агрессивных сред. Применяют их для изготовления обмоток электрических машин и аппаратов без дополнительных покрытий.

Обмоточные провода с полиамидной изоляцией имеют высокую чстойкость от нагрева, хорошие электрические характеристи-

ки, которые практически не изменяются при нагревании провода до температуры 230 °С.

Провода с волокнистой изоляцией на основе хлопчатобумажной пряжи и натурального шелка имеют ограниченное применение из-за малой электрической прочности. Некоторые марки обмоточных проводов и их характеристики приведены в табл. 13.2.

Монтажные провода применяют в основном короткими отрезками для неподвижных внутри- и межблочных прокладок и в соединениях приборов, аппаратов и различных электрических и радиотехнических устройств. Для лучшего распознавания монтажных проводов их внешние изоляционные оболочки обычно окрашивают в различные цвета. В табл. 13.3 приведены основные марки монтажных проводов, их характеристики и область применения.

Наиболее распространенными монтажными проводами являются провода марок МГШВ и МГШВЭ, имеющие наименьшее сопротивление (до 160 Ом на 1 км). Провода с медной луженой многопроволочной токопроводящей жилой и изоляцией из электроизоляционного шелка в оболочке из ПВХ-пластиката предназначены для внутриприборного и межприборного монтажа.

Провод МГШВЭ может выпускаться в экране из медных луженых проволок.

Таблица 13.2. Марки обмоточных проводов и их характеристики

Марка провода	Диаметр провода без изоляции, мм	Характеристика провода
ПБ	1 — 5,2	Провод, изолированный несколькими слоями ка бельной бумаги
ПБУ	Прямоугольные ***а*** = 2,44 — 5,5 Ь = 6,9—22	Провод с бумажной изоляцией и с повышенной электрической прочностью
ПБД	0,18—5,2	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи
псд	0,31—5,2	Провод, изолированный двумя слоями обмотки из стекловолокна, пропитанной нагревостойким глифталевым лаком

Таблица 13.3. Марки монтажных проводов, их характеристики и область применения

Марка провода	Сечение медной жилы, мм²	Характеристика провода	Область применения
РП	0,35—1,5	Провод из одной медной жилы с резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной парафином	Для фиксированного монтажа в силовых устройствах
МРПЭ	0,35—1,5	То же, но поверх хлопчатобумажной оплетки имеется экран из медных луженых проволок	Для монтажа в схемах по управлению двигателями и мощными исполнительными устройствами
МГВ	0,1—1	Провод многопроволочный гибкий с изоляцией из полихлорвинилового пластика	Для подводки к аккумуляторным батареям и выполнения соединений внутри схем
МГВЛ	0,35—5	То же, но с лакированной хлопчатобумажной оплеткой	Для выполнения межблочных соединений, работающих при повышенной температуре
МГВЛЭ	0,35—5	То же, но экранированный	Для выполнения внутриблочных соединений
МГТФ	0,2—1,5	Провод многопроволочный гибкий с фторопластовой нагревостойкой изоляцией	Для жесткого монтажа в приборах и аппаратах при напряжении до 250 В
МГШ	0,05—0,1	Провод многопроволочный в оплетке из капроновой пряжи	Для внутриприборного монтажа устройств, работающих при напряжении до 24 В и температурах от –60 до +90 °С

Монтажные провода общего применения выпускают обычно с медными лужеными жилами, имеющими волокнистую, пластмассовую и комбинированную изоляцию в капроновой оболочке или без нее. Эти провода предназначены для работы при переменном и постоянном напряжении до 1 000 В в диапазоне температур от -50 до +70 °С.

Нагревостойкие монтажные провода изготовляют в изоляции из сшитого полиэтилена, кремнийорганической резины, фторопластов, а также комбинаций стекловолокна с фторопластовой пленкой, что позволяет использовать провода в интервале температур от -60 до +250 °С. Высоковольтный монтажный провод марки ПВМП-2 в полиэтиленовой изоляции используют при напряжениях 2; 2,5 и 4 кВ при температуре от -60 до +85 °С.

Кабели предназначены для канализации (передачи) электрической энергии и состоят из одного или нескольких изолированных друг от друга проводников, заключенных в герметичную защитную оболочку из резины, пластмассы, алюминия или свинца. Конструктивное отличие кабелей от проводов заключается в том, что жилы кабелей имеют герметизированную оболочку. Изоляцию кабелей выполняют из бумажных лент, пропитанных маслоканифольным составом, из резины или пластмассы.

При монтаже радиоэлектронной аппаратуры используют следующие типы кабелей:

- контрольные;
- специальные;
- управления и связи;
- радиочастотные.

Контрольные кабели используют для передачи низковольтных сигналов управления в цепях вторичной коммутации, присоединения электрических приборов и аппаратов в электрических распределительных устройствах с переменным напряжением до 660 В частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1 000 В при температуре окружающей среды от -50 до +50 °С.

Эти кабели изготовляют с однопроволочными медными и алюминиевыми жилами сечением 0,75— 10 мм^2, число которых может составлять от 4 до 61. В качестве материалов для изоляции токоведущих жил применяют резину с нормальной и повышенной нагревостойкостью, полиэтилен, самозатухающий полиэтилен, поливинилхлоридный пластикат или фторопласт.

Специальные кабели (волоконно-оптические) используют в волоконно-оптических линиях передачи. Главным

Рис. 13.1. Устройство оптоволоконного кабеля

элементом этих кабелей является оптическое волокно из стекла на основе чистого кварца. Кабель представляет собой двухслойную конструкцию, центральная часть которой (сердечник) за счет легирующих добавок имеет показатель преломления света, немного большего наружного слоя — светоотражающей оболочки (рис. 13.1).

Направленное распространение светового потока происходит за счет многократных полных внутренних отражений световых лучей от границы раздела сердечник—оболочка. Диаметр сердечника не превышает 50 мкм, оболочки — 100—150 мкм. Оптоволоконные кабели поверх светоотражающей кварцевой оболочки имеют защитное полимерное покрытие.

Радиочастотные кабели предназначены для соединения передающих и приемных антенн с радио- и телевизионными станциями, различных радиочастотных установок, межприборного и внутриприборного монтажа радиотехнических устройств, работающих при частотах более 1 МГц.

Радиочастотные кабели выпускаются следующих типов:

- РК — радиочастотные коаксиальные кабели;
- РД — радиочастотные симметричные кабели, двухжильные или из двух коаксиальных пар;
- РС — радиочастотные коаксиальные и симметричные кабели со спиральными проводниками. Виды радиочастотных кабелей и их параметры приведены в табл. 13.4.

Кабели для сигнализации и блокировки представляют собой разновидность специального кабеля, как правило, однопарного, используемого для проводной телефонной связи и радиофикации. Включают в свой состав две токопроводящие жилы из однопроволочной меди круглой формы с изоляцией из полиэтилена высокого давления.

Таблица 13.4. Марки радиомонтажных кабелей, их характеристики и область применения

Марка кабеля	Диаметр, мм		Характеристика кабеля и область применения
	внутреннего проводника	внешний	
РК 50-2-11	0,67	4±0,3	Кабель коаксиальный с медным внутренним и внешним проводниками со сплошной полиэтиленовой (ПЭ) изоляцией и в ПЭ оболочке
РК 50-2-13	0,67	4±0,3	Кабель коаксиальный с медными внутренним однопроволочным и внешним проводниками в поливинилхлоридной (ПВХ) оболочке
РК75-4-15АИ	0,72	7,3 ±0,4	Кабель коаксиальный для индивидуальных приемных телевизионных антенн
РК 75-4-16	0,78	7,3±0,4	Кабель коаксиальный с семипроволочным внутренним проводником
РК 75-9-12АК	1,2	10,3±0,6	Кабель коаксиальный с однопроволочным медным внутренним проводником со сплошной ПЭ-изоляцией и медным внешним проводником в ПВХ-оболочке для систем коллективного приема телевидения

К этому виду кабелей относится так называемая витая пара, представляющая собой одну и более пар изолированных проводов, свитых между собой с определенным числом витков на единицу длины и покрытых сверху пластиковой оболочкой. Свивание проводов проводится для снижения электромагнитных помех от посторонних внешних источников, а также для снижения взаимных наводок между парами при передаче дифференциальных сигналов. Для уменьшения связи между отдельными парами кабеля в витой паре провода пары свиваются между собой с разным шагом. Витая пара — один из основных компонентов современных структурированных кабельных систем. Соединение витой пары с соединителями выполняется способом обжатия.

13.2. МОНТАЖ И КРЕПЛЕНИЕ ПРОВОДОВ

Перед монтажом проводов их разделывают — готовят токопроводящие жилы для присоединения их к деталям монтажа или между собой. Правила разделки проводов изложены в ГОСТ 23587 — 96. Разделку проводов для подготовки их к монтажу выполняют двумя способами (табл. 13.5) — бесступенчатым и ступенчатым.

Таблица 13.5. **Способы разделки проводов**

Вариант	Упрощенное изображение	Способ крепления изоляции и защитного покрова
Бесступенчатый способ с закреплением края изоляции		
1.1		Без крепления
1.2		Клеем
1.3		Электроизоляционной трубкой на клее
1.4		Термоусаживаемой трубкой
1.5		Бандажом из ниток, покрытым клеем
Ступенчатый способ		
2.1		Без крепления
2.2		Клеем
2.3		Электроизоляционной трубкой на клее
2.4		Термоусаживаемой трубкой

Окончание табл. 13.5

Вариант	Упрощенное изображение	Способ крепления изоляции и защитного покрова
2.5		Бандажом из ниток, покрытым клеем
2.6		Бандажом из ниток, покрытым клеем

Ступенчатый способ разделки проводов применяют для проводов, имеющих волокнистый защитный слой. После удаления изоляции многопроволочная жила должна быть скручена в направлении заводской завивки. Обычно закручивают по направлению часовой стрелки. Участок неизолированного провода-жилы должен быть залужен. Для исключения подгорания изоляции на нее накладывают антипригарную пасту.

На плате провода крепят на контакт-детали. Примеры контакт-деталей показаны на рис. 13.2. Лепесток контакта завальцовывают в отверстие на плате, а провод закрепляют в отверстие в виде «замка».

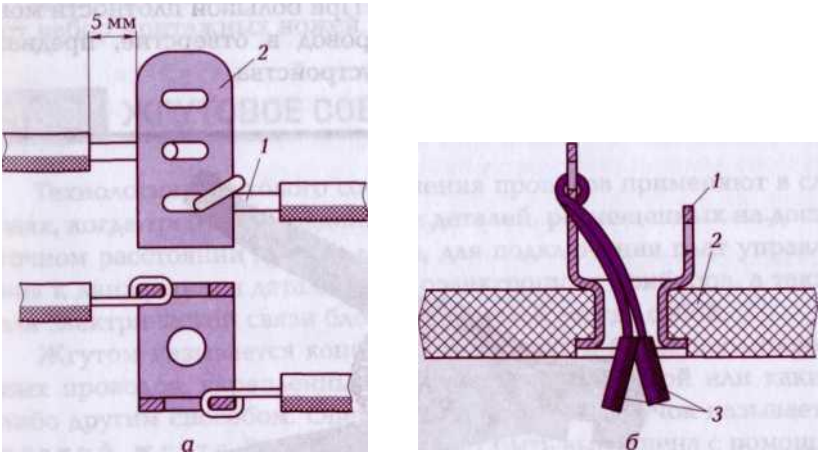


Рис. 13.2. Способ закрепления проводов на контакт-детали:
а – контакт-деталь: 7 – провод; *2* — плоская форма; б – фиксация проводов в отверстии:! - плоская форма; *2* - плата; 3 - провода

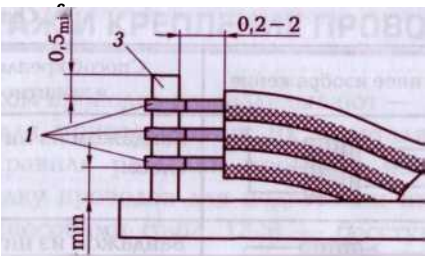


Рис. 13.3. Роликовое штырьковое присоединение проводов:
1 – провода; *2* – основание; 3 – штырь крепления

В случае использования роликового наконечника на него крепят несколько проводов, накладывая их друг на друга (рис. 13.3).

Жила провода, закрепленная на контакт-детали, должна плотно ее огибать, изгиб контакт-детали не допускается. Провод сечением более 0,35 мм закрепляют на контакт-детали с ¾ оборота, а при сечении менее 0,35 мм — с полным оборотом. Длина неизолированного участка провода от торца изоляции должна быть от 0,2 до 2 мм, а для проводов с полиэтиленовой изоляцией от 0,5 до 3 мм.

Если контакт-деталь выполнена в виде отверстия, то число проводов, закрепленных в отверстие, не должно быть больше четырех. При креплении на контакт-детали более одного провода каждый из проводов крепится отдельно. При большой плотности монтажа допускается устанавливать провод в отверстие, предназначенное для крепления элементов устройства.

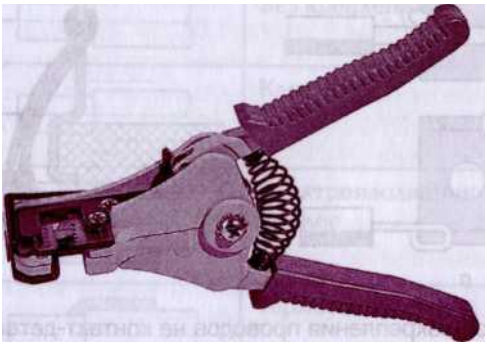


Рис. 13.4. Клещи для снятия изоляции

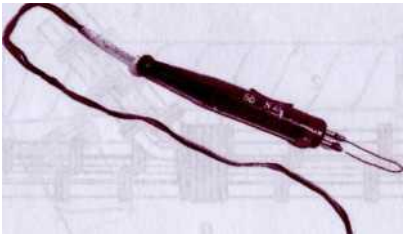


Рис. 13.5. Термоклещи («обжигалка») для снятия изоляции

При креплении проводов к выводам реле на их лепестки надевают изолированные трубки, если же расстояние между контактами более 2 мм, трубки не используют, а паяные контакты изолируют лаком. При креплении проводов к двигателям применяют изолирующие термоусадочные трубки длиной 15 мм, не менее.

Разделку проводов осуществляют с помощью специального инструмента. Этот инструмент (рис. 13.4) обладает самонастраивающимися функциями и обеспечивает безопасное снятие изоляции с проводов диаметром от 0,5 до 6 мм. Длина зачищаемой изоляции — 5 мм.

Для разделки тонких проводов в полихлорвиниловой изоляции используют термоклещи — так называемую «обжигалку» (рис. 13.5) — которые подключают к сети так же, как паяльник.

Для снятия изоляции различных профилей и толщин используют набор монтажных ножей.

13.3. ЖГУТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДОВ

Технологию жгутового соединения проводов применяют в случаях, когда требуется соединение деталей, размещенных на достаточном расстоянии друг от друга, для подключения плат управления к движущимся деталям радиоэлектронных приборов, а также для электрической связи блоков и модулей между собой.

Жгутом называется конструкция из двух и более изолированных проводов, скрепленных в пучок ниткой, лентой или каким-либо другим способом. Операция скрепления в пучок называется *вязкой жгута*. Вязка жгута может быть выполнена с помощью бандажа из ниток или стяжной лентой из электроизоляционного материала. При использовании в качестве материала для вязки хлопчатобумажных материалов их пропитывают антисептиком и

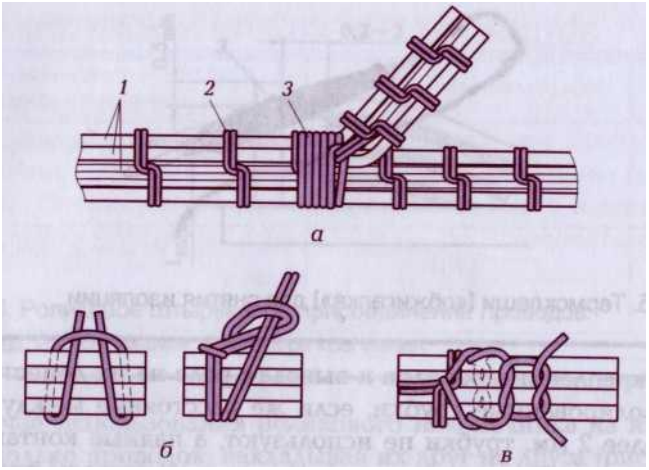


Рис. 13.6. Способы вязки жгута с помощью ниток:

а – жгут: 7 – провода: *2* – нитки: *3* – петля [бандаж]: б – вязка петлей; в – продольно-поперечная вязка

церезином. При вязке проводов с полиэтиленовой и фторопластовой изоляцией вязать их нитками не допускается, в этом случае применяют пленку из электроизоляционного материала. Если жгут проходит в местах перегиба конструкции, то его обматывают электроизоляционным материалом.

Перед началом вязки жгута создают шаблон на каком-нибудь твердом основании, полностью повторяющий размеры шасси с указанием мест подключения проводов к устройствам. Подбор проводов по длине и толщине жгута выполняют только по шаблону с учетом наименьшей длины и отсутствия пересечений. Изгиб жгута не должен превышать 90°.

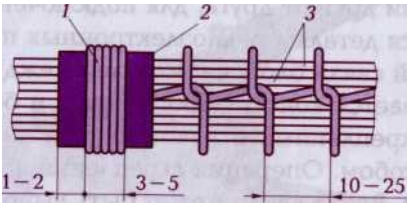


Рис. 13.7. Вязка жгута с использованием электроизоляционного материала:

7 – бандаж; *2* – лента: 3 – провода

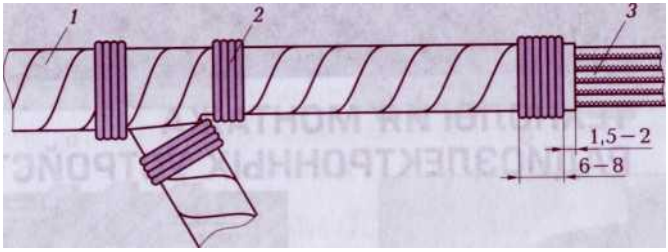


Рис. 13.8. Вязка жгутов с ответвлениями:
7 – лента (пленка); *2* – бандаж из ниток; *3* – жгут проводов

При формировании в жгут проводов различных диаметров провода с меньшим диаметром должны укладываться в середину. На рис. 13.6. показан способ вязки жгута с помощью ниток.

Жгуты с использованием электроизоляционных лент вяжут, как показано на рис. 13.7.

Лента (или пленка) ***1*** (рис. 13.8) фиксирует ответвления и выходящие из жгута провода ***3.*** Лента (или пленка), не имеющая липкого слоя, проклеивается через три — пять витков и в местах разветвлений. Начало и конец обмотки жгута закрепляют клеем или бандажом из ниток ***2.***

Внутри аппаратуры жгут крепится к шасси с помощью хомутов через каждые 50 мм. Вязку жгутов при крупносерийном производстве производят на специальных полуавтоматических линиях.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите материалы, используемые для производства проводов, их свойства и характеристики.
2. Какие типы монтажных и обмоточных проводов вы знаете? Назовите их характеристики и назначение.
3. В чем заключается технология подготовки монтажных проводов к монтажу?
4. В чем заключаются особенности технологии вязки жгутов?
5. Перечислите типы сигнальных кабелей. Каковы их свойства?

Раздел V

ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Глава 14

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

14.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Плата — это основание электронного устройства, выполненное из диэлектрического материала с нанесенным рисунком токопроводящих металлизированных дорожек, заканчивающихся контактными площадками для установки элементов схемы и соединения их между собой. Представление о печатной плате можно получить по рис. 14.1: белыми точками на плате показаны места сверления отверстий для установки электронных элементов.

Печатные платы классифицируют по конструкции и области применения:

- на односторонние;

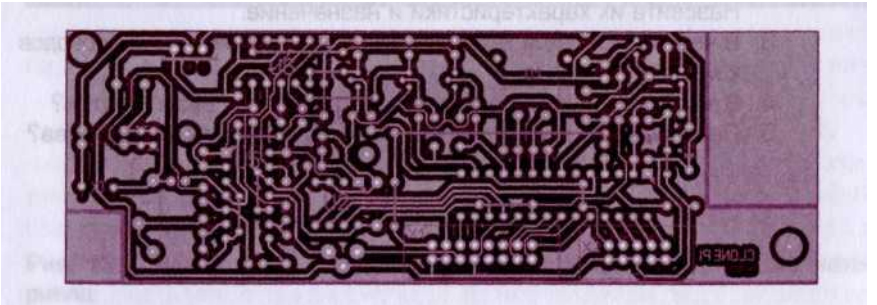


Рис. 14.1. Внешний вид печатной платы

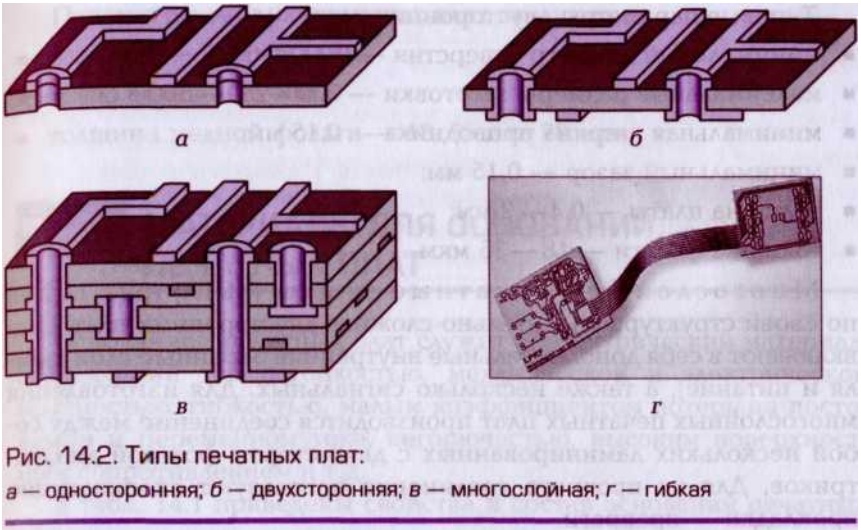


Рис. 14.2. Типы печатных плат:
а — односторонняя; *б* — двухсторонняя; *в* — многослойная; *г* — гибкая

- двухсторонние;
- многослойные;
- гибкие.

Односторонние печатные платы (рис. 14.2, ***а)*** составляют значительную долю выпускаемых печатных плат. Проводниковый слой этих плат формируют на одной стороне диэлектрического основания.

Типовые параметры платы следующие:

- максимальные размеры заготовки — 400 x 330 мм;
- минимальный диаметр отверстия — 0,6 мм;
- минимальная ширина проводника — 0,15 мм;
- минимальный зазор между проводниками — 0,15 мм;
- толщина фольги — 36 мкм;
- толщина платы — 0,4—1,6 мм.

Двухсторонние печатные платы (рис. 14.2, б) имеют различное соотношение проводник/зазор, которое составляет 0,25/0,25 мм, 0,2/0,2 мм и 0,15/0,15 мм. Эти платы используют как для монтажа в отверстия, так и для поверхностного монтажа. В отдельных случаях на проводники двухсторонних плат наносят золотое покрытие, а для металлизации отверстий используют серебро. Рисунок проводников на таких платах формируется с двух сторон диэлектрического основания.

Типовые параметры двусторонних плат:

- минимальный диаметр отверстия — 0,4 — 0,6 мм;
- максимальные размеры заготовки — 300 x 250 — 500 x 500 мм;
- минимальная ширина проводника — 0,15 мм;
- минимальный зазор — 0,15 мм;
- толщина платы — 0,4 — 2 мм;
- толщина фольги — 18 — 36 мкм.

Многослойные печатные платы (МПП) (рис. 14.2, в) по своей структуре значительно сложнее двусторонних плат. Они включают в себя дополнительные внутренние экранные слои (земля и питание), а также несколько сигнальных. Для изготовления многослойных печатных плат производится соединение между собой нескольких ламинированных с двух сторон фольгой диэлектриков. Для их прочного соединения используют склеивающие прокладки — препреги.

Препреги — это композиционные полуфабрикаты, устанавливаемые между слоями и склеивающиеся при прессовании или штамповке.

Для обеспечения коммутации между слоями МПП применяются межслойные переходы и микропереходы. Межслойные переходы могут выполняться в виде сквозных отверстий, соединяющих внешние слои между собой и с внутренними слоями за счет металлизации отверстий.

Примечание. Сверлят отверстия обычно на многошпиндельных станках с частотой вращения 40—60 тыс. об./мин и с числовым программным управление (ЧПУ). После этого электрохимическим методом производят металлизацию отверстий.

Гибкие печатные платы (рис. 14.2, г) используют в качестве соединений в электронных устройствах там, где требуется гибкая подвижность двух схем. Например, соединение материнской платы ноутбука с экраном. Микросхемы располагают на гибком основании, они участвуют в полноценной обработке сигналов на самом интерфейсе.

Для гибких печатных плат в качестве основания используют полиамидные и полистирольные пленки. Для финишного покрытия контактных площадок и проводников используют никель или алюминий. На основаниях гибких плат методом поверхностного монтажа устанавливают пленочные интегральные бескорпусные микросхемы, заливаемые компаундом после разварки выводов.

Параметры гибких печатных плат следующие:

- размеры — 500 х 500 мм;
- число слоев — 1 —6;
- толщина медной фольги — 18, 35 или 70 мкм.

14.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОСНОВАНИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Основанием печатных плат служит диэлектрический материал, обладающий термостойкостью, механической и электрической прочностью, гибкостью, малым коэффициентом потерь на постоянном и переменном токе, негорючестью, высоким поверхностным сопротивлением и т. д.

В табл. 14.1 приведены свойства и состав оснований печатных плат.

Таблица 14.1. Виды оснований печатных плат, принятых в производстве РЭА

Категория	Характеристики плат	Комментарии
FRM, FR-2	Состав: бумага, фенольная композиция. Свойства: высокий коэффициент гигроскопичности	Обладает невысокой электрической прочностью. Используется в производстве бытовой техники
FR-3	Состав: бумага, эпоксидная композиция. Свойства: высокие механические и электрические характеристики	Нетоксичный материал, по качеству соответствует FR2
FR-4, FR-5	Состав: фольгированный эпоксидный стеклотекстолит. Свойства: высокая прочность при повышенных температурах, отсутствие воспламенения	Используют при изготовлении промышленного высокоточного оборудования
G10	Состав: стеклоткань, эпоксидная композиция. Свойства: высокие изоляционные свойства, прочность, низкий коэффициент гигроскопичности	Применяют для мобильных устройств и микроплат

Окончание табл. 14.1

Категория	Характеристики плат	Комментарии
G11	Состав: стеклоткань, эпоксидная композиция. Свойства: высокая прочность на изгиб при повышенных температурах, высокая сопротивляемость растворителям	Для многослойных плат в конструкциях ЭВМ и цифровой техники

* Индекс ***FR*** (flame resistant), означает высокую сопротивляемость к воспламенению; ***G*** — основание для плат с особыми характеристиками.

Материал с индексом FR-1 обладает наибольшей горючестью, а FR-5 — наименьшей. Материалы с индексами G10 и Gl 1 используют стеклоткань, придавая прочность на изгиб при высоких электроизоляционных параметрах.

Технология их изготовления — горячее или холодное прессование (для FR-1) слоев диэлектрика.

В качестве базовых диэлектриков для оснований используют гетинакс, текстолит и стеклотекстолит.

Гетинакс — электротехнический, листовой, слоистый материал, полученный методом горячего прессования бумаги, пропитанной термореактивным связующим веществом на основе фенолформадегидных или эпоксидных смол. Допустимая рабочая температура от -65 до +120 °С, толщина от 0,4 до 50 мм. Обладает высокой электрической прочностью вдоль слоев и низким значением тангенса угла диэлектрических потерь.

Текстолит — прессованная хлопчатобумажная ткань, пропитанная бакелитовым лаком. Текстолит выпускается в виде листов толщиной от 0,5 до 50 мм и в виде стержней диаметром от 8 до 60 мм. Может эксплуатироваться в трансформаторном масле при температурах от -65 до +105 °С. Достигает электрической прочности до 15 кВ на 1 мм.

Стеклотекстолит представляет собой слоистый материал, полученный методом горячего прессования стеклотканей, пропитанных термоактивным связующим веществом на основе совмещенных эпоксидной и фенолформальдегидной смол. Упругий, износостойкий, слоистый пластик. Стеклотекстолит изготовляют пластинами толщиной от 1,5 до 50 мм. Предельно допустимая температура от -60 до +105 °С. Длительность устойчивости к воздействию расплавленного припоя при температуре 260 °С не менее 30 с.

14.3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Первым этапом в производстве печатной платы является ее компоновка и трассировка соединений в интегральной программной среде P-CAD, в которой формируют все необходимые чертежи схемы, а также выполняют прорисовку каждого слоя полупроводника [16]. С конструкторских чертежей изготовляют фотошаблоны, которые представляет собой плоскую пластину из стекла, металла и других материалов с прозрачными (позитив) и непрозрачными (негатив) участками для ультрафиолета, повторяющими рисунок проводников на будущей плате. С помощью фотошаблона формируют рисунок на основании печатной платы. Процесс похож на нанесение краски через трафарет, только в качестве кисти используется луч ультрафиолетового излучения.

Для получения проводящего рисунка на основаниях печатных плат применяют три основных вида технологии:

- фотохимическую;
- субтрактивную;
- аддитивную.

При ***фотохимической технологии*** используют фольгированные основания типов FR1-5 и G10-11. Этапами изготовления при этом являются: фотолитография, травление медной фольги, сверление, защита поверхности и подготовка к пайке. Процесс изготовления платы напоминает процесс проявления фотопленки (рис. 14.3). На основание платы наносится методом распыления фоторезист — вещество, которое реагирует на свет и при его воздействии разлагается (позитивный) или задубливается (негативный), при этом он стоек к воздействию травящих составов для меди. На фоторезист накладывается шаблон и происходит его засветка (экспонирование) . При использовании позитивного фоторезиста в местах засветки он удаляется с помощью щелочи. Медь в образовавшемся окне вытравливается. Таким образом, под слоем незасвеченного фоторезиста формируется слой проводников. Фоторезист удаляется, и плата готова к эксплуатации.

Альтернативой фотохимической технологии изготовления односторонних плат на фольгированном основании является фрезерование проводящего слоя в медной фольге на двухкоординатных фрезерных станках с ЧПУ. Этот метод наиболее эффективен при изготовлении прототипов плат в единичном экспериментальном производстве.

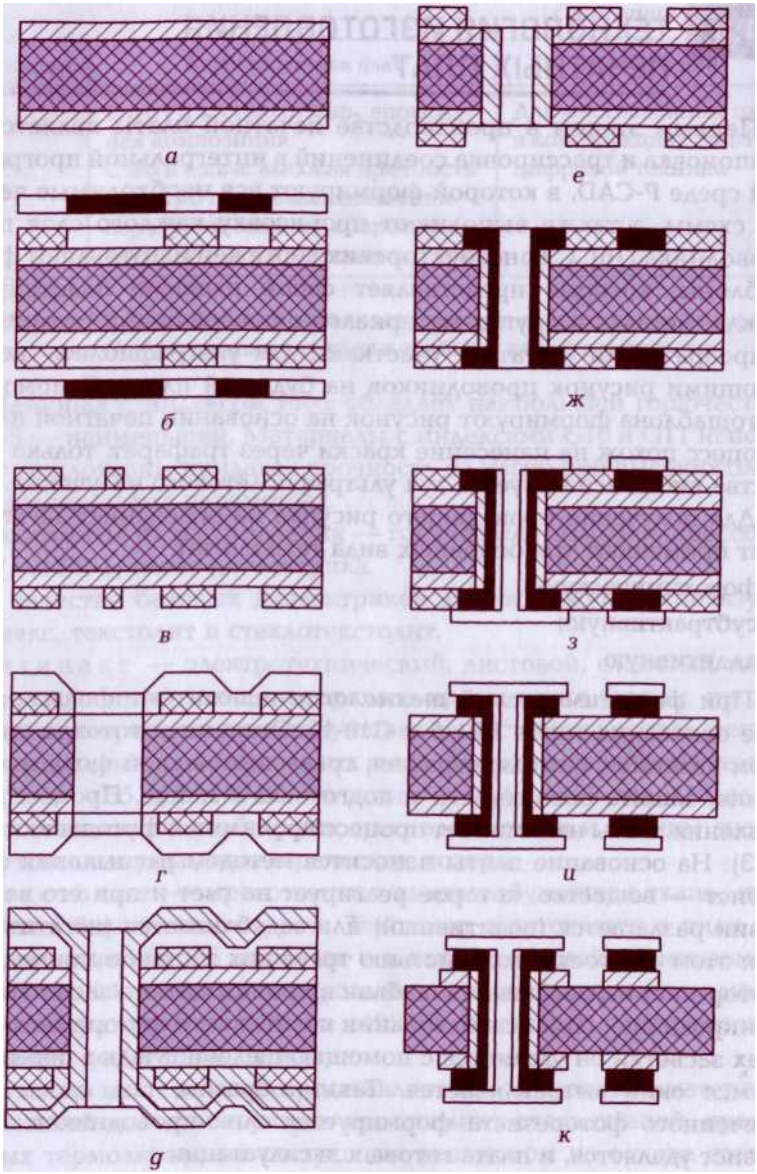


Рис. 14.3. Этапы формирования проводников на печатных платах: а – заготовка из фольгированного диэлектрика; б – нанесение фоторезиста и экспонирование через фотошаблон; в – проявление защитного рельефа; г – нанесение защитного слоя и сверление отверстий; д – химическое меднение; е – удаление защитного слоя; *ж* – гальваническое осаждение меди; *з* – гальваническое нанесение защитного покрытия; *и* — удаление фоторезиста; к – стравливание фольги

По ***субтрактивной технологии*** рисунок печатных плат получают путем гальванического осаждения меди на поверхность диэлектрика через окна, сформированные фотолитографией в слое фоторезиста или металлорезиста. На этапе создания окон в фоторезисте субтрактивная технология повторяет фотохимическую: только на заключительном этапе медь не вытравливается, а осаждается.

Для изготовления печатных плат с шириной проводников и зазоров 50—100 мкм и толщиной проводников 30 — 50 мкм используют ***аддитивную электрохимическую технологию.*** Основанием платы также служит нефольгированный диэлектрик. При этом односторонние платы и платы без сквозных отверстий формируют штамповкой или способом переноса.

При штамповке металлическая медная «вырубка» проводников прижимается к диэлектрику, под давлением этот «пирог» нагревается и происходит полимеризация адгезионного слоя диэлектрика, т. е. перенос металла с «вырубки» на основание. Эту технологию применяют при массовом производстве достаточно простых схем.

Способ переноса заключается в том, что на временном металлическом основании формируется рисунок проводников (в качестве основания используют пластины из коррозийно-стойкой стали). Медные проводники наносят на стальное основание омеднением его в кислых электролитах. Полученный таким образом шаблон прижимают к диэлектрическому основанию и нагревают. Проводящий рисунок отделяется от стали и плотно приклеивается к диэлектрику. Процесс аналогичен использованию детских переводных картинок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите виды печатных плат. В чем их различие и какова область их применения?
2. Опишите технологию фотохимической технологии получения печатных плат.
3. В чем заключаются особенности субтрактивного метода изготовления основания печатной платы?
4. В каких случаях применяется аддитивная электрохимическая технология для изготовления печатной платы?
5. Что представляют собой многослойные печатные платы? Назовите особенности их технологии и применения?

Глава 15

ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

15.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Монтаж электронных приборов и устройств включает в себя процессы создания электрических соединений между радиоэлектронными элементами, закрепленными на каком-либо основании или печатной плате, в целях изготовления работоспособной электронной схемы. Несмотря на способ производства, конечный результат должен быть один — качественное и надежное соединение (механическая прочность и надежный электрический контакт) входящих в устройство или прибора элементов.

Основополагающими факторами для достижения поставленной цели являются:

- применяемые технологические материалы и оборудование;
- качество узлов и компонентов;
- культура производства (соблюдение производителем технических требований и правил промышленной санитарии).

Рассмотрим три основных вида монтажа: навесной, поверхностный и смешанный.

15.2. ТЕХНОЛОГИЯ НАВЕСНОГО МОНТАЖА

Технология навесного монтажа, или монтажа в отверстия (также используют понятия объемный, или штырьковый, монтаж), стояла в начале пути к современным технологическим процессам. Технология монтажа в отверстия, как следует из названия, представляет собой метод установки компонентов на печатную плату в сквозные отверстия и их присоединения разъемными или неразъемными способами к контактным площадкам, металлизированной внутренней поверхности отверстия, лепесткам разъемов, клеммам или контактным группам.

Технологический процесс монтажа в отверстия состоит из следующих этапов:

- подготовка выводов электронных компонентов;
- установка компонентов;
- пайка;
- отмывка.

Подготовка выводов электронных компонентов включает в себя операции формовки и рихтовки в целях;

- выравнивания выводов;
- обеспечения необходимого монтажного расстояния между выводами;
- соблюдения зазора между платой и компонентом;
- фиксации компонентов в местах их установки.

Формовку круглых или ленточных выводов производят с помощью ручного монтажного инструмента либо на специальных полуавтоматических устройствах таким образом, чтобы исключить механические нагрузки на места крепления их к корпусу. При формовке выводов не допускается их механическое повреждение, нарушение защитного покрытия, изгиб в местах соединения вывода и корпуса, скручивание относительно оси, растрескивание стеклянных изоляторов и пластмассовых корпусов, деформаций и утолщений, превышающих 10 % диаметра, ширины либо толщины вывода.

Основные ограничения (рис. 15.1) накладываются на размер (I) от корпуса электронного компонента до оси изгиба вывода и внутренний радиус изгиба (***R***). Минимальный размер ***L*** зависит от типа радиоэлемента, а радиус *R* — от диаметра вывода.

Расстояние от корпуса элемента до центра радиуса изгиба L, мм, не менее:

- для полупроводниковых приборов — 2;
- для резисторов и конденсаторов при диаметре (толщине) вывода до 1 мм включительно — 1;

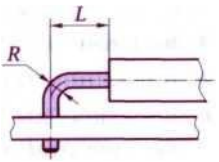


Рис. 15.1. Формование выводов элементов

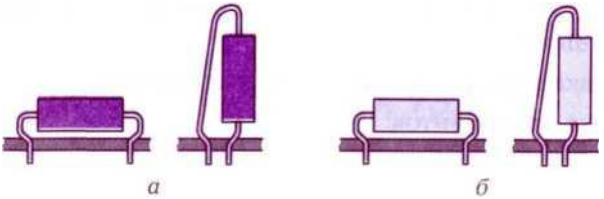


Рис. 15.2. Установка и фиксация на плате электронных компонентов:

а — с помощью зазора между ПП и компонентом [опорный зиг); б — самофиксацией (замок)

- для резисторов и конденсаторов при диаметре (толщине) вывода более 1,5;
- для дросселей — 5.

Радиус изгиба R, мм, не менее:

- при диаметре (толщине) вывода до 0,5 мм включительно — 0,5;
- свыше 0,5 до 1 мм включительно — 1;
- при диаметре (толщине) вывода более 1 до 1,5 мм включительно — 1,5;
- при диаметре (толщине) вывода более 1,5 мм — 1 —1,5 диаметра вывода.

Не допускается изгиб жестких выводов (лепестков) транзисторов и диодов средней и большой мощности, так как это может привести к растрескиванию их стеклянных изоляторов и нарушению герметичности корпуса. Расстояние от корпуса до места пайки должно быть не менее 2,5 мм, если не приняты меры к дополнительному теплоотводу в процессе пайки.

Для ***УСТАНОВКИ И ФИКСАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЛАТЕ*** в отверстиях используется несколько способов. Зазор и фиксация в отверстии обычно обеспечивается приданием выводам компонентов соответствующего изгиба, так называемого «опорного зига» (рис. 15.2, а), или самофиксация электронного компонента на печатной плате (ПП) перед групповой пайкой — особым изгибом части вывода, входящей в отверстие, — «замка» (рис. 15.2, ***б].*** Одновременное выполнение зига и замка носит название «зиг-замок».

Кроме того, крепление может быть выполнено:

- винтами и саморезами;
- пружинистыми выводами;
- посадкой на клей (клей полимеризуется при комнатной температуре, при этом для стеклянного корпуса может понадобиться

надевание трубки на часть корпуса, контактирующую с адгезивом; кроме того, необходимо обеспечить достаточное число клеевых точек для крепления тяжелых компонентов);

- подпайкой выводов (применяется при ручном монтаже, например подпайка двух диагонально расположенных выводов разъема).

Тяжелые элементы, например трансформаторы или элементы, подверженные механическим воздействиям (тумблеры, потенциометры, подстроечные конденсаторы) и некоторые типы конденсаторов, устанавливают с помощью особых держателей — «корзинок». Такие держатели обеспечивают надежное механическое крепление соответствующих элементов к плате и предотвращают обрыв и поломку выводов под воздействием механических нагрузок.

Сам процесс установки компонентов осуществляют с применением специальных монтажных автоматов на автоматизированных рабочих местах (АРМ) либо вручную.

Существуют два основных вида автоматизированного оборудования, отличающегося по типу выполняемых функций:

- собственно монтажные автоматы, осуществляющие вставку штырьковых выводов компонентов в отверстия на плате, их подрезку и подгибку с обратной стороны ПП с помощью соответственно монтажных, гибочных и отрезных головок;
- секвенсоры — автоматы, формирующие последовательность устанавливаемых электронных компонентов, т. е. подготовку программной ленты, содержащей последовательно вклеенные элементы разных типоразмеров в порядке их монтажа.

Для оснащения автоматов используют загрузочные устройства (питатели):

- ленточные для электронных компонентов (ЭК) с радиальными и осевыми выводами — предназначены для пошаговой подачи электронных элементов, вклеенных в ленту; лента может быть намотана на бобину или упакована в «магазин»-коробку;
- из трубчатых кассет для интегральных схем в DIP-корпусе, компонентов сложной формы — с наклонным транспортным лотком и горизонтальные (для ЭК, которые не скользят свободно по наклонному лотку вследствие своих конструктивных особенностей — массы, формы корпуса либо выступающих острых выводов);
- вибробункерные для подачи различных компонентов из россыпи с возможностью их одновременной ориентации перед захватом;

При технологии монтажа в отверстия преимущественно применяют два метода пайки: пайка волной и селективная.

Пайка волной припоя — наиболее распространенный метод промышленной пайки. Он применяется как для изделий на основе штырьковых компонентов, так и в случае смешанного монтажа, когда на плате одновременно монтируют выводные и SMD-компоненты. В процессе пайки плату устанавливают на конвейер. Плата последовательно проходит несколько рабочих зон паяльной установки: флюсования, предварительного нагрева, пайки, снятия перемычек. Особое влияние на процесс пайки оказывают:

- угол наклона конвейера;
- скорость движения конвейера;
- тип применяемого флюса и его плотность;
- толщина слоя флюса и равномерность его нанесения;
- температура и скорость предварительного нагрева;
- тип применяемого припоя и степень его чистоты (отсутствие примесей);
- температура припоя;

я форма, высота и стабильность волны припоя;

- параметры атмосферы (температура и относительная влажность воздуха) при пайке и степень ее чистоты.

Флюс удаляет оксидные пленки с паяемых поверхностей, улучшает смачивающую способность припоя и предотвращает окисление соединяемых поверхностей до начала пайки. Применяются флюсы на водной и канифольной основе, в том числе не требующие отмывки, а также водосмываемые флюсы. Флюсование выполняют одним из двух способов: распылением и с помощью пенообразователя.

Распыление флюса осуществляют с помощью вращающегося сетчатого барабана, при этом поток сжатого воздуха, пропущенного через его сетку, создает мелкодисперсную струю жидкого флюса. Слой наносимого флюса должен быть равномерным и иметь толщину 1 —10 мкм в сухом состоянии.

Пенное флюсование выполняются с помощью фильтрующих элементов — трубчатых фильтров с диаметром пор около 3—35 мкм, которые образуют однородную пену, состоящую из пузырьков малого диаметра. Пена направляется на плату через сопло. Пузырьки, лопаясь, разбрызгивают флюс по нижней поверхности печатных плат.

Зона флюсования ограничивается устройством «воздушного ножа», служащим для удаления избытка флюса с поверхности ПП. Предварительный нагрев с использованием конвекционных систем служит для предотвращения теплового удара платы и электронных компонентов в результате контакта с волной горячего припоя, а также для сушки (удаления растворителя) и активации флюса.

Плата с установленными компонентами вводится в зону пайки, где в ванне с применением помпы формируют волну расплавленного припоя. Платы устанавливают либо на пальчики (лепестки) конвейера, как правило, выполненные из титана, либо крепят в паллетах — механических основаниях с лейками. Конвейер обладает возможностью регулировки скорости движения (0 — 2 м/мин) и утла наклона ПП по отношению к волне, равного 5 — 9°, что важно для обеспечения стекания избыточного количества припоя. Потоком нагнетаемого воздуха создается несимметричная Q-образная волна. Форма волны припоя может быть различной в зависимости от применяемой модели оборудования.

Как и зона предварительного нагрева, зона пайки так же ограничивается «воздушным ножом», удаляющим излишки припоя и разрушающим перемычки. Пайку волной проводят в среде инертного газа для уменьшения окисления припоя и флюса и получения более блестящих и ярких паяных соединений.

Селективную пайку выполняют с использованием аналоговых и цифровых паяльных станций и электрических паяльников.

Подготовленные поверхности покрывают флюсом непосредственно перед пайкой. При пайке жидкий припой замещает флюс и взаимодействует с основным металлом. Слой припоя постепенно увеличивается и при прекращении нагрева затвердевает.
В процессе пайки крайне важно выдерживать необходимую температуру. Пониженная температура приводит к недостаточной жидкотекучести припоя и плохому смачиванию соединяемых поверхностей. Значительное увеличение температуры вызывает обугливание флюса до активации им поверхностей спая. Необходимо помнить, что температура жала паяльника, выставленная на паяльной станции, всегда выше реальной температуры пайки, что обусловлено теплоемкостью элементов, участвующих в образовании паяного соединения (сам компонент, его выводы, проводники и т.д.).

Преимущественными характеристиками паяльной станции при селективном способе пайки являются:

- быстрый нагрев жала до рабочей температуры;

- точный контроль температуры жала с максимальной частотой (вследствие конструктивных особенностей сочленения нагревателя и жала, расположения термопар и других причин заданная температура жала может отличаться от реальной);
- автоматическая калибровка станции при смене жала либо паяльника.

Для пайки обычно используют жидкий флюс и проволочный припой. Флюс наносят кистью или распылением в места пайки. Для пайки в труднодоступных местах, а также для ремонта ПП и других радиоэлектронных элементов применяют трубчатые припои с несколькими каналами флюса внутри.

В типовой технологический процесс пайки навесных элементов входят:

- очистка жала паяльника, его облуживание;
- установка температуры жала паяльника;
- период выдержки, в процессе которого происходит нагрев жала паяльника до необходимой температуры;
- приведение жала в контакт с контактной площадкой (ПП) и выводом электронного компонента для обеспечения их прогрева;
- подача прутка припоя к паяному соединению с образованием связи между выводом и КП (не следует подавать припой непосредственно на жало паяльника во избежание преждевременного выгорания флюса);
- охват припоем вывода по кругу на 360°.

Процесс пайки одного соединения определяется требованиями к технологическим процессам производства элементов и составляет от 2 до 5 с.

Готовое паяное соединение должно удовлетворять требованиям стандартов.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ

Технология поверхностного монтажа, также называемая ТМП (технология монтажа на поверхность), SMT (surface mount technology — технология поверхностного монтажа) или SMD-технология (от англ, ***surface mount device*** — прибор, монтируемый на поверхность), является наиболее распространенным методом монтажа электронных узлов на печатных платах в условиях пространственной ограниченности и малых размеров. Достоинства

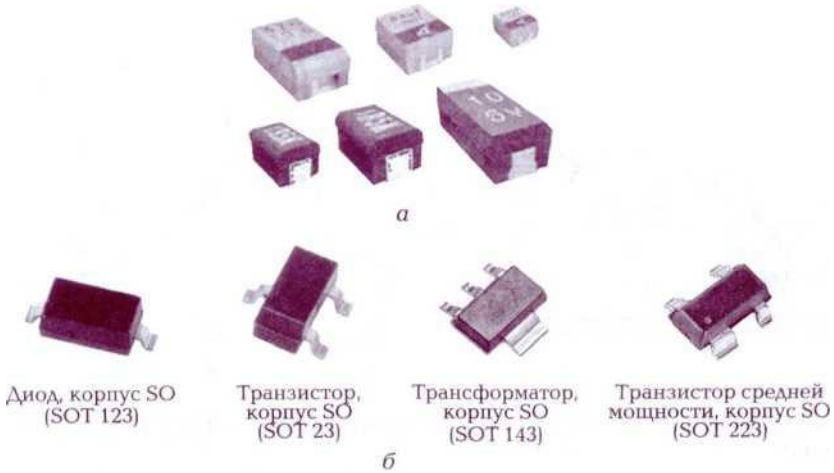


Рис. 15.3. Внешний вид элементов поверхностного монтажа SMD:
а – корпуса диодов, стабилитронов, конденсаторов, резисторов и индуктивностей;

технологии поверхностного монтажа печатных плат определяются особенностями элементной базы, методов конструирования и технологических приемов.

Электронные компоненты поверхностного монтажа имеют значительно меньшие размеры по сравнению с компонентами, монтируемыми в отверстия, существенно меньший шаг выводов благодаря отсутствию отверстий в плате. Корпуса компонентов содержат контактные поверхности, заменяющие выводы (рис. 15.3).

Технология поверхностного монтажа позволяет устанавливать компоненты с обеих сторон печатной платы, что уменьшает ее площадь и габариты печатного узла. За счет уменьшения длины выводов и более плотной компоновки значительно улучшается качество передачи слабых и высокочастотных сигналов.

Отсутствие необходимости подготовки выводов, возможность фиксации компонентов паяльной пастой или клеем и способность к самовыравниванию компонентов при пайке позволяют применять автоматическое технологическое оборудование с высокой производительностью.

В технологии поверхностного монтажа, как правило, применяют два метода пайки: пайку оплавлением припойной пасты и пайку волной. ***В*** зависимости от применяемого метода последовательность операций различна. Для SMD-технологий применяют как

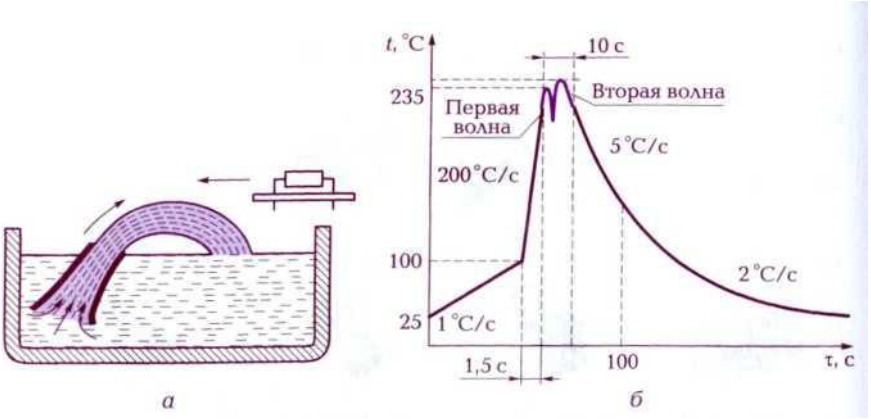


Рис. 15.4. Вид волны (а) и температурный профиль двойной волны припоя *[б]*

разновидность пайку двойной волной. Первая волна является узкой, подается из сопла под большим давлением и имеет турбулентный характер. Ее задача — обеспечить смачивание выводов. Вторая волна — ламинарная, ее скорость истечения ниже; она разрушает перемычки, образованные первой волной, и завершает формирование паяных соединений.

Пример температурного профиля пайки ПП двойной волной и ее внешний вид показаны на рис. 15.4.

Типичный технологический процесс пайки волной состоит из следующих этапов.

Этап 1. ***Нанесение клея.*** Клей с помощью ручного или автоматического дозатора из специальных шприцов наносят в область расположения компонентов, монтируемых на поверхность, таким образом, чтобы обеспечить приклейку компонента к плате. Клей, как правило, наносят по одной или по две капли, образующие «седло», на компонент. Установка компонентов на клей необходима для их фиксации, в противном случае они могут быть смыты волной припоя. Точность установки компонентов при использовании клея должна быть высокой, поскольку они быстро фиксируются. Полимеризация клея завершает процесс фиксации компонентов; проводят ее в сушильных шкафах при повышенной температуре.

Этап 2. ***Нанесение флюса.*** Флюс наносят на поверхность платы со стороны пайки, т. е. с той стороны, на которую установлены поверхностно монтируемые компоненты. Флюс в жидком состоянии распыляют на поверхность платы.

Этап 3. ***Проведение пайки.*** Плату устанавливают компонентами к волне припоя. Волна «омывает» плату, создавая паяные соединения на контактных площадках и местах нанесения флюса. Компоненты, предназначенные для монтажа на поверхность, должны выдерживать воздействие волны припоя в течение нескольких секунд, так как волна проходит непосредственно по их корпусам.

Этап 4. ***Снятие перемычек.*** При пайке волной неизбежно появление перемычек между контактными площадками, близко расположенными друг к другу, поэтому после прохождения волны потоком горячего воздуха перемычки разрушаются.

Недостаток волнового метода очевиден; компоненты поверхностного монтажа подвергаются серьезному термическому воздействию, что приводит к разрушению их корпусов. Кроме того, часть выводов «затеняется» и возникают непропаи.

Увеличение числа элементов, монтируемых на поверхность, дает преимущество методу ***пайки оплавлением*** перед другими методами. Она основана на применении специального технологического материала — паяльной пасты, которая содержит три основных составляющих: припой, флюс (активаторы) и органические наполнители. Припой в паяльной пасте содержится в виде частиц, имеющих форму шариков. Размер шариков составляет несколько десятков микрометров, в основном 20 — 25 мкм. Форма шариков наиболее оптимальна с точки зрения нанесения пасты, так как они легко проходят через отверстия трафаретов и иглы дозаторов, что создает условия для минимального износа оснастки. Кроме того, шарик, имея минимальную площадь поверхности при заданном объеме, обладает наилучшими характеристиками по защите от окисления. Размер шариков влияет на так называемую разрешающую способность пасты, т. е. минимальный диаметр отверстия трафарета, которая должна быть примерно в 5 раз больше среднего диаметра шарика в пасте. Состав припойного сплава, применяемого в пастах, такой же, как и при других методах пайки. Обычно это сплав олово — свинец, либо олово — серебро и медь при бессвинцовой технологии.

Наличие флюса АТИ в паяльной пасте является преимуществом метода оплавления перед другими технологиями пайки, поскольку позволяет отказаться от операции нанесения флюса. В бессвинцовой технологии из-за худшего смачивания поверхностей припоем применяют более активные флюсы. Органические наполнители вводят в состав паяльных паст для регулирования их свойств, таких, как тиксотропность — увеличение текучести пасты под

давлением и перемешиванием) холодная и горячая осадка, клейкость и др. При прохождении через апертуры (отверстия) трафарета или иглу дозатора вязкость пасты уменьшается, а после нанесения пасты — увеличивается, что позволяет зафиксировать форму отпечатка.

Как уже было отмечено, паяльная паста наносится на контактные площадки либо с помощью дозатора (шприца), либо через трафарет. Объем пасты зависит от конструкции конкретного компонента и размера контактной площадки. Использование дозатора — более гибкий, но менее точный и производительный метод, обычно применяющийся в мелкосерийном производстве. Пасты для дозирования поставляются в стандартных шприцах, на которые устанавливают иглы различного диаметра. Дозирование пасты также можно производить вручную либо на автоматическом оборудовании.

Трафаретная печать — наиболее распространенный метод нанесения пасты в серийном производстве. Паста наносится путем продавливания ее ракелем через апертуры в металлическом трафарете. Трафарет (рис. 15.5) изготовляют из нержавеющей стали методом лазерной резки.

Трафаретную печать выполняют на автоматах, полуавтоматах и вручную.

В автоматах установку компонентов осуществляют, как правило, по программе из стандартных упаковок компонентов, поставляемых заводом-изготовителем. При единичном и мелкосерийном производстве применяют ручную установку компонентов с помощью вакуумного пинцета или манипулятора — каждый компонент захватывается вакуумной головкой. При установке SMD-компонентов в корпусах марки 0402 (резисторы, конденсаторы,

Рис. 15.5. Трафарет для нанесения паяльной пасты

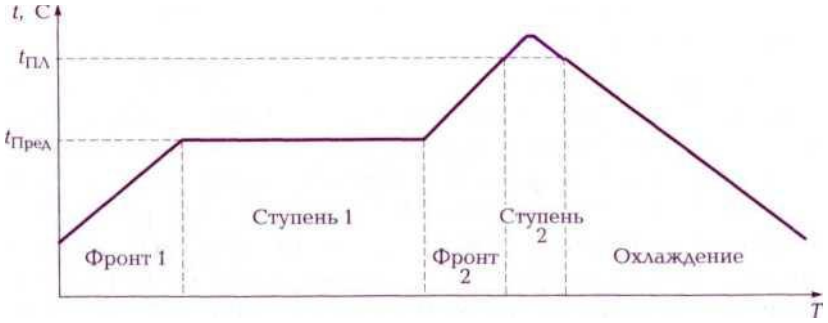


Рис. 15.6. Типичный температурный профиль пайки оплавлением

диоды), микросхем с шагом выводов до 0,8 мм допускается неточное совпадение контактной поверхности компонента с контактной площадкой — она может иметь смещение и разворот на угол до 20°. Более высокой точности не требуется, поскольку при оплавлении силы поверхностного натяжения пасты центрируют компонент. Установка компонентов с более мелким шагом и корпусом марки 0201 без применения автомата весьма сложна, а компонентов с матричными выводами BGA (выводы находятся под корпусом микросхемы) — практически невозможна. Компоненты к плате не приклеиваются.

Процесс оплавления припоя, содержащегося в паяльной пасте, выполняют в печах путем нагрева печатной платы с компонентами. Нагрев может осуществляться различными способами: инфракрасным (ИК), конвекционным и в паровой фазе. ИК-способ используют в комбинации с конвекцией. Конвекционная пайка осуществляется с помощью потока горячего воздуха или азота. Печи, предназначенные для серийного производства, позволяют получить достаточно равномерный нагрев. Имея возможность применить в процессе пайки азот, можно получить более качественные паяные соединения.

Пайку оплавлением выполняют путем изменения температуры по заданному закону, называемому температурным профилем пайки (рис. 15.6). Профиль состоит из следующих участков:

- участок постепенного нагрева с заданной скоростью до температуры предварительного нагрева (первый фронт);
- участок выдержки (первая ступень);
- участок нагрева до пиковой температуры (второй фронт), превышающей температуру плавления припоя;

асток продолжительной выдержки (вторая ступень) и охлаждения с заданной скоростью.

Если нагрев будет слишком быстрым, это может привести к повреждению платы или ее компонентов. Если нагрев слишком медленный, это необоснованно удлиняет операционный цикл пайки.

Формирование профиля осуществляют одним из двух способов: либо плату помещают в камеру печи, температура в которой изменяется по заданному закону (камерные печи), либо плату перемещают на конвейере через несколько камер (зон) печи с постоянными температурами (конвейерные печи). После операции пайки, в зависимости от типа применяемой пасты, плату отмывают и сушат.

Пайка в паровой фазе (конденсационная пайка) подходит для всех типов SMD-компонентов и материалов. Физические принципы процесса, которые заключаются в передаче тепла за счет конденсации пара на плате, позволяют паять изделия без длительного и сложного процесса подбора термопрофилей. Источником образования пара является химически инертная, безвредная, не вызывающая коррозии жидкость, которая может сочетаться с любыми материалами. Температура кипения такой жидкости составляет 200 °С при использовании свинцовосодержащих припоев, или 230 °С при использовании бессвинцовых припоев. Как только изделие попадает в камеру пайки, на нем начинает конденсироваться пар, передавая изделию теплоту. Независимо от времени нахождения изделия в камере пайки его температура никогда не превысит температуру пара. Пайка в паровой фазе позволяет паять изделия любой сложности, начиная от гибких печатных плат и заканчивая сложными многослойными платами, в том числе на алюминиевом основании. Пайка в паровой фазе имеет ограничения из-за быстрого разогрева поверхности элементов и их возможного разрушения.

Для технологии поверхностного монтажа в особых случаях (пайка микросхем БИС и СБИС с высокой точностью) используют селективные виды пайки — лазером, горячим газом и инфракрасном нагревом.

Лазерная пайка обеспечивает локальную передачу теплоты к месту пайки. Оптическое излучение в диапазоне длин волн 0,7 — 10,6 мкм, генерируемое лазером, является источником бесконтактного нагрева. Пайка лазерным излучением не требует вакуума и позволяет соединять изделия из элементов разной толщины. В процессах пайки используют как непрерывное, так и импульсное лазерное излучение.

При пайке микросхем важно одновременно нагревать большое число контактов. В этом случае по лазерной технологии создают световую линию, которая проходит вдоль расположения выводов. Форма такого луча и обеспечение постоянства рабочего расстояния от инструмента до детали происходит за счет перемещения цилиндрических линз или зеркал лазерного блока. В качестве источников излучения используют диодные лазеры мощностью 60 Вт, которые создают световую линию длиной 52 и шириной 2,2 мм. Для качественной пайки микросхем необходимо обеспечить плотность потока излучения 1,95 — 2 Дж/мм^2. Процесс пайки может быть легко автоматизирован путем применения координатного стола и системы ЧПУ, осуществляющей управление столом и мощностью излучения. Лазерное излучение не влияет на электроизоляционные свойства диэлектриков, если средняя плотность потока не превышает 2,8 Дж/мм^2.

Для низкотемпературной пайки используют многоточечные установки (пайка одним лазером, но несколькими лучами сразу) с голографическим делением луча (рис. 15.7). В этом случае луч лазера, генерируемый лазерным генератором ***1,*** с помощью специальной оптики (компоненты 2 и 3) сначала расширяется до значительного диаметра, а затем направляется как плоскопараллельный поток на голограмму. Отражаясь от плоского зеркала 4, лучи направляются на участки пайки с высокой степенью локальности. Для каждого процесса пайки необходима специальная голограмма, содержащая информацию о том, на какое количество элементарных лучей должен быть разложен пучок и в каких

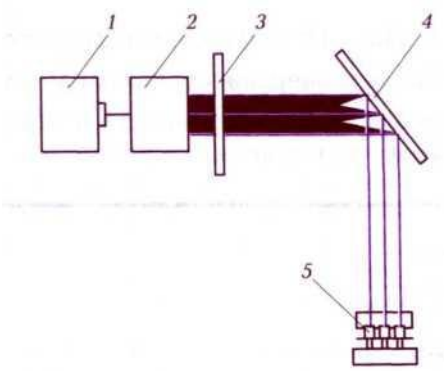


Рис. 15.7. Схема лазерной пайки с голографическим делением луча:
1 — лазерный генератор; 2 — лазерный коллектор; 3 — фокусирующая оптика; 4 — плоское зеркало; 5 — место пайки

точках сфокусирован каждый из них. Для пайки легкоплавкими припоями в одной точке достаточна мощность 5 Вт, выделяемая в зоне протекания процесса. Одним импульсом промышленного лазера мощностью 20 — 50 Вт можно осуществлять пайку одновременно в нескольких точках.

При пайке ***ГОРЯЧИМ ГАЗОМ*** используют паяльный фен (термофен, термовоздушный паяльник), о котором упоминалось в гл. 12. Мощность паяльного фена достигает 700 Вт.

Электрическим током нагревается спираль, и нагретый таким образом воздух с помощью встроенной турбины через сопло выбрасывается наружу. Внешнему виду сопла придают форму, повторяющую структуру паяемых выводов. Как правило, такие станции имеют аналоговое или цифровое контрольное устройство, с помощью которого регулируют температуру разогретого воздуха и скорость его потока.

Пайку горячим воздухом используют для элементов, склонных к повреждению статическим электричеством. Наиболее широко паяльные фены применяют для демонтажа элементов, особенно многовыводных микросхем.

В технологии пайки с помощью ***ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА*** (ИК-нагрев) в качестве источников ИК-энергии (рис. 15.8) используют галогенные кварцевые лампы мощностью 500 — 2 000 Вт, имеющие вольфрамовую спираль с рабочей температурой порядка 3 000 °С и сроком службы 2 000 — 5 000 ч. Широкое применение получили два вида ИК-нагрева: локальный сфокусированный и прецизионный рассеянный. Для локального нагрева целесообразны отражатели эллиптической формы, для прецизионного нагрева — параболические.

К достоинствам пайки ИК-излучением следует отнести:

- бесконтактный подвод энергии к паяемым деталям;
- точную регулировку продолжительности и температуры нагрева, локальность нагрева в зоне пайки. Кроме того, ИФ-излучение

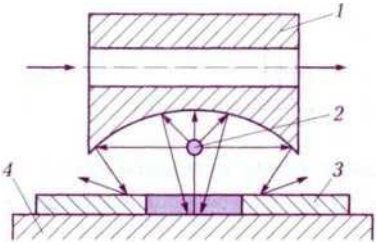


Рис. 15.8. Схема ИК-нагрева:

7 – рефлектор: *3* – источник инфракрасного излучения; *3* – маска; 4 – деталь для пайки

концентрируется на блестящих поверхностях выводов электронных элементов, при этом корпуса элементов остаются холодными.

Недостатки процесса пайки ИК-излучением — затруднение при пайке с флюсом, так как ее испарения загрязняют лампы и рефлекторы.

Селективную (ручную) пайку выполняют обычными электрическими паяльниками.

После завершения пайки платы подвергают операции ***отмывки*** от остатков флюса, шлаков и загрязнений.

Основная отмывка печатных плат в типовом технологическом процессе позиционирует, как правило, по завершении контроля качества пайки и до нанесения защитного покрытия на поверхность платы с установленными на нее компонентами. Необходимость основной отмывки обусловливается высокими требованиями к чистоте поверхности перед нанесением влаго- и электроизоляционных покрытий. Удалению с поверхности платы подлежат: пыль, грязь, частицы диэлектриков и металлов, жировые отложения, масла, парафины, остатки компаундов, органические и неорганические кислоты, компоненты флюсов. Особо следует уделять внимание удалению остатков флюса. Выбор моющего средства (среды) определяют составом и свойствами загрязнений, подлежащих смывке и последующему удалению. Основные группы загрязнений на печатных платах и средства для их удаления приведены в таб. 15.1.

Таблица 15.1. Виды загрязнений плат, способы и средства отмывки их после пайки

Виды загрязнений и характер их возникновения	Состав загрязнений	Средства для отмывки
Нейтральные компоненты, появившиеся в процессе производства и монтажа	Пыль, грязь; масла, жиры, парафины; нерастворимые твердые компоненты флюсов; металлические и неметаллические частицы и элементы	Бензин
Ионогенные компоненты, осевшие на поверхности платы и на монтируемых элемен-	Кислоты, активаторы флюсов; минеральные соли; оксидные и сульфидные пленки	Отмывочные жидкости с поверхностно-активными веще-

Окончание табл. 15.1

Виды загрязнений и характер их возникновения	Состав загрязнений	Средства для отмывки
тах в процессе монтажа, пайки и работы флюсов	с контактных площадок и выводов монтируемых компонентов	ствами (ПАВ) на водной основе
Отработанные и непрореагировавшие составляющие флюсов, компоненты оборудования, контактировавшие с клеями, компаундами и паяльными пастами	Органические кислоты; канифоль и активаторы из состава флюсов; продукты разложения флюсов; остатки компаундов, клеев, паяльных паст	Отмывочные жидкости на спиртовой основе

Смешанную технологию монтажа применяют при одновременном использовании компонентов SMD и выводных элементов. Как правило, монтаж выполняют на двухсторонних платах с обязательным креплением SMD-компонентов с помощью клея с обратной стороны платы. Используемый способ пайки — пайка волной, или селективная пайка.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6. Какие технологии используют при создании электронных узлов на печатных платах?
7. Каковы особенности технологии навесного монтажа?
8. Назовите требования к подготовке элементов для навесного монтажа.
9. В чем суть крепления элементов на плате методом зига?
10. Какова технология пайки элементов плат волной припоя? Как широко применяется эта технология?
11. Каковы особенности поверхностного монтажа и способы пайки поверхностно-монтируемых компонентов?

Глава 16

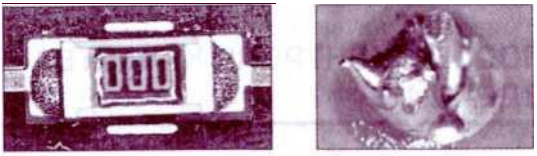
16.1. ВИДЫ ДЕФЕКТОВ

В целях унификации паяных сборочных единиц, установления норм и требований к паяным изделиям необходимо руководствоваться ГОСТ 19249 — 73 «Соединения паяные. Основные типы и параметры». Стандарт определяет конструктивные параметры паяного соединения, условные обозначения, содержит классификацию основных типов соединений.

Качество паяных изделий определяется их прочностью, степенью работоспособности, надежностью, коррозионной стойкостью, способностью обеспечивать специальные функции (теплопроводность, электропроводность, коммутационные характеристики и т. п.). Дефекты, возникающие при изготовлении паяных изделий, можно подразделить на дефекты заготовки и сборки, дефекты паяных соединений и паяемых изделий.

К наиболее типичным дефектам паяных соединений относят (рис. 16.1):

- поры;
- раковины;
- шлаковые и флюсовые включения;
- непропаи;
- трещины.



а *б*

Рис. 16.1. Дефекты пайки плат и других радиоэлектронных элементов: а — поры и раковины; б – непропай

Эти дефекты связаны с неполным заполнением расплавом припоя зазора между деталями и с процессом охлаждения изделия. Большую группу дефектов составляют шлаковые и флюсовые включения.

Причиной образования «непропаев» (рис. 16.1, ***б)*** может явиться наличие «глухих», не имеющих выхода полостей, блокирование жидким припоем газа при неравномерном нагреве или местное отсутствие смачивания жидким припоем поверхности паяемого металла.

В процессе охлаждения соединения происходит выделение газов и образование рассеянной газовой пористости. Предварительная дегазация припоев и флюсов уменьшает этот дефект. Причиной образования пор в паяных швах может быть также заметное различие в коэффициентах диффузии.

Трещины в паяных швах могут возникать под действием деформаций металла изделия в процессе охлаждения. Принято различать холодные и горячие трещины. Холодные трещины образуются при температурах до 200 °С, горячие — при температуре выше 200 °С. Если в процессе кристаллизации скорость охлаждения высока и возникающие напряжения велики, появляются кристаллизационные трещины. Трещины в паяемом металле могут появиться так же в результате воздействия жидких припоев, вызывающих адсорбционное понижение прочности.

Неметаллические включения (флюсовые или шлаковые) возникают при недостаточно тщательной подготовке поверхности изделия к пайке или при нарушении ее режима. При слишком длительном нагреве под пайку флюс реагирует с паяемым металлом с образованием твердых остатков, которые плохо вытесняются из зазора припоем. Шлаковые включения могут образоваться так же из-за взаимодействия припоев и флюсов с кислородом воздуха. Шлаки также могут вноситься и при селективной пайке подготовленным без должного соблюдения требований жалом паяльника.

СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для оценки качества паяных изделий применяют разрушающие и неразрушающие методы. К неразрушающим методам относят следующие.

Технический осмотр изделия невооруженным глазом или с применением лупы позволяет проверить качество поверхности, заполнение зазоров припоем, полноту галтелей (наплывов припоя в месте пайки), наличие трещин и других наружных дефектов.

Радиационный (***радиографический***) ***контроль,*** область применения которого определяется ГОСТ 24715—81. Радиографический контроль применяют для определения внутренних дефектов в ответственных паяных изделиях, трещин в шве или паяемом металле, локального отсутствия припоя, пор и инородных включений. Один из вариантов радиационного контроля — радиоскопический метод позволяет наблюдать изображение контролируемого участка одновременно с просвечиванием.

Для получения изображения используют фотополупроводниковый слой из аморфного селена. Радиационный контроль применяют в производстве печатного монтажа. Плата подключается к источнику питания и работает в предусмотренном для нее режиме. Регистрацию дефектов осуществляют по изменению теплового поля, образующегося при прохождении электрического тока по соединениям. Метод обладает высокой чувствительностью (примерно 1 °С).

Акустический контроль основывается на способности ультразвуковых колебаний отражаться от поверхности внутренних неоднородностей материала. Этим методом выявляют трещины, поры, раковины, шлаковые включения, незаполнение шва припоем. Он эффективен для контроля дефектов, залегающих на глубине 3— 5 мм, не более.

При использовании ***магнитопорошкового метода*** частицы порошка, наносимые на изделие после намагничивания, оседают в местах дефектов. Магнитопорошковым методом выявляют дефекты с раскрытием шириной 1 —2,5 мкм, глубиной 25 мкм и длиной до 2,5 мм. Магнитный порошок наносят сухим и мокрым способом. При сухом методе в качестве магнитного порошка используют окалину железа (магнетит), измельченную до состояния пудры, при мокром — порошок наносят в виде суспензии (в воде, масле или керосине). Контроль методом намагничивания осуществляют, используя дефектоскопы.

При ***контроле течеисканием*** герметичность паяных изделий проверяют давлением жидкости или газа. При масс-спектрометрическом контроле (определение количества атомов вещества, просачивающихся через отверстия) в качестве пробных веществ применяют гелий; при галогенном методе контроля — фреон и другие газы.

Пузырьковый метод контроля основан на регистрации появления пузырьков пробного вещества в дефектных местах контролируемого изделия. При этом способе сторона контролируемого изделия, противоположная подаче давления воздуха, обмазывается пенообразующим веществом. В качестве простейшего пенообразующего вещества служит раствор мыла в воде. Пузырьковый метод контроля может производиться путем подачи газа в контролируемое изделие с последующим погружением его в жидкость. Дефектные места определяют по появлению пузырьков газа.

При ***разрушающих методах контроля*** паяных изделий испытанию до разрушения подвергают само изделие или образцы, взятые из партии изделия. Для выявления механических свойств паяных соединений проводят испытания образцов различными способами: растяжением, сжатием, изгибом, кручением и др. Тип и требования к разрушающим методам контроля определяются техническими условиями на паяное изделие.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6. При каких условиях возникает брак при пайке?
7. Приведите примеры брака при пайке.
8. Перечислите способы контроля за качеством пайки.
9. В чем заключается сущность пузырькового метода определения брака?
10. В чем заключается сущность разрушающих методов контроля качества пайки? Какова область их применения?

СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ

Глава 17
ТЕХНОЛОГИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

17.1. ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ

Производство радиоэлектронной аппаратуры и приборов состоит из технологических действий, трудоемкость которых может быть представлена в таком соотношении: механическая обработка — 8—15, сборка — 15 — 20, электрический монтаж — 40 — 60, наладка — 20 — 25 %.

Таким образом, сборочные операции являются одной из важнейших частей технологического процесса, при которых выполняется сочленение, соединение отдельных блоков и узлов, объединенных в одном корпусе в виде аппаратов и приборов для реализации потребительских функций и питающихся от электрической сети или адаптеров.

Технология сборки представляет собой совокупность технологических операций, как правило, состоящих из механического соединения деталей и электро- и радиоэлементов (ЭРЭ) в изделии или его части, выполняемых в определенной последовательности для обеспечения заданного их расположения и взаимодействия в соответствии с конструкторскими документами. Выбор последовательности операций сборочного процесса зависит от конструкции изделия и организации процесса производства. Конечным результатом сборки является товарный вид изделия. При сборочных операциях большое внимание должно быть уделено надежности сборочных единиц, повышению срока их службы и защите от внешних воздействий без утраты параметров и характеристик.

Рис. 17.1. Типовой технологический процесс сборки электронных устройств

Технологический процесс сборки радиоэлектронных устройств проиллюстрирован на рис. 17.1. Он включает в себя сборку несущего основания с применением разъемных и неразъемных соединений (панели, рамы, стойки) и электрический монтаж с помощью жгутов и кабелей. На его плоскостях согласно монтажной схеме укладывают жгуты, устанавливают соединители, контактные колодки. Жгут на каркасе крепят металлическими скобами с установкой под ними изоляционных трубок или прокладок из лакоткани. Расстояние между скобами (200 — 500 мм) зависит от диаметра жгута. Одновременно с укладкой жгута разводят концы одиночных проводов и кабелей к соответствующим контактам с последующей фиксацией их пайкой или накруткой.

В смонтированный каркас прибора последовательно вставляют отдельные блоки и соединяют их через соединители с остальными элементами схемы. После выполнения монтажных работ блок крепят на каркасе с помощью винтовых соединений. Заканчивают общую сборку закреплением регулировочных элементов, установкой кожухов и соединителей питания.

Технология сборки должна предусматривать, чтобы даже случайное неправильное обращение с изделием не могло вывести его из строя. Процесс сборки прибора должен обеспечивать защиту источника питания или усилителя от коротких замыканий нагрузки, исключение неправильного подключения кабелей при применении стыкующихся только друг с другом электрических соединителей. Сборка должна быть удобной, допускающей простоту раз-

борки, легкий доступ к узлам, требующим периодического технического обслуживания. На отдельных узлах и блоках должны быть выполнены поясняющие надписи, маркировки, способствующие правильному выполнению сборочно-разборочных операций. При сборке следует обращать внимание на обеспечение безопасной работы, даже если конструкторская документация не предусматривает это.

Изделие должно быть безопасным в эксплуатации, поэтому при монтаже следует исключить возможность прикосновения к его токоведущим частям, находящимся под напряжением, предусмотреть автоматическое отключение питания при открывании крышки устройства, использовать предупредительные надписи типа «Осторожно! Высокое напряжение!» или знаков «!» в желтом треугольнике на модулях с опасными напряжениями, исключить возгорание или взрыв устройства при возникновении отказа, например, применяя плавкие предохранители, не допустить воздействия на персонал опасных электромагнитных полей и иных неблагоприятных факторов.

Для обеспечения потребительских свойств собранного изделия следует выбирать материалы, обладающие оптимальным сочетанием физических и механических свойств, коррозионной стойкостью и технологичностью. Предпочтительнее использовать модульный принцип построения электронной аппаратуры, обеспечивающий возможность параллельного выполнения технологических операций сборки и наладки, взаимозаменяемость однотипных деталей и узлов, сборочных единиц.

Узлы и элементы, участвующие в сборочных операциях, называются ***СБОРОЧНЫМИ ЕДИНИЦАМИ,*** в качестве которых могут выступать: блоки, шасси (основание), модули и субмодули. К ним так же относятся:

зделия, конструкция которых позволяет разбирать их на составные части для удобства упаковки, транспортирования и проведение других операций с ними;

делия или совокупность изделий, имеющих общее функциональное назначение и совместно монтируемых с другой сборочной единицей.

Организационно процесс сборки может быть стационарным или подвижным, с концентрацией или разделением операций. При стационарной сборке собираемый объект неподвижен, а к нему подаются необходимые сборочные элементы. Подвижная сборка характеризуется тем, что сборочная единица перемещает-

ся по конвейеру вдоль рабочих мест, за каждым из которых закреплена определенная часть работы. Перемещение объекта сборки может быть свободным по мере выполнения закрепленной операции или принудительным в соответствии с ритмом производства.

ВИДЫ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

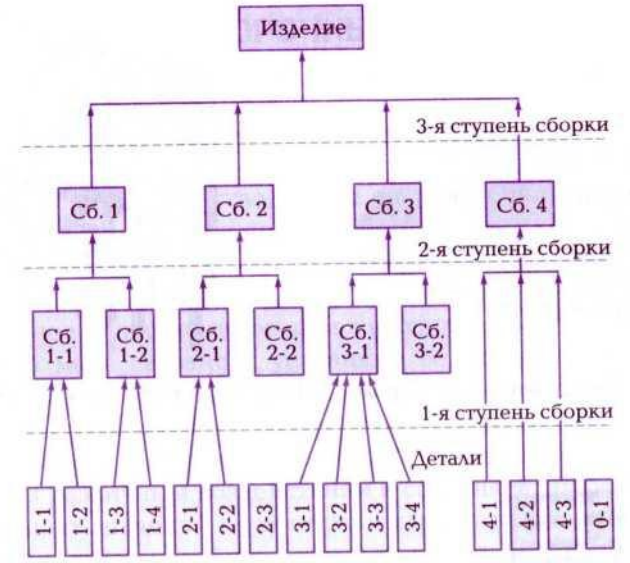
На практике применяют два вида схем сборки электронной аппаратуры (ЭА): веерная и с базовой деталью (рис. 17.2). Сборочные элементы на рис. 17.2 показаны в виде прямоугольников, в которых указаны номер по классификатору, позиционное обозначение и количество. Более трудоемкой, но наглядной и отражающей временную последовательность процесса сборки является схема с базовой деталью. За базовую деталь принимаются шасси, панель, плата или другая деталь, с которой начинается сборка.

Сборку с ***базовой деталью*** реализуют по принципу концентрации операций и выполняют на одном рабочем месте. При этом повышается точность, упрощается процесс нормирования. Однако малая производительность и высокая трудоемкость механизации сложных сборочно-монтажных операций определяют ее целесообразность лишь в условиях единичного и мелкосерийного производства. Установка на базовой детали модулей и узлов с выполнением одновременно электрических соединений достигается с помощью соединителей. Они обеспечивают быструю и легкую замену модулей и бывают прямого и косвенного назначения. Так, вилка соединителя прямого сочленения является частью печатной платы, на ней выполняют металлические контакты (печатные ламели) (рис. 17.3).

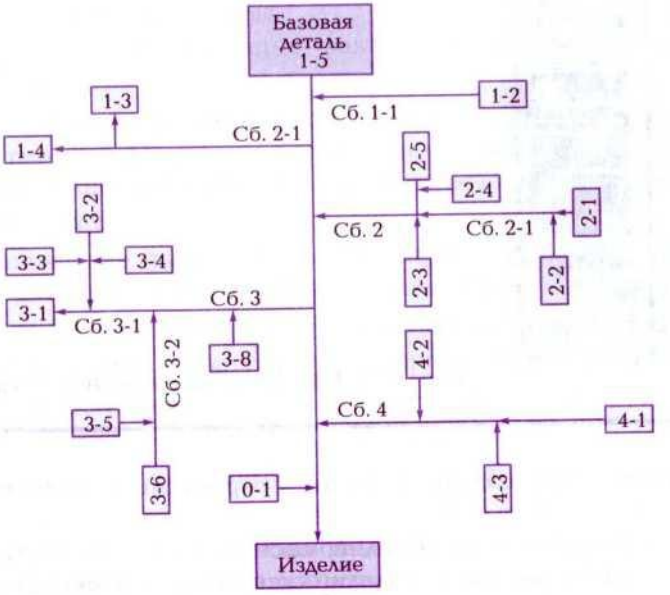
Розетка соединителя прямого сочленения бывает открытой и закрытой. Открытая конструкция позволяет устанавливать печатные платы с разным числом ламелей. Соответственно закрытые розетки подразумевают установку плат фиксированной длины (рис. 17.4).

Взаимная ориентация модулей обеспечивается «ключом», выполненным в виде ассиметричной перегородки или пазом. Фиксация модуля в розетке производится за счет пружинящего контакта.

Веерная сборка представляет собой разделенный во времени процесс и предполагает расчленение сборочно-монтажных работ на ряд последовательных простых операций. Это позволяет механизировать и автоматизировать работы, используя конвейер. Ве-



а



б

Рис. 17.2. Структура сборочных операций:
а _ веерная схема сборки; б – схема сборки с

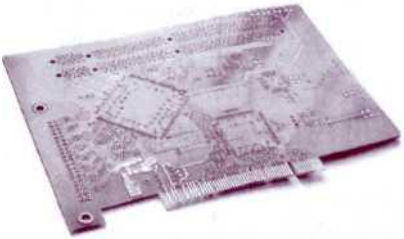


Рис. 17.3. Печатная плата с ламелями

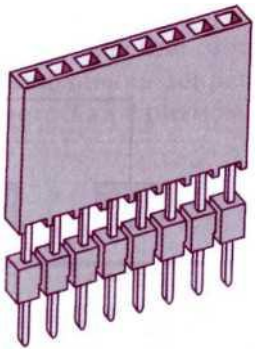


Рис. 17.4. Розетки и соединители

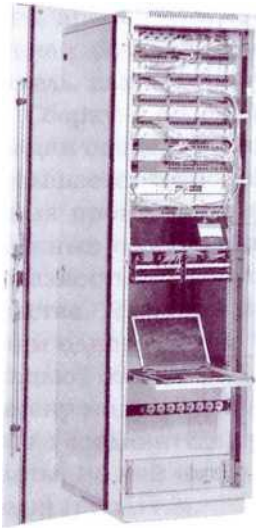


Рис. 17.5. Шкаф телекоммуникационный

ерная сборка эффективна в условиях серийного и массового производства.

Для сборки сложных изделий, состоящих из отдельных самостоятельных приборов и изделий, применяют ***БЛОЧНУЮ СБОРКУ.*** Она реализуется, например, для создания вычислительных комплексов, сетей, радиоприемных и передающих станций и т.д., связанных одной конструкцией для реализации одной конкретной задачи. Основным конструктивным элементом блока является каркас с монтажной панелью и соединителями (рис. 17.5).

11 ЗАЩИТА СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ И АППАРАТУРЫ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сборочное производство, кроме операций, рассмотренных ранее, включает в себя также операции по защите аппаратуры от различных воздействий, нарушающих работоспособность изделий.

Надежное функционирование электронной аппаратуры в значительной мере связано с условиями ее эксплуатации, которые могут изменяться в широких пределах. Эти условия определяются сочетанием ряда внешних воздействующих факторов.

Электронная аппаратура должна быть стойкой, устойчивой и прочной к различным воздействиям и сохранять при этом в пределах заданных значений параметры и характеристики. Под стойкостью понимается способность изделия сохранять работоспособное состояние во время и после воздействия определенного фактора в течение всего срока службы.

Внешние воздействующие факторы подразделяют на следующие классы:

- ▲ климатические (тепло и холод, относительная влажность воздуха, атмосферные осадки, роса и обледенение, атмосферное давление, солнечная радиация, коррозионные вещества в окружающей среде);
- ▲ механические (вибрация, механический удар, шум, механическое давление, крен, дифферент, сейсмическое воздействие);
- ▲ биологические (организмы и их сообщества, нарушающие функционирование аппаратуры, — бактерии, плесневые грибы);
- ▲ термические (тепловой удар, разогрев ионизирующим излучением, электрическим полем, ультразвуком);
- ▲ радиационные (ионизирующие излучения).

Один из широко применяемых способов защиты электронной аппаратуры — это использование ***защитных покрытий.*** Они защищают детали от коррозии, старения, высыхания, гниения и других процессов, вызывающих выход аппаратуры из строя.

По способу получения все покрытия подразделяют на металлические и неметаллические.

Металлические покрытия наносятся горячим способом — гальваническим или диффузионным.

К неметаллическим покрытиям относятся лаки, эмали, грунтовки и пластмассы.

В зависимости от степени чувствительности тех или иных элементов или узлов к воздействию агрессивной среды их защиту выполняют различными способами герметизации изоляционными материалами: пропиткой, заливкой, обволакиванием и опрессовкой.

Пропитка изделий состоит в заполнении имеющихся свободных каналов электроизоляционным материалом. Одновременно с заполнением каналов при пропитке на всех элементах конструкции образуется тонкий изоляционный слой, защищающий ее от воздействия агрессивной среды. Одновременно с защитными функциями пропиточный материал повышает электрическую прочность изделия, скрепляет механически его отдельные элементы, улучшает теплопроводность. Пропитку осуществляют погружением изделия в жидкий изоляционный материал. После извлечения материал отвердевает. При использовании полимеризующихся пропиточных материалов, например диметакрилового полиэфира, применяют химические ускорители (катализаторы).

При герметизации заливкой все свободные полости в изделии, в том числе и пространство между элементами и корпусом, заливают электроизоляционным материалом, который после отверждения образует достаточно толстый защитный слой.

Герметизация обволакиванием по технике исполнения аналогична операции пропитки, но при этом способе защиты используют вязкие изоляционные материалы, обладающие хорошей адгезией к элементам изделия.

Опрессовку (вакуумно-плотную герметизацию) выполняют неразъемными и разъемными швами. При неразъемных герметичных конструкциях швы герметизируют пайкой, сваркой, заливкой, склеиванием или замазкой специальными компаундами (герметиками). В разъемных герметичных конструкциях между соединяемыми деталями помещают эластичную прокладку, а в герметизируемый объем — влагопоглотитель, например силикагель.

Одной из важных сборочных операций является обеспечение эффективного теплоотвода. Отклонение температуры от усановленных диапазонов может привести к необратимым изменениям параметров компонентов. Так, повышенная температура снижает диэлектрические свойства материалов, ускоряет коррозию конструкционных и проводниковых материалов. При пониженной температуре затвердевают и растрескиваются резиновые детали, повышается хрупкость материалов. Перенос теплоты от нагретой

аппаратуры в окружающую среду осуществляется кондукцией, конвекцией и излучением.

Кондукция — процесс переноса тепловой энергии между находящимися в соприкосновении телами или частями тел за счет их теплопроводности. Количество теплоты, удаляемое при помощи кондукции, зависит от свойств материала, через который осуществляется теплопередача. Например, кондуктивная теплопередача хорошо осуществляется через металлы.

Для оценки теплопроводных свойств тех или иных веществ существует коэффициент теплопроводимости, который определяет склонность материала к пропуску потока тепла. Все металлы являются теплопроводниками, и в сборочных единицах ЭА их используют в качестве радиаторов. Лучшие показатели по теплопроводности имеют: медь, алюминий, цинк, магний и сталь. Радиаторы преимущественно изготовляют из алюминия.

Конвекция — перенос энергии макрочастицами газа или жидкости. При конвекционном отводе теплоты используют естественное, принудительное и водо-воздушное охлаждение. При естественном охлаждении (через отверстия в корпусе) элементы, выделяющие больше теплоты, располагают наверху или у стенок, а критичные к теплу — внизу с защитой тепловыми экранами. Принудительное воздушное охлаждение обеспечивается вентиляторами. Как правило, применяется приточная вентиляция с забором холодного воздуха из окружающей среды. Водо-воздушное охлаждение — разбрызгивание охлаждающей жидкости, используют при высокой плотности элементов. Этот метод применяется в основном при охлаждении мощных электронных ламп в металлическом корпусе и приборов СВЧ.

Перенос теплоты излучением происходит за счет превращения тепловой энергии в энергию излучения — лучистую энергию. Лучистая энергия распространяется по тем же законам, что и свет, т. е. прямолинейно по законам отражения и преломления. Использование теплоотвода лучистой энергией неэффективно при плотном расположении элементов. Для реализации этого метода тепловыделяющие элементы должны возвышаться над другими и иметь вокруг свободное пространство. Качество теплоотвода в этом случае определяется коэффициентом черноты. Наибольшим коэффициентом обладают матовые и эмалевые черные краски, а из металлов — сталь и дюралюминий. Использование вороненой (зачерненной) стали в качестве радиаторов и экранов и элементов монтажа позволяет резко увеличить охлаждение лучеиспусканием.

Защита аппаратуры от воздействия влажности актуальна при работе в условиях повышенной влажности. Для защиты применяют металлические, химические и лакокрасочные покрытия. Металлические покрытия образуют с основным материалом корпуса детали контактную пару. В зависимости от полярности потенциала различают покрытия анодные (отрицательный потенциал покрытия по отношению к основному металлу) и катодные (положительный потенциал покрытия). В качестве материалов покрытий наибольшее распространение получили никель, медь, цинк, кадмий, олово и серебро. Толщина покрытия выбирается в зависимости от материала и способа нанесения покрытия и обычно составляет 1 —15 мкм.

В целях защиты аппаратуры от коррозии используют лакокрасочные покрытия. Как недостаток этих покрытий следует отметить их низкую механическую прочность и термостойкость. Кроме того, они требуют высокой чистоты производственных процессов и усложняют замену деталей при ремонте ЭА. Лакокрасочные покрытия применяют для покрытия защитным слоем плат, каркасов, кожухов, лицевых панелей приборов и т. п. Толщина лакокрасочного покрытия колеблется от 20 до 200 мкм.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие требования предъявляются при выполнении сборочных операций?
- Что относится к сборочным единицам?
- Перечислите методы борьбы с внешними воздействиями на сборочные изделия.
- В чем особенности веерной сборки ЭА? В каких случаях она применяется?
- Опишите технологию сборки ЭА с базовой деталью. В каком случае ее применение наиболее оправданно?

Глава 18

СБОРКА СЛОЖНЫХ УЗЛОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

18.1. КОНСТРУКЦИЯ, СБОРКА И МОНТАЖ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

При сборке и монтаже источников питания (ИП) учитывают ряд факторов, определяемых условиями эксплуатации ЭА, свойствами нагрузки, требованиями к безопасности и т.д. Одними из важнейших параметров являются:

- параметры сетевого напряжения;
- потребляемый нагрузкой ток;
- требуемый уровень стабилизации напряжения питания;
- допустимый уровень пульсации напряжения питания.

По конструкции различают два вида источников питания:

- модульные, выполняемые в отдельном корпусе и на отдельном шасси, к которым потребители энергии (электронные схемы) подключаются через разъемы; их называют блоки питания (БП);
- внутрисхемные, выполняемые на одном шасси с основной платой и соединяемые с ней электрически проводниками; их называют источниками питания (ИП), но в некоторых источниках [13] их называют — вторичные блоки питания.

Главное назначение блоков и источников питания — вырабатывать стабилизированное постоянное напряжение. Существуют следующие основные способы схемной реализации этой задачи:

- бестрансформаторные, с гасящим резистором или конденсатором;
- линейные, выполненные по классической схеме: понижающий трансформатор — выпрямитель — фильтр — стабилизатор;
- вторичные импульсные: выпрямительный мост — фильтр — высокочастотный преобразователь с частотой 20 — 400 кГц — импульсный трансформатор — вторичные выпрямители.

Бестрансформаторные схемы используют при низкой требовательности нагрузки к стабильности напряжения и малом токе

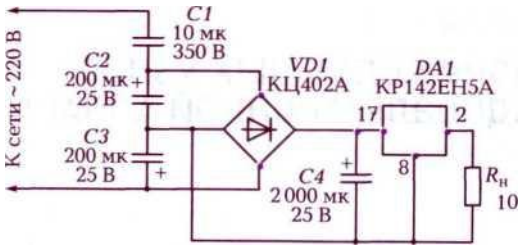


Рис. 18.1. Схема бестрансформаторного источника питания

потребления. Простейшая схема такого блока питания приведена на рис. 18.1. Особенность его сборки и монтажа определяется тем, что на входе этого блока используют гасящий конденсатор ***C1*** (бумажный или керамический), рассчитанный на напряжение сети 220 В, а также емкостный фильтр-делитель ***C2*** и ***C3.*** Емкость ***C1*** подбирают в зависимости от выделяющегося на нем напряжения на частоте 50 Гц; обратное рабочее напряжение конденсатора должно превышать сетевое напряжение как минимум в два раза. Во избежание утечек и разрядов на «ноги» конденсатора надевают керамические втулки. Использование интегрального регулятора — стабилизатора напряжения типа КР142ЕН5 (зарубежный аналог типа L7805) вместо компенсационного стабилизатора на дискретных элементах позволяет повысить эксплуатационные характеристики и значительно упростить схему. Эта отечественная микросхема так называемого нерегулируемого стабилизатора на 5 В выходного напряжения. На входе такой микросхемы может действовать напряжение от 15 до 20 В.

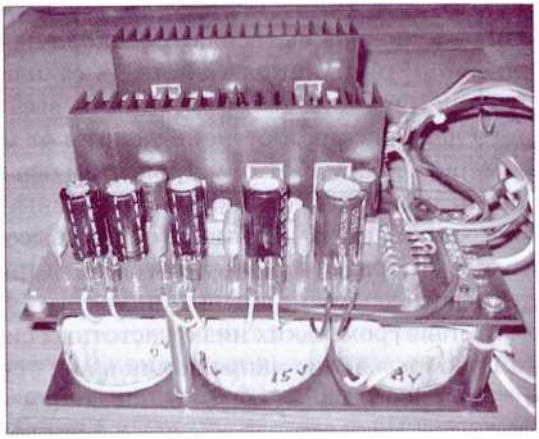
Линейные (***силовые***) БП используют для питания аппаратуры с большими токами потребления. При этом их коэффициент полезного действия значительно снижается при токах потребления более 1 А. Кроме того, существует большая зависимость коэффициента стабилизации колебания от изменения сетевого напряжения. Ограничивают их применение большие потери мощности из-за тепловыделения в обмотках силового трансформатора.

Внешний вид и простейшая схема БП линейного типа показаны на рис. 18.2.

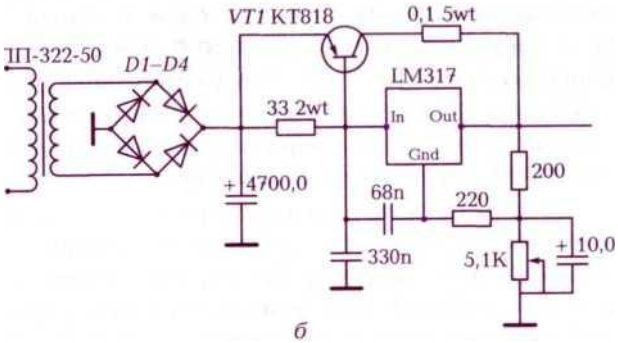
Особенностью линейного БП является использование мощного понижающего трансформатора с многочисленными вторичными обмотками или отдельных трансформаторов (рис. 18.2, а) на каждое значение требуемого напряжения питания. Потери полезной мощности в трансформаторе очень большие и, как следствие, это

ведет к перегреву обмоток как на холостом ходу (первичная обмотка), так и при больших нагрузках (вторичные обмотки). На выходе выпрямительного моста ***D1*** — ***D4*** устанавливают регулятор-стабилизатор на базе микросхемы LM317, которая отличается широким диапазоном выходных напряжений от 1,2 до 25 В, порог которого устанавливается резистором сопротивлением 5,1 кОм при входном напряжении 36 В. При больших нагрузках применяют стабилизатор компенсационного типа на дискретных элементах [36].

Использование мощного трансформатора, размеры которого зависят от потребляемой мощности, требует особого внимания к вибрации и механической прочности конструкции. Для уменьшения воздействия вибраций и ударов БП модульного исполнения



а



б

Рис. 18.2. Внешний вид линейного блока питания (а) и его принципиальная схема (б)

его устанавливают на амортизаторы или применяют демпфирующие материалы.

Для БП средней мощности (200 — 400 Вт) используют прочные стальные основания и балки. Для увеличения вибропрочности в конструкции отдельных элементов вводят дополнительные крепления, ребра и рельефы жесткости с высокими демпфирующими свойствами.

В линейных БП даже малой мощности большим тепловым нагрузкам подвергаются регуляторы напряжения и стабилизаторы, через которые протекают большие токи. В этом случае актуально использование эффективного охлаждения. Применяют системы естественного охлаждения рассеиванием лучистой энергии. Транзисторы и регуляторы устанавливают на радиаторы; в целях увеличения эффективной площади радиаторы имеют ребристую поверхность.

Линейные БП постепенно вытесняются ***вторичными импульсными преобразователями напряжения.*** Их отличают простота изготовления, экономичность, технологичность, высокая стабилизация выходного напряжения и степень защиты от повреждений, небольшие размеры и масса. К этим устройствам относят импульсные БП (для вычислительной техники) и импульсные ИП (для питания бытовой техники), выполненные на основе высокочастотного преобразователя с бестрансформаторным входом (рис. 18.3). Эти преобразователи, питаясь от промышленной сети -110/220 В, не имеют в своем составе громоздких низкочастотных силовых трансформаторов, а преобразование напряжения в них осуществляется высокочастотным преобразователем, работающем на частотах 20 — 400 кГц.

Принцип действия блока питания основан на следующих принципах. Напряжение сети 220 В выпрямляется мостом ***VD1*** — **VD4** (рис. 18.3) до амплитудного значения 310 В, которое выделяется на фильтрующем конденсаторе ***C2.*** Это напряжение поступает для питания полевого транзистора, работающего в режиме обратноходового ключа. Часть напряжения (через резистор ***R*** 7) запускает контроллер ШИМ 3842, импульсы которого появляются на его выходе 6 и поступают на затвор транзистора ***VT1.*** Транзистор усиливает их и в его нагрузке — в первичной обмотке импульсного трансформатора ***T1*** начинает протекать ток. После того, как импульсы запуска прекращают поступать, транзистор закрывается и в первичной обмотке трансформатора выделяется импульс напряжения, который через вторичные обмотки трансформатора (III, IV и V) поступает на вторичные выпрямители ***EL, E2*** и ***E3*** (диод —

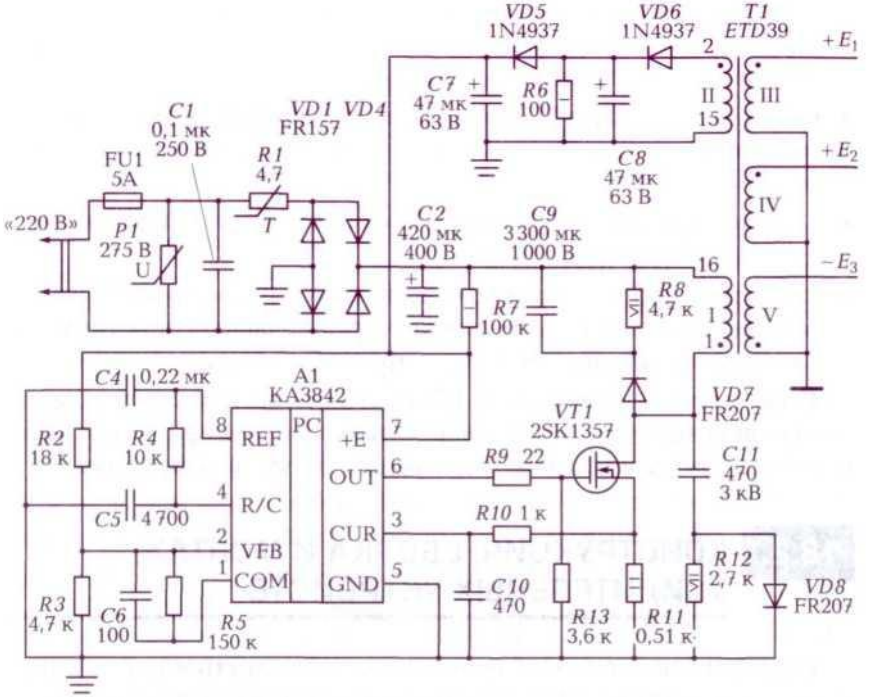


Рис. 18.3. Схема импульсного блока питания

электролитический конденсатор) для питания нагрузки. Этот процесс повторяется с частотой 30 — 400 кГц. При увеличении мощности, отдаваемой в нагрузку, частота повышается до 400 кГц. Контроллер ШИМ также является эффективным стабилизатором и выполняет функции защиты за счет обратных связей. Отсутствие мощных трансформаторов не требует защиты от вибраций и прочного шасси, а работа выходного транзистора в импульсном режиме значительно облегчает его тепловой режим. Поэтому радиатор, на котором располагается транзистор ***VT1,*** менее массивный, выполнен из достаточно тонкой алюминиевой пластины или вороненой стали.

Существенным недостатком вторичных импульсных преобразователей напряжения является большой уровень помех. Для борьбы с ними используются следующие меры:

- импульсный трансформатор оборачивают в специальную металлическую фольгу, уменьшая уровень радиотехнических излучений;

6. «землю» «горячей» части схемы (левая часть блока питания, подключенная к сети) отделяют от «корпуса» основной схемы, что уменьшает гальванические токи;
7. в импульсных БП и ИП не используют провода, электрические соединения выполняют по токопроводящим дорожкам на плате;
8. для гашения «дребезга» импульсов обратного хода используется цепочка ***VD6C8*** (рис. 18.3);
9. схему нагрузки («холодную» часть) и «горячую» часть блока питания соединяют гальванически через большое сопротивление в несколько сот мегаом, зашунтированное конденсатором.

Подключение импульсного БП к сети рекомендуется выполнять по европейскому стандарту с защитным заземлением, иначе меры борьбы с помехами, изложенные выше, будут неэффективны.

18.2. КОНСТРУКЦИЯ, СБОРКА И МОНТАЖ УСИЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Одной из основных сборочных единиц электронной техники является усилитель. Это электронное устройство позволяет при наличии на входе сигналов с определенным значением электрических параметров (напряжение, частота) получить на выходе сигнал той же формы, но с большим амплитудным значением.

С точки зрения сборочно-монтажных операций усилитель представляет собой комплексное устройство (блок), состоящее из трех основных узлов. Они могут быть выполнены в виде отдельных модулей, соединенных друг с другом кабелями и проводами, а маломощные усилители — на одной плате или в корпусе одной микросхемы. С этих позиций в состав данного блока входят:

10. входной усилитель;
11. предварительный усилитель;
12. выходной усилитель.

Каждый из названных усилителей имеет свое функциональное назначение, а следовательно, параметры, характеристики и принципы построения, которые должны учитываться в процессе сборки.

Входной усилитель, как первый каскад, должен обеспечивать.

13. согласование с источником сигнала по уровню передаваемой мощности;

14. высокое входное сопротивления для уменьшения влияния на источник сигнала;
15. низкий уровень собственных шумов;
16. ограничение внешних воздействий и помех.

Перечисленные задачи могут быть решены как конструктивно, так и в ходе сборочно-монтажных операций.

В качестве активного усилительного элемента, как правило, выбирается полевой транзистор малой мощности [11]. Для борьбы с шумами и помехами предпочтение отдается составным каскадам и дифференциальным усилителям.

Составной каскад (каскодная схема) состоит из каскада, сформированного из двух транзисторов, связанных гальванически по принципу общая база — общий эмиттер или общий затвор — общий исток. На рис. 18.4 показан входной каскад, который включает в себя двухзатворный полевой транзистор и схему с общей базой на ***VT2.*** Такая схема дает высокий коэффициент усиления, успешно борется с самовозбуждением и шумами.

Использование дифференциального каскада [26] позволяет эффективно бороться с помехами на входе и с температурной зависимостью параметров. Успешной заменой каскада на дискретных элементах является операционный усилитель (ОУ). На рис. 18.4 его функции выполняет микросхема К140УД6.

При выполнении сборочно-монтажных работ необходимо обеспечивать тщательную экранировку входного каскада, так как на него обычно поступают высокочастотные малые сигналы с антенн, датчиков и других устройств. Некоторые компоненты и микросхемы помещают в металлические экраны, ограничивают использование соединений с помощью проводов, в крайнем случае используют только экранированный провод с заземлением экрана. Так как во входном каскаде используют маломощные транзисторы, которые питаются низким постоянным напряжением, при сборке уделяют особое внимание стабильности питающего напряжения.

Мероприятия, обеспечивающие стабильность характеристик входного каскада, имеют несколько решений. Одно из них реализовано в схеме входного каскада, показанного на рис. 18.4. Входной полевой транзистор имеет два изолированных затвора для того, чтобы разделить цепи питания и управления. Выход входного каскада индуктивный ***L2L3*** экранируют. Подстроечный конденсатор ***C6*** предназначен для согласования двух каскадов ***VT1*** — ***VT2.*** Каскад с общей базой ***VT2*** имеет цепь термостабилизации ***R6C8.*** Стабилизация напряжения питания обеспечивается емкостью ***C5.***

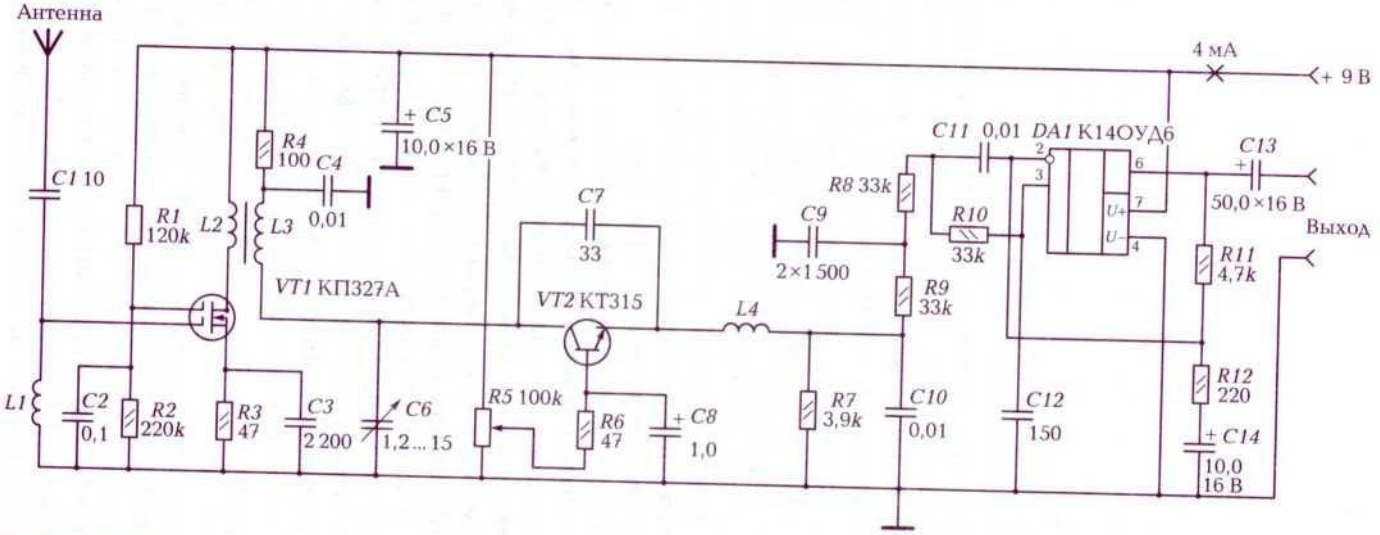


Рис. 18.4. Пример схемы включения входного каскада

Кроме того, параллельно электролитическому конденсатору установлен небольшой керамический конденсатор для фильтрации высокочастотных помех. Каждый каскад входного усилителя электрически «развязывается» для исключения передачи помех.

Если входной усилитель собирают как отдельный модуль, то его устанавливают в металлический экран с наименьшим числом отверстий за исключением регулировочных.

Предварительный усилитель выполняет роль «раскачивающего» каскада для обеспечения стартовых условий оконечного усилителя мощности. К нему предъявляют следующие требования:

17. усиление сигнала без искажений (низкий уровень гармоник) в широкой полосе частот;
18. температурная стабильность;
19. корректировка частотных составляющих сигнала;
20. низкий уровень собственных шумов.

Исходя из этих задач, предварительный каскад должен работать на линейной части входной характеристики транзистора (лампы) , быть широкополосным с отрицательными и положительными обратными связями, иметь эффективную систему термостабилизации.

Пример подобного усилителя показан на рис. 18.5. Этот простейший предварительный усилитель дает усиление сигнала в 32 раза, обеспечивая высокое качество его за счет полярных кон-

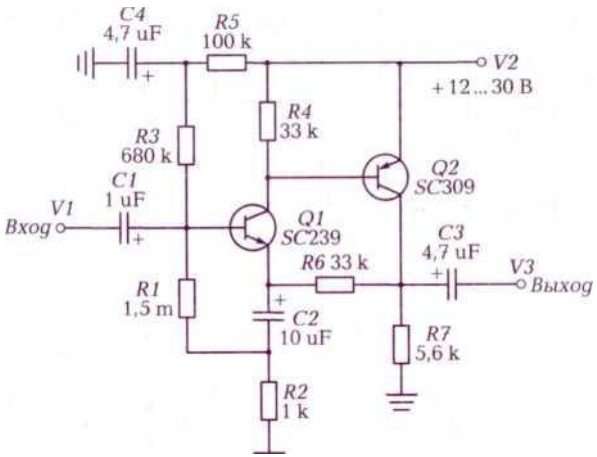


Рис. 18.5. Схема реализации предварительного усилительного каскада

денсаторов ***C1C3,*** термостабилизацию с помощью конденсатора ***C2,*** стабильность выходных характеристик за счет транзистора ***02.*** Основной усилительный элемент ***01*** включен по схеме с общим эмиттером и обеспечивает максимальный коэффициент усиления. Гальваническая связь между каскадами создает широкую полосу пропускания.

Высококачественный предварительный усилитель выполняют в отдельном корпусе и подключают к усилителю мощности с помощью коаксиального разъема и экранированного провода; монтируют его навесным монтажом на плате из стеклотекстолита. Все конденсаторы — фольговые (медная фольга и фторопластовый диэлектрик), резисторы — прецизионные (допуск не более ±0,5 %) проволочные и металлопленочные. Монтаж выполняется с применением посеребряных проводов и специального серебросодержащего припоя. Используют биполярные транзисторы средней мощности, иногда — операционные усилители.

Усилитель мощности (оконечный усилитель) имеет основную задачу — достичь максимального коэффициента усиления при допустимых уровнях шумов и искажений. Для решения этой задачи могут быть выбраны ламповые усилители (с высокими частотными характеристиками и низкими шумами), транзисторные (экономичные, с большим КПД), микросхемные (с малым уровнем помех).

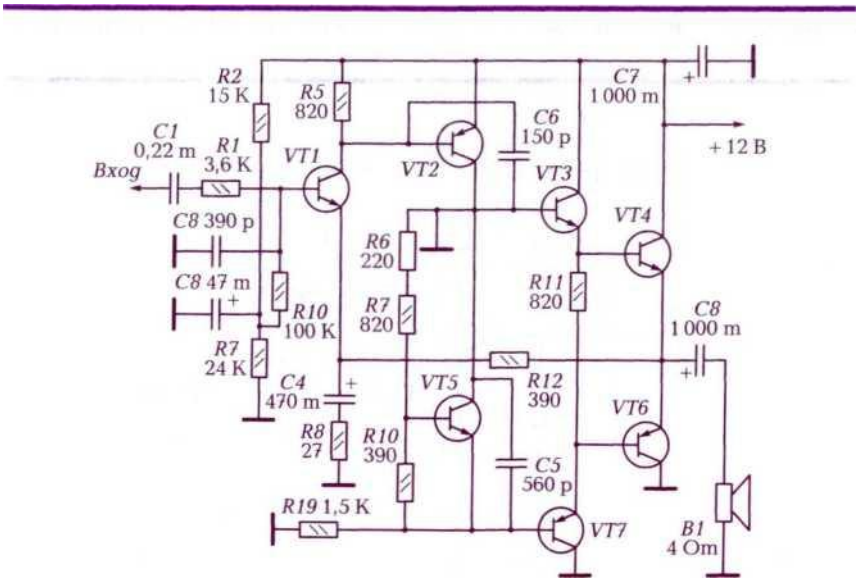


Рис. 18.6. Усилитель мощности класса В на транзисторах

Ламповые усилители имеют ограниченное применение в высококачественной звуковой аппаратуре, требуют мощных источников питания и имеют большие габариты и массу.

Наиболее популярны усилители, выполненные на дискретных транзисторах (рис. 18.6), работающие в режимах максимального усиления класса В или АВ. Эти усилители имеют КПД 50 — 60%, т. е. лишь половина энергии поступает в нагрузку. Основополагающим принципом их работы является разделение входного сигнала на две полуволны с помощью парафазного усилителя на транзисторе ***VT1*** и обработка каждой полуволны в отдельности. Качественное объединение двух полуволн полезного сигнала (без «ступеньки») после усиления на выходном каскаде ***VT4*** и ***VT6*** достигается тщательным подбором транзисторов и смещением их рабочих точек с помощью резистора ***R1I*** (наличие ступеньки в выходном сигнале приводит к искажениям звука). Для передачи выходного сигнала в нагрузку (динамик) применяется электролитический конденсатор ***C8.*** Принципы конструирования и работы подобных усилителей подробно изложены в [26].

Существует вероятность самовозбуждения усилителя на краях частотного диапазона. Монтаж должен быть жестким, с выводами элементов минимальной длины. Для обеспечения этих условий монтаж выполняют на печатной плате с опорными площадками.

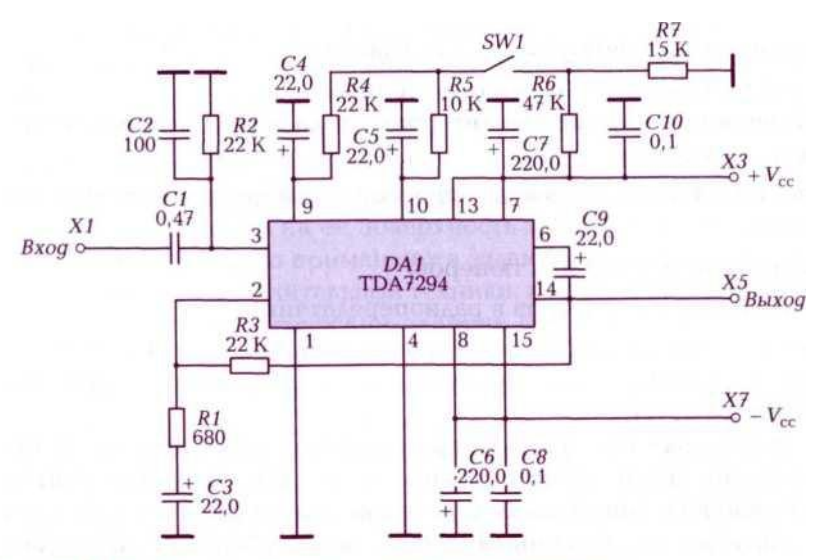


Рис. 18.7. Схема усилителя мощности на микросхеме

При мощности усилителя порядка 70—100 Вт дополнительное охлаждение не применяют. При мощности более 100 Вт вентилятор обязателен.

Самый популярный класс оконечных усилителей класс D реализуется в микросхемном исполнении. Эти усилители среднего уровня мощности (20—100 Вт) имеют КПД до 90 % при коэффициенте гармоник 0,03 ***%.***

Особенность этих усилителей заключается в использовании цифровых каналов управления. Конечные каскады таких усилителей аналоговые. На рис. 18.7 показана схема реализации подобного усилителя.

Усилители, реализованные на микросхемах, не требуют выполнения особых условий сборки и монтажа, а для их охлаждения используется радиатор.

18.11. КОНСТРУКЦИЯ, СБОРКА И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Электронные генераторы преобразуют энергию источника питания в электромагнитные колебания напряжения или тока. По области применения генераторы классифицируются:

21. на задающие генераторы гармонических (синусоидальных) колебаний;
22. генераторы прямоугольных импульсов;
23. генераторы пилообразного напряжения.

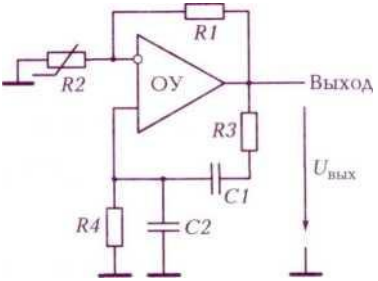
Генераторы гармонических (синусоидальных) колебаний применяют в качестве:

24. тактовых генераторов в цифровой и микропроцессорной технике;
25. гетеродинов в схемах тюнеров;
26. задающих генераторов в радиопередатчиках;
27. источников опорной несущей частоты в преобразователях.

Конструктивно их преимущественно реализуют на регенераторах [11].

Простейшая схема RC-генератора синусоидальных колебаний на операционном усилителе приведена на рис. 18.8. Этот ***ГЕНЕРАТОР АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ.*** В качестве активного элемента в нем используется операционный усилитель ОУ, обратную связь образует полосовой фильтр ***R3C1.***

Рис. 18.8. Схема RC-генератора синусоидальных колебаний



ДЛЯ выполнения условия баланса фаз выход звена обратной связи подключается к неинвертирующему входу ОУ. Для выполнения условия баланса амплитуд ОУ по инвертирующему входу коэффициент усиления должен быть $K = 3$, поэтому $R_1 = 2R_2$

При строгом выполнении условия баланса амплитуд и идеальном ОУ в схеме возникнут незатухающие колебания с частотой / = = 1 $/2\pi R_3 C_v$ Однако амплитуда этих колебаний не определена. Кроме того, даже самое незначительное уменьшение ***R1*** вызовет затухание колебаний. Напротив, увеличение ***R2*** приведет к нарастанию амплитуды колебаний вплоть до насыщения усилителя и, как следствие, к появлению заметных нелинейных искажений выходного напряжения генератора. Эти обстоятельства обуславливают использование в составе генератора системы автоматического регулирования амплитуды. В простейшем случае для этого в качестве резистора ***R2*** используют нелинейный элемент (вариометр), динамическое сопротивление которого с ростом амплитуды тока увеличивается.

Для стабильности частоты автогенератора используют пьезоэлектрический резонатор, представляющий собой кварцевую пластину с нанесенными на ее поверхность электродами. Кварцевую стабилизацию широко применяют в задающих генераторах тактовых импульсов вычислительной техники, в которых активным элементом выступает логический элемент [24]. При совпадении частоты подводимого напряжения с собственной частотой колебания кварца возникает механический резонанс и кварцевый резонатор становится эквивалентен последовательному колебательному контуру (RC) с собственной частотой, определяемой размерами кварца. Основным достоинством кварцевого автогенератора является высокая стабильность частоты.

Гетеродин относится к особым генераторам гармонических колебаний. Используется он в радиоприемной и телевизионной

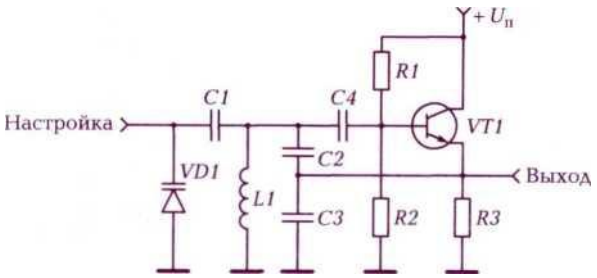


Рис. 18.9. Схема простейшего гетеродина

технике. Его частота меняется в такт с изменением входного ВЧ-сигнала, тем самым разница между ними всегда постоянна. Эти изменения происходят за счет изменения емкости варикапа, включенного в цепь LC-контура (рис. 18.9).

По цепи «Настройка» на варикап ***VD1*** поступает напряжение настройки, положительная обратная связь (ПОС) реализуется на контуре ***L1C2C3.***

Монтаж генераторов гармонических колебаний заключается в тщательном подборе элементов и экранировании колебательных контуров. Конструкция генераторов должна обеспечивать высокую степень их защиты от помех. Как правило, они реализуются на микросхемах (для вычислительной техники) либо в составе тюнеров радио- и телеустройств. Источник питания этих узлов должен быть высокостабильным и шунтированным керамическими и электролитическими конденсаторами для исключения высокочастотных помех и колебаний напряжения питания при переключениях. Гетеродин, как правило, реализуется на одном элементе вместе с преобразователем — формирователем сигнала разностной частоты, что исключает наведенные помехи за счет прохождения сигналов по проводам.

Технологический процесс регулировки автогенераторов состоит из проверки монтажа, режимов питания, работоспособности схемы, наличия генерации по всему диапазону заявленных частот и отсутствия паразитной модуляции. Плавную перестройку частоты автогенератора в заданном диапазоне осуществляют конденсатором переменной емкости, варикапом, вариометром или катушкой с сердечником.

Генераторы прямоугольных импульсов относят к элементам импульсной техники и применяют в радиосвязи, телевидении, радиолокации, вычислительной технике в качестве источников

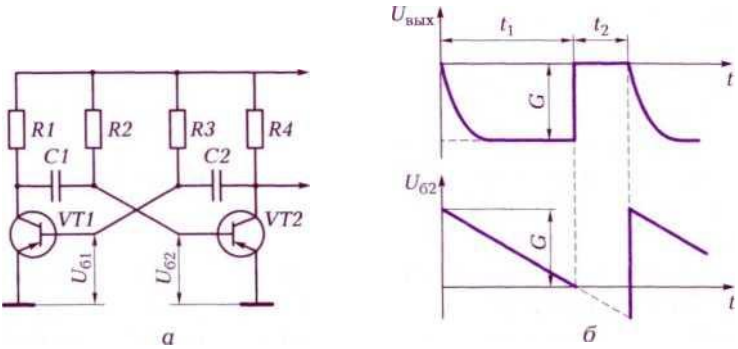


Рис. 18.10. Схема симметричного мультивибратора (а) и эпюры напряжений (б]

синхроимпульсов и в составе измерительных приборов для проверки цифровых и аналоговых цепей.

Одной из разновидностей генератора прямоугольных импульсов является ***МУЛЬТИВИБРАТОР.*** Он представляет собой релаксационный генератор с накопителем энергии и электронным ключом, переключение которого обусловлено запасом энергии в накопителе [4, 11].

Частота колебаний, длительность импульсов и форма выходного напряжения мультивибратора зависят от параметров и режима работы схемы (рис. 18.10).

Стабильность частоты импульсов, генерируемых мультивибраторами, зависит от стабильности напряжения источников питания, теплового режима транзисторов, отклонения параметров отдельных элементов схем от расчетных и др.

Другим источником прямоугольных импульсов является еще один представитель импульсной техники — ***БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОР,***

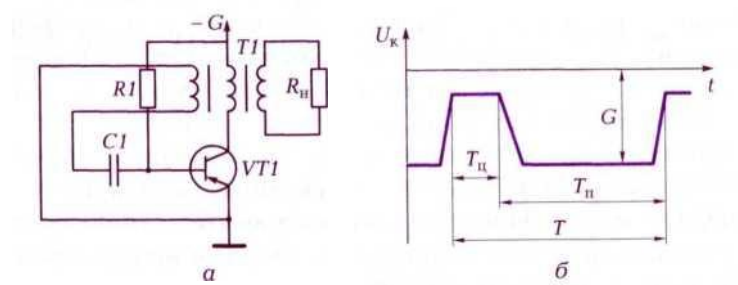


Рис. 18.11. Схема блокинг-генератора (а) и эпюры напряжений (б)

который представляет собой однокаскадный релаксационный генератор кратковременных импульсов (до нескольких наносекунд) с положительной обратной связью, создаваемой импульсным трансформатором. Блокинг-генератор может работать в режиме автоколебаний и в ждущем режиме.

Схема блокинг-генератора, выполненного на транзисторе, приведена на рис. 18.11, а, а временная диаграмма его выходного напряжения — на рис. 18.11, ***б.***

Стабильность работы блокинг-генератора во многом определяется качеством импульсного трансформатора. Учитывая, что трансформатор работает в импульсном режиме, в его обмотках резкое изменение тока вызывает такое же изменение магнитного потока в сердечнике, поэтому сердечник изготовляют из специальных материалов (например, пермаллоя и др.) с большой начальной проницаемостью и малыми потерями электромагнитной энергии.

Возможность получения большой скважности (до десятков тысяч единиц) импульсов позволяет использовать блокинг-генераторы в делителях частоты, счетчиках импульсов, генераторах пилообразного напряжения и источниках питания.

К числу основных параметров генераторов прямоугольных импульсов относятся диапазон изменения частоты следования импульсов, величина амплитуды, длительность фронта и спада импульсов.

Для проверки и регулировки генераторов применяют специальную измерительную аппаратуру (измерители малых и больших интервалов времени, универсальный осциллограф, импульсный вольтметр, генераторы импульсов и синусоидальных колебаний). Длительность фронта и спада импульсов проверяют между уровнями 0,1 и 0,9 амплитуды импульса. Измерения проводят в крайних и средних точках диапазона длительностей и на трех частотах следования импульсов. В процессе проверки выход генератора должен быть нагружен на согласованную нагрузку.

Проверку погрешности частоты следования импульсов проводят измерителем временных интервалов или электронно-счетным частотомером. Стабильность частоты и амплитуды колебаний зависят от климатических и механических воздействий, стабильности источников питания и паразитных связей между отдельными элементами автогенератора и последующими каскадами.

Генераторы пилообразного напряжения (рис. 18.12) применяют в компараторах аналого-цифровых (АЦП) и цифроаналоговых (ЦАП) преобразователях, схемах сравнения, а в качестве задающих генераторов разверток — в телевидении и осциллографах.

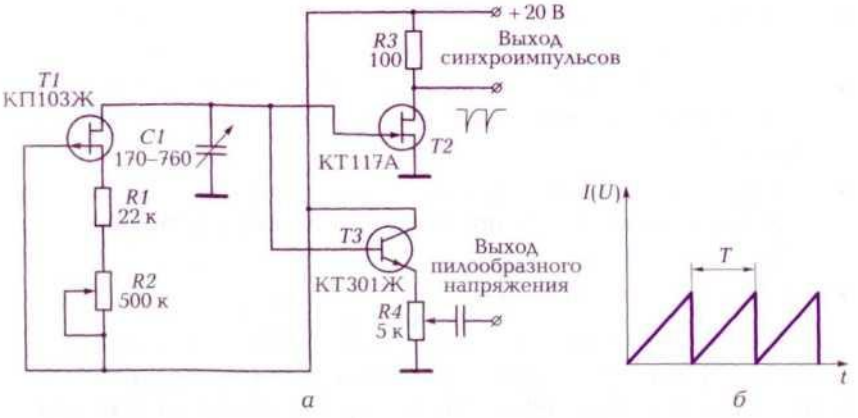


Рис. 18.12. Схема генератора пилообразного напряжения

Их работа связана с накоплением энергии на реактивном элементе (конденсаторе, катушке индуктивности).

В качестве накопителя используется конденсатор ***C1*** (рис. 18.12, а). Длительность импульсов ***T*** (рис. 18.12, ***б)*** определяется соотношением параметров конденсатора ***C1*** и резистора ***R2.*** Главное требование к этим генераторам — стабильность и линейность пилообразного напряжения, зависящие от точности параметров конденсатора и резистора, а также стабильности напряжения питания. При монтаже генераторов обращают внимание на качество этих элементов. Лучше всего использовать керамические подстроечные конденсаторы и непроволочные тонкослойные металлодиэлектрические резисторы. Линейность напряжения зависит от постоянства тока, заряжающего конденсатор, для этого генератор должен обеспечиваться источником постоянного заряжающего тока.

18.4. КОНСТРУКЦИЯ, СБОРКА И МОНТАЖ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Радиоприемные устройства предназначены для приема радиосигналов и преобразования их в звук, для чего в них осуществляются следующие действия:

- формирование с помощью приемной антенны из электромагнитного излучения (радиоволн) электрического сигнала (радиосигнала);

28. выделение (фильтрация по частоте) полезных радиосигналов из совокупности других сигналов и помех;
29. усиление выбранного сигнала для обеспечения качественной работы детектора и декодера в целях увеличения соотношения сигнал/ шум;
30. демодуляция (детектирование) принятого сигнала для выделения полезной информации (звука), содержащейся в радиосигнале;
31. усиление звукового сигнала по мощности.

Существуют несколько диапазонов сетки радиосигналов — длинноволновый (ДВ) с длиной волны 1 —10 км; средневолновый (СВ) с длиной волны 100—1 000 м, коротковолновый (КВ) диапазон с длиной волны 10—100 м, ультракоротковолновый (УКВ) с длиной волны, измеряемой в дециметрах от 1 до 10. В УКВ-диапазоне используется частотная модуляция (ЧМ, FM), в остальных — амплитудная модуляция (АМ). Тем самым сигналы, передаваемые в УКВ-диапазоне, более защищены от помех, но распространяются в пределах прямой видимости. Волны АМ-диапазона распространяются на большие расстояния, чем волны УКВ-диапазона, но менее защищены.

Качественные показатели радиоприемных устройств определяются электрическими и конструктивно-эксплуатационными характеристиками. По назначению приемники классифицируют на профессиональные и вещательные (бытовые). К профессиональным радиоприемникам относят связные, радиолокационные, радионавигационные, радио- и телеуправления и др. Бытовые приемники обеспечивают прием программ звукового вещания.

К основным характеристикам приемника относят: чувствительность, избирательность, помехоустойчивость и динамический диапазон.

Чувствительность приемника — способность осуществлять прием очень слабых полезных сигналов. Ее оценивают по минимальной мощности входного радиосигнала, который обеспечивает на выходе приемника сигнал номинальной (требуемой) мощности при заданном отношении сигнал/шум.

Избирательность, или селективность, — способность выделять полезный сигнал из множества других сигналов и помех, принятых антенной. Измеряется как отношение амплитуды полезного сигнала к помехе в децибелах (дБ). ДециБел в радиотехнике — это десятичный логарифм отношения амплитуды полезного сигнала к помехе. Назван по имени изобретателя теле-

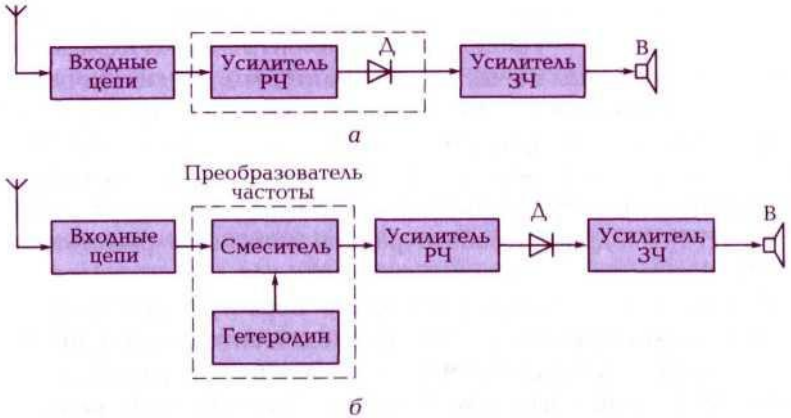


Рис. 18.13. Структурные схемы приемника прямого усиления [а] и супергетеродинного приемника (б)

фона А. Г. Белла. Чаще на практике используют десятую часть бела — 0,1 Б = 1 дБ.

Помехоустойчивость — способность радиоприемника обеспечивать стабильный прием на уровне помех.

Динамический диапазон — определяет полосу частот звукового сигнала на уровне 70 % коэффициента усиления.

По конструкции и области применения радиоприемники подразделяют на приемники прямого усиления и супергетеродинные.

Структурная схема простейшего ***приемника прямого усиления*** (рис. 18.13, *а)* включает в себя входную цепь с малошумящим усилителем, усилитель высокой (радио) частоты (УВЧ, УРЧ), детектор (Д) и усилитель низкой (звуковой) частоты (УНЧ, УЗЧ).

Входная цепь и УРЧ составляют высокочастотный тракт приемника и содержат связки резонансных контуров, которые выделяют требуемый сигнал из множества других сигналов и помех. Выделенный детектором (демодулятором) из радиосигнала звуковой сигнал, содержащий полезную информацию, усиливается и фильтруется от помех. Усилитель звуковой частоты формирует напряжение (мощность) для оконечного устройства (динамика).

Супергетеродинный приемник (рис. 18.13, ***б)*** обеспечивает прием сигналов вещания, выделяя из них необходимый сигнал выбранной радиостанции путем ручной или автоматической настройки.

Настройку приемника на полезный сигнал осуществляют перестройкой по частоте фильтров входной цепи. Радиосигнал из ан-

тенны подается на вход малошумящего усилителя (МШУ), а затем на вход смесителя — специального элемента с двумя входами, преобразующего сигнал по частоте. На один вход смесителя поступает сигнал, принятый антенной, а на второй — сигнал гетеродина. Гетеродинный тракт формирует сетку частот, превышающих частоту полезного сигнала на 10,7 МГц (УКВ-диапазон) и 465 кГц (АМ-диапазон), для формирования сигнала промежуточной частоты (ПЧ). Подробно работа радиоприемников рассмотрена в [21, 33].

Колебательный контур гетеродина перестраивается одновременно с входным контуром. На выходе смесителя образуются сигналы с частотой, равной сумме («зеркальный» канал) и разности частот (полезный сигнал) гетеродина и принимаемой радиостанции. Разностный сигнал, соответствующий постоянной промежуточной частоте, выделяется с помощью фильтра сосредоточенной селекции (ФСС) и усиливается одним или несколькими каскадами УПЧ, затем он поступает на детектор, который восстанавливает сигнал низкой (звуковой) частоты из модулированного сигнала. Так как ФСС и УПЧ не перестраиваются по частоте, это позволяет получить в супергетеродинном приемнике высокую частотную избирательность при неизменной полосе пропускания, а также реализовать эффективную фильтрацию полезного сигнала от помех.

Обладая принципиальными достоинствами, супергетеродинный приемник не лишен ряда недостатков, которые могут быть «скрашены» тщательностью выполнения сборочно-монтажных операций. Значительным недостатком является наличие зеркального канала, который не может быть подавлен фильтрами канала промежуточной частоты. Таким образом, если частоты двух передатчиков различаются между собой на удвоенную величину промежуточной частоты и не принято никаких мер для их разделения, то они будут почти одинаково хорошо слышны. Методы борьбы с этим явлением обеспечивается точной настройкой входных фильтров и их качеством. Подавление частот зеркального канала также осуществляют с помощью применения полосовых фильтров вместо резонансных контуров, включенных во входную цепь и в канал УВЧ-приемника.

Если частота соседнего канала меньше или больше на промежуточную частоту от принимаемого сигнала, то из-за недостаточной избирательности он не отфильтровывается входными контурами. Основная борьба с соседними каналами — повышение избирательности ФСС. Основной метод — замена обычных фильтров на

полосовой фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Отметим, что подавление сигналов побочных каналов приема (в том числе и зеркального) улучшается при повышении промежуточной частоты, однако при этом ухудшается избирательность приемника.

Одновременное изменение частоты гетеродина с частотой полезного сигнала достигается путем сопряжения органов настроек высокочастотного тракта и гетеродина, для этого в приемнике есть ручка «Настройка» для механической регулировки. Наличие механической регулировки приводит к ухудшению работы приемника, поэтому в современных радиоприемных устройствах применяют электронную регулировку с использованием варикапов.

Помеха с частотой, близкой или равной промежуточной частоте, может пройти весь тракт без преобразования и усилиться в УПЧ. Для подавления подобных помех во входную цепь супергетеродинного приемника вводят режекторный фильтр («убийца» ПЧ), настроенный на промежуточную частоту.

Из специальных устройств, обеспечивающих стабильную работу приемника, выделяют системы автоматической регулировки усиления (АРУ), автоматической подстройки частоты (АПЧ) и фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Автоматическая регулировка усиления обеспечивает на выходе приемника практически неизменный уровень полезного сигнала при больших (50—100 дБ) колебаниях амплитуд входного сигнала. Действие АРУ основано на автоматическом изменении коэффициентов усиления отдельных каскадов приемника при колебаниях уровня входного сигнала.

АПЧ применяют для предотвращения самопроизвольного «ухода» частоты настройки, обусловленной нестабильностью частот

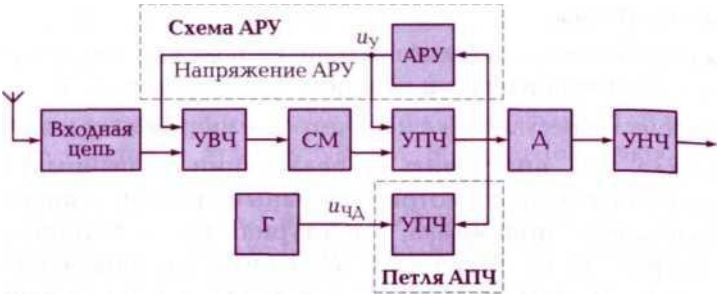


Рис. 18.14. Структурная схема супергетеродинного приемника с АРУ и дрц

ередатчика и гетеродина. Нестабильность частоты настройки приемника проявляется в посторонних шумах и треске.

Основным элементом любой системы АПЧ (рис. 18.14) является частотный детектор (ЧД), подключенный к выходу УПЧ (петля АПЧ). Если промежуточная частота точно совпадает с номинальным значением, то напряжение на выходе частотного детектора равно нулю. При отклонении значения промежуточной частоты от номинального на выходе частотного детектора появляется постоянное напряжение, значение которого пропорционально расстройке приемника, а полярность соответствует знаку расстройки. Оно поступает на вход гетеродина (на варикап) и подстраивает его таким образом, чтобы на выходе УПЧ было номинальное значение промежуточной частоты.

КОНСТРУКЦИЯ, СБОРКА И НАЛАДКА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

Современные телевизионные приемники представляют собой электронные устройства технического и бытового назначения, предназначенные для формирования видеоизображения и звукового сопровождения из сигнала, переданного из телевизионного центра.

Сборка и монтаж телевизоров включает в себя следующие этапы:

32. электрический монтаж элементов на печатной плате;
33. установка на плате установочных деталей (трансформаторов, дросселей и т.д.);
34. установка органов управления и контроля;
35. укладка внутри корпуса проводов и распайка элементов сложного монтажа;
36. проведение операций для повышения надежности, долговечности и термостабильности параметров ТВ-приемников;
37. настройка и регулировка параметров изображения и звука.

Прежде чем приступить к реализации названных этапов сборки и монтажа, рассмотрим основные принципы построения телевизионного приемника, структурная схема которого показана на рис. 18.15. В качестве источника питания используют встроенный импульсный ИП. Эта структурная схема относится к аналоговым телевизорам с использованием в качестве экрана

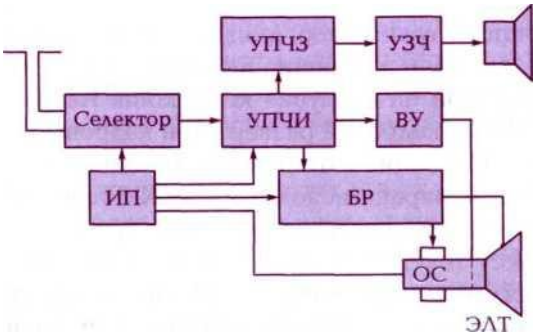


Рис. 18.15. Структурная схема телевизора:
УПЧИ — усилитель промежуточной частоты изображения (входит в состав видеопроцессора]; УПЧЗ — усилитель промежуточной частоты звука (аудиопроцессор); БР — блок разверток; ИП — источник питания; ОС — отклоняющая система; УЗЧ — усилитель мощности звука

кинескопа. Несмотря на то что в настоящее время электронно-лучевые трубки не используют: их заменили ЖК-панели и плазменные экраны, — принципы формирования телевизионных сигналов остаются неизменными.

Не вдаваясь в подробности теории функционирования телевизионных устройств, с которой можно познакомиться в [2], определяющими являются следующие моменты. Прием телевизионных каналов обеспечивает тюнер (селектор), который внешне представляет собой модуль, экранированный от внешних воздействий. Тюнер по принципу действия мало чем отличается от входных узлов радиоприемника. Все тюнеры имеют цифровую настройку, которой управляет видеопроцессор. С тюнера выходит сигнал промежуточной частоты изображения и звука, центральная частота которой равна 38 МГц. Эти сигналы поступают на видеопроцессор — микросхему БИС, в которой происходит выделение и обработка видеосигнала и сигнала звука. Далее сигнал звука поступает на аудиопроцессор, в котором происходит его дополнительная обработка в соответствии со стандартом, принятым в той или иной стране; в России — это DIK NICAM. В отдельной микросхеме — усилителе звуковой частоты (УЗЧ) — происходит оконечное усиление звукового сигнала. Сигнал изображения поступает на видеоусилитель, который может быть выполнен на отдельной микросхеме или дискретных элементах — транзисторах.

Если в качестве экрана используют кинескоп, формируют токи отклонения по строкам и кадрам. За строчную развертку отвечает

схема строчного отклонения, в которую входят: строчный трансформатор, мощный транзистор, диоды обратного хода и строчные отклоняющие катушки, входящие в состав отклоняющей системы (ОС), располагаемой на патрубке кинескопа. Кадровый ток формирует микросхема кадровой развертки и кадровые отклоняющие катушки, также входящие в отклоняющую систему.

Если в качестве экрана используют ЖКИ или плазменную панель, то отклоняющие системы не используют, что значительно уменьшает массу телевизора и повышает надежность. Формирование изображения подчиняется цифровым законам, которые были рассмотрены в гл. 6. Управление телевизионными приемниками — цифровое. Включением, настройкой, формированием параметров изображения и звука управляет центральный процессор, а настроечные параметры хранятся в памяти ПЗУ.

Основные узлы телевизионных приемников выполняют на одной плате способом навесного монтажа для обычных ТВ с кинескопом, поверхностного монтажа для ЖКИ и смешанного монтажа для плазменных панелей.

Сборка телевизионных приемников — модульная. В обычных телевизорах в качестве модулей используют: основную плату, плату кинескопа с установленными на ней видеоусилителями и отклоняющую систему (рис. 18.16).

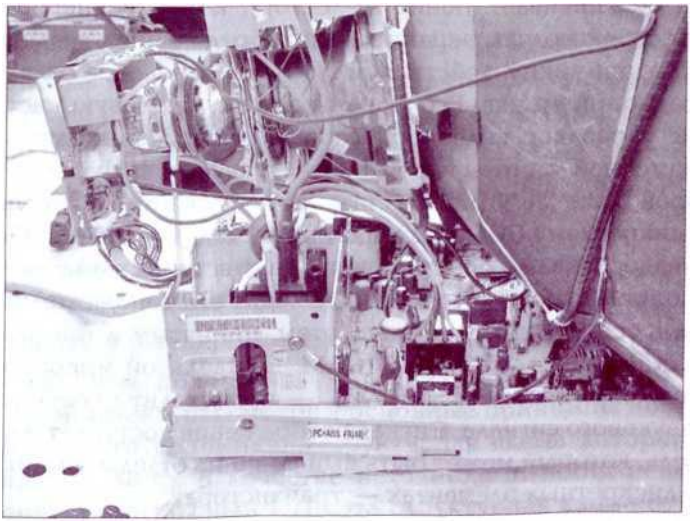


Рис. 18.16. Узлы телевизионного приемника с кинескопом

Сочленение высокочастотного устройства — тюнера с основными элементами схемы — выполняется экранированным проводом, оплетку которого заземляют в нескольких местах с помощью пайки. Антенный вход тюнера должен обеспечивать плотный контакт с антенным кабелем. Элементы устройства строчной развертки отделяются от схемы управления алюминиевым экраном, который выполняет так же роль радиатора для охлаждения строчного транзистора, выходного усилителя звука и микросхемы кадровой развертки. Строчный трансформатор крепится к плате пайкой и дополнительно — винтами или саморезами. Отклоняющая система крепится на цоколе кинескопа с помощью хомута. Для исключения непосредственного контакта ОС со стеклом кинескопа на его цоколе наклеивают тканевую изоленту. Плату кинескопа устанавливают непосредственно на контакты кинескопа в соответствии с «ключом».

Так как большинство телевизионных приемников работают в импульсном режиме, а питание обеспечивается импульсным ИП, то особых мер по теплоотводу за исключением установки радиаторов не предусматривают. Охлаждение основных узлов осуществляется естественным способом через технологические отверстия в корпусе.

Сборочно-монтажные операции телевизора заканчиваются операциями регулировки. С учетом использования в качестве сборочных и монтажных единиц микросхем и элементов цифрового управления наладка упрощается.

Все механические регулировки телевизоров с ЭЛТ связаны с настройкой ОС и кинескопа. На первом этапе с помощью ОС выставляют геометрические размеры и чистоту цвета кинескопа при однотонной засветке экрана. Перемещением ОС вдоль цоколя кинескопа регулируют оптимальный размер развертки, а поворотом вдоль оси — чистоту цвета. Если достичь хороших результатов не удается, под ОС подкладывают резиновые клинья. Затем ОС закрепляют на цоколе с помощью хомута. Все эти операции выполняют под напряжением и при ощутимом нагреве регулируемых устройств, поэтому все регулировки выполняют в нитяных перчатках с резиновыми накладками, четко соблюдая правила работы на электроустановках с напряжением до 1 000 В. Высоковольтный провод строчного трансформатора должен быть надежно закреплен в гнезде кинескопа.

Регулировку яркости экрана и фокусировки изображения производят с помощью двух доступных регуляторов, расположенных на корпусе строчного трансформатора. Остальные регулировки

Рис. 18.17. Узлы телевизора с ЖКИ

параметров изображения и звука выполняют в программном режиме в сервисном меню.

В телевизорах с ЖКИ для сборки используют три модуля: высокочастотный аналоговый блок (тюнер), основную плату цифровой обработки сигналов звука и изображения и матрицу ЖКИ (рис. 18.17).

Источник питания выполняется, как правило, отдельно в виде адаптера или как внутренний модуль (опционно). Также может быть выполнен на основной плате или отдельно инвертор, управляющий лампами подсветки. Все эти модули представляют собой функционально законченные устройства, и при сборке выполняют их соединение в единое целое с помощью разъемов (тюнер — основная плата, источник питания — основная плата) и кабелей (основная плата — ЖК-панель). Кабели цифровых частей схемы должны быть надежно закреплены, они выполнены в виде шлейфов или жгутов, их крепят к несущим частям корпуса клеящей мастикой (из клеящего пистолета). Металлический экран, в котором устанавливают основную плату, опечатывают алюминиевой фольгой.

Конструкция и сборка телевизоров с матрицами ЖКИ с подсветкой светоизлучающими диодами существенных отличий не имеют. Все регулировки изображения и звука проводятся программно в сервисном меню.

Особенности сборки плазменных телевизоров проявляются в том, что они имеют большой экран, а также блок управления плаз-

менными разрядами в ячейках матрицы. Все соединения в них выполняют на разъемах. Большое число энергоемких элементов в плазменных телевизорах требует их эффективного охлаждения за счет конвекции и установки большого числа вентиляторов.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И СБОРКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Вычислительная техника — это набор устройств, которые выполняют вычислительные и логические операции под управлением программ общего и специального назначения. К вычислительной технике относят:

38. микроЭВМ;
39. стационарные ЭВМ;
40. персональные, переносные (ноутбуки);
41. карманные ЭВМ;
42. периферийные устройства — внешние накопители, аудио- и видеоустройства и т. д.

МикроЭВМ, которая по назначению и конструкции схожа с микроконтроллером, но по вычислительным возможностям превышает его, может быть выполнена на одной микросхеме (чипе) со встроенными периферийными узлами управления.

Стационарную ЭВМ собирают из отдельных модулей и блоков, устанавливаемых в специальные шкафы и стойки. Основным узлом этой ЭВМ является процессорный блок, в котором отдельными микросхемами выполнены ААУ, блоки регистров, модули памяти и контроллеры периферийных устройств.

Процессор в составе стационарной ЭВМ предназначен для выполнения арифметических и логических вычислений по алгоритму, хранящемуся в запоминающем устройстве, и обеспечения общего управления ЭВМ (см. подразд. 10.4). Быстродействие стационарной ЭВМ в значительной мере определяется скоростью работы процессора. Вычислительный процесс должен быть предварительно представлен для ЭВМ в виде программы — последовательности инструкций (команд), записанных в порядке их выполнения. При выполнении программы процессор выбирает очередную команду, расшифровывает ее, определяет, какие действия и над какими операндами (числами и логическими выражениями) следует ей выполнить.

Обрабатываемые данные и выполняемая программа находятся в запоминающем устройстве — памяти ЭВМ (см. подразд. 10.5], откуда они вводятся в процессор через устройство ввода. Емкость памяти измеряется в величинах, кратных байту (8 двоичных чисел). Память функционально подразделяется на две части: внутреннюю и внешнюю.

Внутренняя память имеет небольшой объем и реализуется в микросхеме процессора.

Внешняя память создается в виде модулей, устанавливают на материнскую плату ЭВМ в соответствующие разъемы. Она реализована как микросхема BIOS — память ПЗУ, которая хранит программу запуска компьютера и заводские установки; модули динамической ОЗУ и КЭШ-памяти (буферная память между процессором и основной ОЗУ) и на накопителях, соединяемых с платой ЭВМ через интерфейсы.

Внешние запоминающие устройства (ВЗУ) предназначены для размещения больших объемов информации и обмена ею с внутренней оперативной памятью. Емкость их практически не имеет ограничений (в современных ЭВМ — это терабайты информации), но для обращения к ней требуется больше времени, чем к внутренней памяти. Внешние запоминающие устройства конструктивно отделены от центральных устройств ЭВМ (процессора и внутренней памяти), имеют собственное управление и выполняют запросы процессора на пересылку информации по прерываниям.

Так называемые накопители, обеспечивающие возможность сохранения информации пользователя и обмена ею, представляют собой:

43. гибкие магнитные диски (НГМД);
44. жесткие магнитные диски (НЖМД) — их часто называют винчестерами;
45. оптические (лазерные) диски (НОД);
46. магнитные ленты (НМЛ).
47. карты памяти и флэш (Flash)-модули.

Накопители на гибких дисках (вытесняются устройствами флэш-памяти) имеют электромеханический привод (дисковод), который обеспечивает вращение гибкого магнитного диска, универсальную магнитную головку для считывания или записи, систему установки (позиционирования) магнитной головки в требуемое положение и электронный блок управления.

Дисководы жестких дисков запись ведут на магнитную поверхность металлических дисков, которые разбиваются на ци-

линдры и дорожки, путем намагничивания отдельных участков в соответствии с двоичной системой представления информации. Они включают в себя блоки магнитных головок для считывания или записи, систему установки (позиционирования) магнитной головки по дорожкам и цилиндрам и электронный блок управления.

Запись на оптические диски ведется лазерными диодами (см. подразд. 7.2), установленными в электромеханические «головки» с устройствами фокусировки и трекинга (подстройки лазера в центр дорожки). На универсальной «головке» могут быть одновременно реализованы форматы CD, DVD и Blue-RAY. Дисководы оптических дисков снабжены электронной системой управления, позицирования, фокусировки и перемещения головки. Шпиндельный двигатель (см. подразд. 8.2) раскручивает диск до определенной скорости, постоянство которой поддерживается автоматически.

Для записи информации на магнитные ленты (память «вечного» хранения) больших объемов информации используют цифровые высокоскоростные магнитофоны. Карты памяти выполняют в одном модуле на основе технологии EEPROM (как в ПЗУ) и подключают к компьютеру через соответствующий разъем.

Устройства ввода-вывода ЭВМ служат для ввода информации в ЭВМ и вывода из нее, обеспечивая общение пользователя с машиной. Иногда устройства ввода-вывода называют периферийными, или внешними устройствами, ЭВМ. К ним, в частности, относят дисплеи (мониторы), клавиатуру, манипуляторы типа «мышь», алфавитно-цифровые печатающие устройства (принтеры), графопостроители, сканеры и др.

Для управления внешними устройствами, в том числе и ВЗУ, и согласования их с системным интерфейсом служат групповые узлы управления — мосты, адаптеры или контроллеры. Различают «северный» мост — для обеспечения связи устройства внешней памяти с процессором и «южный» мост — для связи процессора с периферийными устройствами. Они выполнены как микросхемы, установленные на «материнской» плате компьютера.

Взаимодействие устройств ЭВМ и обмен информацией между отдельными частями и внешними устройствами осуществляется по системному интерфейсу — совокупности шин, сигналов, вспомогательных микросхем и алгоритмов, предназначенных для обмена информацией между устройствами компьютера.

При выполнении сборочных и монтажных операций вычислительной техники необходимо учитывать, что ЕС ЭВМ и микроЭВМ построены на элементах типовых конструкций (ГОСТ 16325—88

и ГОСТ 21552—84), которые подразделяются на пять категорий: изделия нулевого, первого, второго, третьего порядка и вспомогательные изделия (последние можно автономно проектировать, изготовлять и налаживать). Каждому модульному уровню соответствует типовая конструкция, имеющая несколько вариантов исполнения. Типовые конструкции построены по принципу входимости модуля предыдущего уровня в модуль последующего уровня, это позволяет выполнять компоновку ЭВМ единой системы в виде возрастающих конструкций по модульному принципу:

48. модуль первого уровня — интегральная микросхема (ИС) и электрорадиоэлементы;
49. модуль второго уровня — типовой элемент замены (ТЭЗ), осуществляющий операции логического преобразования информации. Основу конструкции ТЭЗ составляет двусторонняя или многослойная печатная плата. Интегральные схемы устанавливают с одной стороны платы;

одуль третьего уровня — панель, содержащая элементы установки, крепления и электрического соединения ТЭЗ;

в модуль четвертого уровня (длябольших ЭВМ)—рама, представляющая собой сварной каркас, в котором имеются окна для размещения панелей (плат) и устройств охлаждения;

в модуль пятого уровня —стойка (шкаф), которая служит для размещения рам с панелями, имеет несущий каркас с щитами и фильтрами. Сварной каркас изготовляют из профилированного материала. В стойке монтируют системы приточно-вытяжной вентиляции.

Связь отдельных модулей между собой осуществляют через разъемные соединения — разъемы, клеммы, контакторы.

Условия эксплуатации ЭВМ могут быть различными и зависят в основном от механических и климатических воздействий, которые необходимо учитывать при выборе элементов, готовых изделий, материалов и конструктивного оформления вычислительных машин.

Вычислительные машины особого назначения (космические технологии, транспорт) должны обладать повышенной устойчивостью к механическим перегрузкам, вибрациям и резким колебаниям температуры. При этом необходимо обеспечить минимальные массу и габаритные размеры аппаратуры, ее простой демонтаж для ремонта и стабильность параметров при работе в условиях пониженного давления.

При сборке и монтаже вычислительной техники необходимо учитывать, что колебания температуры приводят к изменению характера посадок, ослаблению креплений, возникновению значительных напряжений, вызывающих деформацию деталей, и изменению параметров отдельных элементов. Температурное влияние сказывается тем сильнее, чем больше скорость и частота работы процессора. Особенно вредное воздействие оказывает тепловой удар, заключающийся в быстром чередовании нагрева и охлаждения, что приводит к растрескиванию изделий, состоящих из материалов с разными коэффициентами линейного расширения, неравномерно изменяющих свои размеры. Повышенная температура способствует распаду органических материалов, ухудшает теплоотдачу и уменьшает срок службы отдельных элементов.

Эффективным методом при борьбе с перегревами в вычислительных системах — метод конвекции. Блоки питания, центральный процессор и другие элементы схемы снабжаются системой индивидуальной приточно-вытяжной или вытяжной вентиляцией. Частоту вращения вентиляторов устанавливают программно в зависимости от условий эксплуатации и выполняемых задач.

Большое влияние на работу вычислительной аппаратуры оказывает относительная влажность воздуха. Повышенная влажность снижает надежность работы отдельных элементов, приводит к неожиданным сбоям и даже к выходу из строя. Основными мерами защиты от влаги являются покрытие основной платы и модулей водонепроницаемыми, водостойкими и водоотталкивающими лаками и красками, герметизация их.

Крайне отрицательно сказываются на работе ЭВМ, как и любой другой электронной техники, образование грибковых соединений (плесени) в результате воздействия повышенной влажности (до 75 %) и температуры (при 30 — 35 °С). Появление плесени приводит к нарушению контактов, снижает сопротивление изоляции, ускоряет процесс коррозии металлов за счет выделения органических кислот, разрушает защитные покрытия и др. Наиболее восприимчивы к плесени изоляционные материалы (гетинакс, текстолит и др.). Эффективный способ борьбы с плесенью — покрытие элементов и плат герметизирующими и защитными средствами.

После сборочных операций элементы и узлы вычислительной техники должны проходить обязательное тестирование на производительность. Процесс первичного тестирования программно записан в микросхему типа BIOS. ЭВМ, не прошедшая тестирования, не выходит в рабочий режим до устранения причины сбоя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие факторы являются определяющими при монтаже и сборке источников питания?
- Какими способами осуществляют стабилизацию вторичных напряжений?
- Какие технологические приемы используют при монтаже усилительных устройств для обеспечения стабильности выходных напряжений?
- Почему оконечные высококачественные усилители выполняют из отдельных усилительных блоков?
- Какие приемы монтажа используют для обеспечения стабильности работы электронных генераторов?
- Какие способы защиты от посторонних помех реализуют при сборке и монтаже радиоприемных устройств?
- На каком этапе сборки телевизионных приемников должно быть обеспечено высокое качество приема телевизионного сиграла?
- Какие дополнительные мероприятия необходимо предусмотреть при сборке больших ЭВМ?

VII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТАХ

Глава 19

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

19.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕТРОЛОГИИ

Заключительными этапами технологических операций сборочно-монтажных работ являются оценка качества, тестирование и наладка радиоэлектронного устройства. Операции на этих этапах проводят с использованием измерительных приборов.

Измерительный прибор (***измеритель***) — это сложное радиотехническое устройство, предназначенное для измерения параметров и исследования характеристик электрических сигналов, активных и пассивных радиоэлементов.

В состав измерительного прибора, как правило, входят:

50. измерительный преобразователь, который преобразует измеряемый параметр в форму, удобную для хранения, передачи и оценки;
51. электрическая мера, представляющая собой образцовый или пороговый уровень, с которым сравнивается измеряемая величина;
52. устройство обработки полученной информации — цифровое или аналоговое;
53. устройство индикации результата измерения в доступной для наблюдателя форме.

Способ измерения может быть: прямым, косвенным, совместным, совокупным. При любом измерении имеют место погрешности. В технике измерений используют:

7. абсолютную погрешность — разность между номинальным значением и измеренной величиной;

Щ.

8. относительную погрешность — отношение абсолютной погрешности к полученному при изменении значению;
9. приведенную погрешность — отношение абсолютной погрешности к диапазону измерений, %.

С погрешностями связан важнейший параметр измерителей — класс точности, который определяется как приведенная погрешность, округленная до ближайшего значения — 0,05; 0,1; 1,0; 2,5 и т.д. Значение класса точности нормируется, наносится на панель прибора и заключается в кружок, например (Z5).

Измерительные приборы характеризуются также пределом (диапазоном) измерений, который определяется как допустимые значения минимальной и максимальной измеряемой величины измерительного прибора, и чувствительностью — способностью реагировать и фиксировать минимальную входную величину с нормируемой погрешностью.

19.1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Измерительные преобразователи подразделяют на электрические измерительные системы и датчики.

К основным ***измерительным системам*** (измерительным «головкам») относятся магнитоэлектрическая, электромагнитная и электростатическая системы. В табл. 19.1 приведены основные характеристики этих систем.

Таблица *19.1.* Классификация измерительных систем

Вид системы	Измеряемое значение	Высший класс точности	Способ расширения предела измерений	Соотношение величин относительно амплитудного значения, U_a
Магнитоэлектрическая	Среднее	0,1	Шунт	$U_{мзм} = 2/7cU_a$
Электромагнитная	Действующее	0,2	Включение измерительного трансформатора или добавочного резистора	$1/_{изм} = 0,7071/_a$

Окончание табл. 19.1

Вид системы	Измеряемое значение	Высший класс точности	Способ расширения предела измерений	Соотношение величин относительно амплитудного значения, U_a
Электро-статиче-ская	Действую-щее	0,5	Включение емкостного делителя	$1/_{изм} = 0{,}707U_a$

Более подробно с указанными в табл. 9.1 и другими измерительными системами можно познакомиться в [35].

Датчики измерительных приборов могут быть выполнены в виде резисторов, конденсаторов, терморезисторов, пьезоэлементов, датчиков Холла, тензодатчиков, микрофонов, вибропреобразователей и т. д.

Представим кратко работу измерительного преобразователя на примере магнитоэлектрической системы (рис. 19.1) как наиболее популярной в радиоэлектронных измерениях. Она основана на методе взаимодействия магнитного поля постоянного магнита с магнитным полем измеряемого электрического тока, который про-

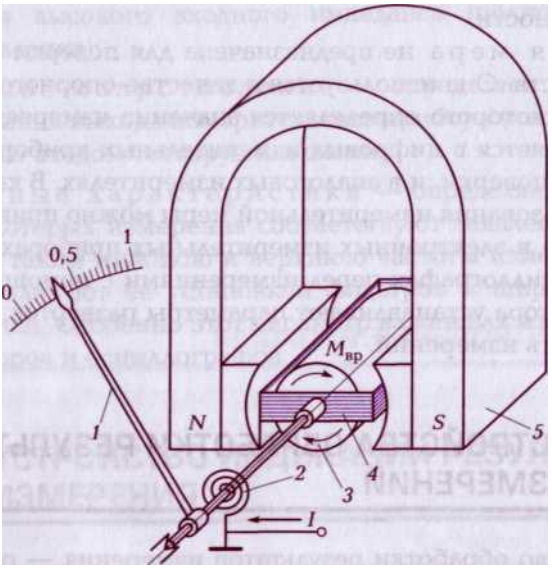


Рис. 19.1. Конструкция магнитоэлектрической системы:
7 — стрелка: *3* — пружина; 3 — барабан; 4 — катушка; 5 — магнит

кает по катушке ***4,*** намотанной на барабан ***3.*** Возникающая электромагнитная сила преодолевает действие пружины ***2*** и отклоняет стрелку прибора ***1.*** Отсчет ведется по шкале. Эта система пригодна только для измерения постоянных токов. Чтобы измерить переменный ток, используют выпрямители.

Показанная на рис. 19.1 измерительная система применяется в аналоговых стрелочных приборов везде, где необходимо следить за мгновенными изменениями параметров и, что особенно важно, при отладке приборов после монтажа.

19.2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ

Измерительные меры бывают образцовые и рабочие.

Образцовые меры — имеют нормированную предельную погрешность и аттестованы по эталону. В качестве образцовой меры могут использоваться магазины сопротивлений, генераторы образцовых колебаний, источники опорного напряжения и т.д. Образцовая мера может быть выполнена в виде отдельного модуля или встроенного устройства, по ней проводят поверку исполнительных механизмов прибора. Образцовым может быть так же любой измерительный прибор из номенклатуры с самым высоким классом точности.

Рабочая мера не предназначена для поверки измерительных устройств. Она используется в качестве опорного уровня, относительно которого определяется значение измеряемой величины. Применяется в цифровых измерительных приборах, которые не требуют поверки, и в аналоговых измерителях. В качестве примера использования измерительной меры можно привести работу калибратора в электронных измерительных приборах. Так, в аналоговых осциллографах перед измерениями с помощью образцового генератора устанавливают параметры разверток, определяющих точность измерений.

УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Устройство обработки результатов измерения — основной измерительный узел. Классифицируют эти устройства:

- по принципу действия — аналоговые и цифровые;

10. рабочему диапазону частот — низкочастотные и высокочастотные;
11. методу измерения — прямого или косвенного действия;
12. потребляемой мощности.

Устройство, как правило, включает в себя входные цепи приборов, преобразователи сигналов датчиков, измерительные схемы, усилители и задающие генераторы, выходные узлы обработки для представления результатов измерений в явной форме.

Точность и качество обработки измерений определяется параметрами устройства, основными из которых являются следующие:

13. входное сопротивление. Для измерительных приборов, подключаемых параллельно нагрузке, входное сопротивление должно быть максимальным, а для приборов, включаемых непосредственно в цепь, наоборот, должно иметь минимальное значение. Реализуют в виде установки на входе резистора или входного полевого транзистора;
14. входная емкость — имеет определяющее значение для измерительных приборов, имеющих дело с фиксацией, наблюдением и измерением параметров реактивных элементов, характеристик фильтров, пульсирующих напряжений. Она должна соответствовать полосе частот измеряемого сигнала для обеспечения высокого входного импеданса (полного входного сопротивления);
15. выходное сопротивление — определяет возможность согласования выхода измерительного прибора (например, генератора) со входом тестируемой схемы;
16. частотные характеристики — определяют область частот, в которых измерения соответствуют заявленной погрешности, а также нижнюю и верхнюю частоты измеряемого сигнала. Реализуют ее установкой фильтров и широкополосных усилителей. Особенно этот параметр важен для измерительных генераторов и осциллографов.

УСТРОЙСТВО ИНДИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Индикаторные устройства в измерительной технике предназначены для наблюдения и фиксации результата измерения. По виду представления информации они подразделяются:

17. на бумажные — информация представляется в виде графиков и гистограмм, развернутых во времени. Этот вид индикации используют в измерительных приборах для фиксации непредсказуемых событий (например, сбоев питания серверов, работающих непрерывно в течение длительного времени) и отслеживания процессов по времени;
18. стрелочные — фиксация измеренной величины происходит за счет отклонения стрелки. Используют в аналоговых приборах и щитовых приборах наблюдения за поведением тока и напряжения. Стрелочные приборы индикации имеют некоторое преимущество перед бумажными, так как чувствительная стрелка, соединенная непосредственно с измерительным преобразователем, реагирует на все изменения в цепи в реальном времени. Это необходимо при фиксации переходных процессов в цепях;
19. оптические — в них индикатором служит световой «зайчик», который указывает текущее значение на шкале прибора. Этот принцип индикации чувствителен к малым изменениям тока и напряжения. Используется в гальванометрах;
20. знаковые индикаторы — фиксирует результат измерения в виде цифр непосредственно на экране. Его преимущества перед другими устройствами индикации связаны с цифровой обработкой сигналов и наглядностью показаний. К их недостатку следует отнести то, что точность измерений определяется разрядностью индикатора. В последнее время этот недостаток преодолевают, используя в измерительных приборах экраны ЖКИ, на которых можно наблюдать не только цифровые результаты измерений, но и графики зависимости измеряемых величин и другие сведения;
21. электронно-лучевые трубки —фиксируют непрерывно протекающие процессы в реальном времени. Их используют в осциллографах, анализаторах спектра и характериографах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

3. Перечислите элементы структуры типичного измерительного прибора и укажите свойства узлов, его составляющих.
4. Какие виды измерительных преобразователей вы знаете? Назовите их характеристики и области применения.
5. Что означает класс точности измерительного прибора? Как он определяется?
6. Как реализуется возможность наблюдения за результатами измерений?
7. Отчего зависит чувствительность измерительных приборов?

Глава 20

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

20.1. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В измерительной практике различают электротехнические и радиотехнические типы измерений.

При электротехнических измерениях их объектами являются мгновенные, амплитудные и действующие значения тока и напряжения, сдвиг фаз и мощность трех- и однофазных сетевых промышленных частот.

При радиотехнических измерениях объектами прямых измерений являются амплитудное значение напряжения, частота, период колебаний, фазовые соотношения, нелинейные искажения импульсных и непрерывных сигналов и параметры пассивных и активных элементов. Косвенным методом измеряют коэффициенты модуляции, длительность импульсов, коэффициент усиления, коэффициент полезного действия и т.д.

Способ электротехнических измерений определяется мерой воздействия переменного тока и напряжения на участки электрической цепи. В технике измерений приняты следующие формы представления переменных токов и напряжений и их значений:

22.амплитудное (U_a, $/_а$);

23.действующее ($C/_д$);

24.среднее ($t/_{ср}$);

25.средневыпрямленное ($t/_В$);

26.постоянная составляющая ($U_{пост}$).

Соотношения перечисленных величин приведены в табл. 20.1. Способ радиотехнических измерений выбирается исходя из поставленной задачи. Так, оценка параметров импульсов возможна только с использованием осциллографа. Временные характеристики оцениваются комплексными приборами, включающими в свой состав генераторы стабильных прямоугольных импульсов и осциллографические трубки. Для исследования контуров и фильтров используют генератор гармонических синусоидальных колебаний.

Таблица 20.1. **Виды напряжений и токов, определяемые измерительными приборами**

Вид напряжения и тока	Обозначение и расчетные соотношения	Определяемый показатель	Тип применяемого измерительного преобразователя
Амплитудное значение	$U_а$, $I_а$	Максимальное значение («размах»)	Пиковый вольтметр
Действующее значение	$U_А = 0{,}707U_а$	Эквивалентно действию постоянного тока на активной нагрузке	Вольтметры электромагнитной системы
Среднее значение	$U_{ср} = 0{,}63U_а$	Среднее арифметическое напряжение, выделяемое на активной нагрузке за полпериода переменного тока за период	Вольтметры магнитоэлектрической системы
Средне-выпрямленное	$U_в = 0{,}7U_а$	Напряжение после однополупериодного выпрямление	Вольтметры выпрямительной системы
Постоянная составляющая	$U_{пост}$	Характерна для пульсирующих напряжений и токов в виде постоянного уровня (значение амплитуды «нулевой» гармоники)	Вольтметры и амперметры постоянного тока

20.2. ТИПЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Для измерения параметров электрических цепей независимо от типа измерений используют: вольтметры и амперметры постоянного и переменного тока (авометры), ваттметры, фазометры, частотомеры, измерители нелинейных искажений.

Авометры могут быть выполнены в электронном и цифровом исполнении. Они характеризуются следующими параметрами:

27. диапазоном измерений, определяемым для каждого вида измерений (диапазоны могут разбиваться на поддиапазоны);
28. входным импедансом. Чем выше его значение, тем чувствительнее прибор и меньше его влияние на измеряемую цепь;
29. максимальным значением перегрузок, определяющим максимальные значения тока и напряжения, которые могут действовать на входе без вывода прибора из строя;
30. напряжением источника питания для электронных цепей устройства.

Характерным представителем авометров в аналоговом исполнении является электронный вольтметр. По точности измерений он значительно превосходит стрелочные приборы за счет высоких входного сопротивления, которое может достигать 5 МОм, и входной емкости — 50 нФ. Измерительной мерой электронного вольтметра является электронный мост из транзисторов, который при измерении выходит из равновесия, и по его диагонали течет ток, фиксируется головкой магнитоэлектрической системы. Индикация измеряемой величины — стрелочная.

Лучшие характеристики, чем электронный вольтметр, имеют цифровые вольтметры (рис. 20.1), которые наряду с точностью цифровой обработки предоставляют такие дополнительные опции, как автоматическое переключение диапазонов, простоту настройки и использования.

Обработка входной величины выполняется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП), тем самым исключается влияние погрешностей входных резисторов. Входной импеданс определяется входными характеристиками полевых транзисторов и достигает десятков мегаом. Индикация измеренного параметра отражается на цифровом дисплее. Точность измерений определяется разрядностью АЦП и разрядностью индикатора.

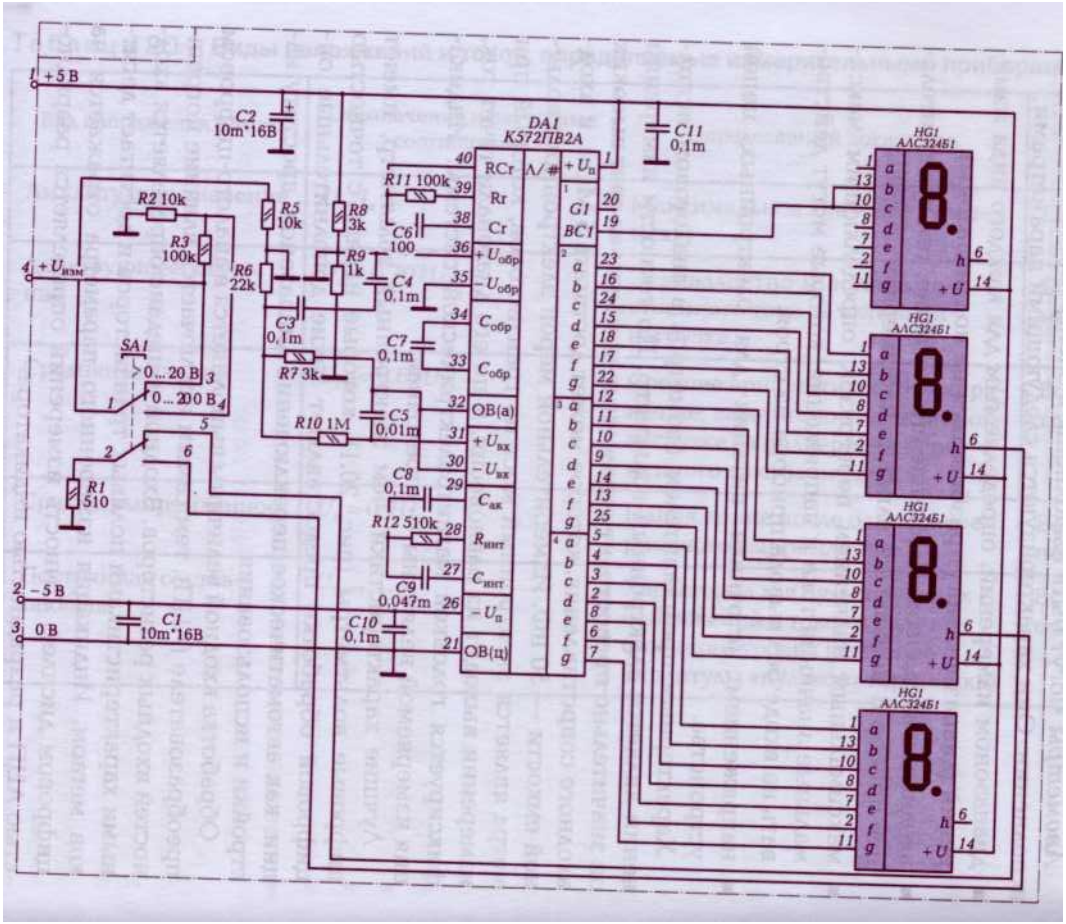


Рис. 20.1. Схема цифро-

Для измерений малых величин напряжений и токов используют ***гальванометр*** — чувствительный, но маломощный прибор. Применение зеркального гальванометра, на подвижной части которого укреплено небольшое зеркальце, позволяет фиксировать микротоки.

Одна из современных разновидностей гальванометра — термогальванометр. Прибор снабжен термопреобразователем, состоящим из подвижной рамки в виде витка проволоки. Виток биметаллический. Таким образом, рамка представляет собой термопару. У одного из сплавов, к которому подводится измеряемый ток, расположен нагреватель. При прохождении измеряемого тока в витке возникает термоток, что и приводит рамку в движение — и она отклоняется от нулевого положения.

Для измерения мощности используются ***ваттметры:***

- низкочастотные или постоянного тока;
- радиочастотные;
- оптические.

Низкочастотные ваттметры используют преимущественно в сетях электропитания промышленной частоты для измерения потребляемой мощности. Они могут быть однофазные и трехфазные. Цифровые приборы обычно совмещают в себе возможность измерения активной и реактивной мощности [35].

Радиочастотные ваттметры применяют в цепях проводной связи и оптоволоконных линий. Их работа основывается на применении различных типов первичных преобразователей на базе термисторов, термопар и т.д. По назначению они подразделяются на ваттметры проходящей мощности, включаемые в разрыв линии передачи, и ваттметры поглощаемой мощности, подключаемые к концу линии в качестве согласованной нагрузки. В зависимости от способа преобразования измеряемой величины радиочастотные ваттметры бывают аналоговые (показывающие и самопишущие) и цифровые.

Ваттметры оптического диапазона используют для измерения оптического излучения средней мощности в одно- и многомодовых волоконно-оптических системах связи в диапазоне волн 0,6—1,6 мкм. Принцип действия приборов основан на преобразовании фотодиодом мощности оптического излучения в электрический сигнал. Измеряемые оптические сигналы по оптическому световоду подаются на оптический вход прибора. Далее оптический сигнал поступает на фотоприемник, трансформирующий свет в электрические сигналы, которые по кабелю поступают на вход АЦП.

Частотомеры применяют для измерения частоты периодического процесса или частот гармонических составляющих спектра сигнала. В эту группу входят резонансные, гетеродинные, конденсаторные и электронно-счетные частотомеры. Частотомер подключается к выходу схемы или параллельно контуру, фильтру. Современные частотомеры могут измерить частоту сигнала в пределах 1 мГц — 2 ГГц. С их помощью можно измерить период, отношение частот, промежуток времени, ширину импульса, скважность. Спектр частот условно подразделяют на инфракрасный (ниже 20 Гц), звуковой (20...20000 Гц), ультразвуковой (20....200 кГц) и высокочастотный (200 кГц и более). Выбор метода измерения зависит от диапазона и необходимой точности, величины и формы измеряемой величины [35].

Измерения разности фаз и coscp производят с использованием ***фазометров.*** Измерения сводятся к подключению к соответствующим зажимам фазометра исследуемых напряжений, между которыми необходимо измерить фазовый сдвиг. В маломощных цепях и диапазоне частот до 150 МГц предпочтительнее использовать цифровые фазометры, например отечественные приборы семейства Ф51. В них сдвиг по фазе двух сигналов преобразуется во временной интервал, заполненный импульсами синхронизации.

Измерение нелинейных искажений выполняют с помощью ***измерителей нелинейных искажений.*** Одним из таких приборов является, например, отечественный прибор марки С6-11, предназначенный для измерения коэффициента гармоник в полезном однотоновом сигнале. Минимально измеряемый коэффициент гармоник до 0,03 %.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6. Какие параметры электрических сигналов являются объектами измерений?
7. Какими приборами измеряют амплитуды напряжений и токов?
8. Опишите принцип работы электронного вольтметра и особенности его применения.
9. В чем достоинства и недостатки цифровых измерительных приборов?
10. Какими приборами можно измерить небольшие токи и напряжения?

Глава 21

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

21.1. ИЗМЕРЕНИЕ И НАБЛЮДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

К характеристикам электрических сигналов, требующих исследования после выполнения сборочно-монтажных операций, относятся:

31. форма сигнала, по которой определяют временные характеристики фронтов и вершины импульсов;
32. вольт-амперная характеристика (ВАХ);
33. амлитудно-частотная характеристика (АЧХ);
34. полоса частот;
35. спектр сигнала.

Перечисленные характеристики можно получить с помощью осциллографов, генераторов качающей частоты (измерителей АЧХ), анализаторов спектра. В качестве дополнительных устройств используют измерительные генераторы.

Осциллограф — это электронный измерительный прибор, предназначенный для измерения параметров электрических сигналов и наблюдения за их поведением во времени.

Осциллографы различают:

36. по типу:
    - А универсальный;
    - А стробоскопический;
    - А запоминающий;
37. по принципу представления информации:
    - А цифровой;
    - А аналоговый;
38. по конструкции:
    - А одноканальный;
    - А двухканальный;
    - а двулучевой;
39. по области применения:

40. узкополосный (высокочастотный и низкочастотный);

41. широкополосный.

К наиболее важным параметрам осциллографа относятся:

42. чувствительность по вертикали, или коэффициент отклонения, указывает на минимальный уровень сигнала, при котором луч отклоняется на одно деление. Чувствительность измеряют в милливольтах на одно деление вертикальной разметки экрана осциллографа;

43. ширина полосы пропускания — это диапазон частот, при котором коэффициент усиления по вертикали не падает на величину более чем 3 дБ от коэффициента усиления на средних частотах. Измеряется в герцах. Частью этого параметра является верхняя и нижняя частоты, которые указываются особо, так как при выходе частоты сигнала за установленные пределы во многих осциллографах изображение сигнала теряется;

44. точность измерений — относительная погрешность по амплитуде и частоте. У осциллографов она составляет 1 —3 %;

45. разрешение осциллографа — указывает на возможность различать близкие по частоте или амплитуде сигналы. Высокой разрешающей способностью обладают цифровые осциллографы;

46. входной импеданс — измеряется в омах. Определяет полное входное сопротивление по постоянному и переменному току. Входной импеданс осциллографов достигает значений в несколько мегаом.

Работа осциллографа базируется на принципе отклонения луча электростатическим полем, созданным генератором развертки по горизонтали, и напряжением исследуемого сигналом по вертикали [8].

Осциллограф позволяет исследовать и наблюдать любые виды непрерывных сигналов и постоянное напряжение, при этом можно измерять их параметры по амплитуде и частоте.

На рис. 21.1 показана функциональная схема ***аналогового осциллографа,*** основным элементом которого является ЭЛТ с электростатическим отклонением луча.

Исследуемый сигнал поступает на вход осциллографа и, пройдя преобразование (масштабирование, усиление, частотную коррекцию), подается на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ (см. подразд. 6.2), а внутренний генератор формирует пилообразное напряжение развертки по горизонтали. Частота развертки должна быть кратна частоте сигнала, при этом на экране будет наблюдаться устойчивое изображение.

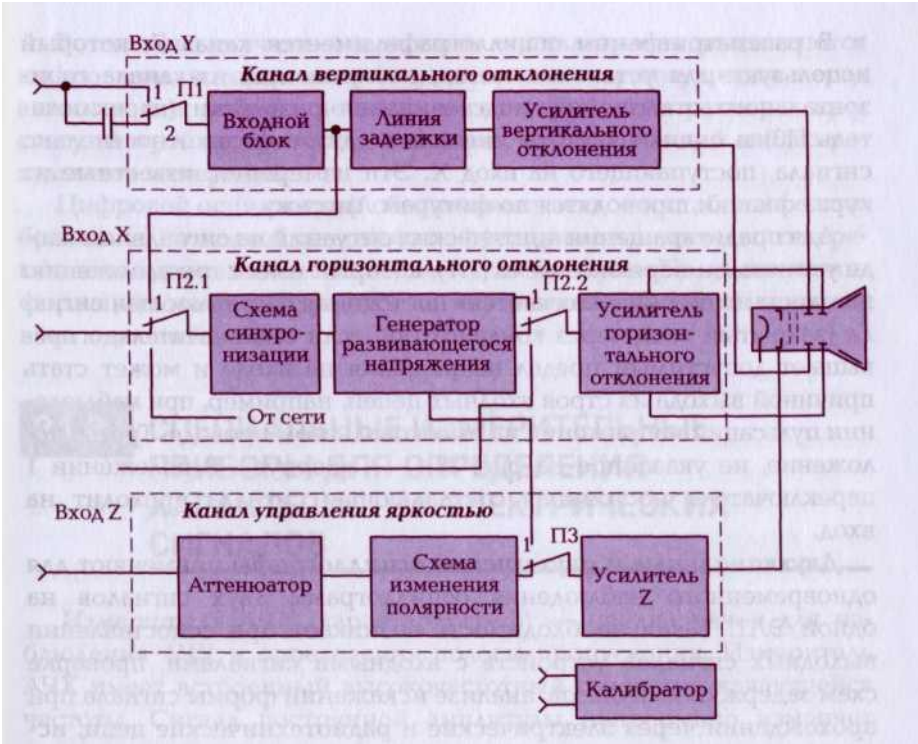


Рис. 21.1. Функциональная схема осциллографа

Для выполнения режима синхронизации и стабильности на панели осциллографа имеются ручки установки длительности развертки и синхронизации. Внутреннюю синхронизацию используют для большинства наблюдений, она формируется внутренним генератором канала вертикального отклонения. Внешнюю синхронизацию (переключатель П2.1 на рис. 21.1) используют в редких случаях, она обеспечивается подключением внешнего прецизионного генератора. Вид синхронизации от сети позволяет синхронизировать сигналы с частотой, кратной напряжению сети, чтобы исключить влияние помех. Ручки управления установки масштаба по амплитуде и длительности развертки имеют калиброванные деления для проведения измерений параметров сигнала в любой точке. Через переключатель П2.2 можно подавать напряжение развертки от постороннего источника пилообразного напряжения. Для обеспечения точности этих измерений осциллограф имеет внутренний калибровочный генератор.

В рассматриваемом осциллографе имеется канал Z, который используют для установки меток, поступающих из канала горизонтального отклонения, подсвечивания развертки (переключатель ПЗ) и оценки частоты сигнала и сдвига фазы относительно сигнала, поступающего на вход X. Эти измерения, известные из курса физики, проводятся по фигурам Лиссажу.

Для предотвращения критических ситуаций на сигнальном входе установлен переключатель (П1), который имеет три положения: на одном из них (2) «отсекается» постоянная составляющая сигнала (закрытый вход через конденсатор), если она значительно превышает допустимый предел напряжения на входе и может стать причиной выхода из строя входных цепей, например, при наблюдении пульсаций напряжения на высоковольтном проводе. Третье положение, не указанное на рис. 21.1, — «корпус». В положении 1 переключателя постоянная составляющая сигнала проходит на вход.

Двухканальные и ***двухлучевые осциллографы*** применяют для одновременного наблюдения осциллограмм двух сигналов на одной ЭЛТ. Такая необходимость возникает при сопоставлении выходных сигналов устройств с входными сигналами, проверке схем задержки импульсов, анализе искажений формы сигнала при прохождении через электрические и радиотехнические цепи, исследовании фазовых сдвигов, сравнении сигналов в различных временных сечениях сложных электронных систем и т. п.

Двухканальные осциллографы содержат два канала вертикального отклонения и электронный переключатель, который попеременно подает выходные сигналы обоих каналов и на одни и те же вертикально отклоняющие пластины обычной ЭЛТ. Оба канала идентичны. При этом есть возможность наблюдать сигналы как отдельно, так и вместе. Недостаток этого осциллографа в том, что сигналы двух каналов периодически подключаются к одним и тем же отклоняющим пластинам, и при некоторой частоте переключения «картинка» начнет «рассыпаться».

Двухлучевой (многолучевой) осциллограф имеет специальную ЭЛТ с двумя независимыми отклоняющими системами, это позволяет наблюдать одновременно две осциллограммы двух синхронных сигналов. Преимущества двулучевого осциллографа перед двухканальным очевидны: двулучевой осциллограф позволяет проводить раздельную обработку двух сигналов, каждого в своем канале, без частотных ограничений. Число лучей может быть и больше двух, но, как правило, в радиотехнических измерениях их не используют.

Во многих случаях аналоговые осциллографы вытесняются цифровыми, которые имеют существенные преимущества перед аналоговыми: небольшие массу и геометрические размеры; простоту настройки; точность измерений, автоматический анализ результатов измерений.

Цифровой осциллограф обеспечивает четкое и стабильное изображение, позволяет реализовать функции автоматического переключения диапазонов с выводом меню на экран. Полученную информацию можно сохранить во внутренней памяти и использовать в дальнейшем.

21.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Измеритель АЧХ (характериограф) — предназначен для наблюдения АЧХ и определения полосы пропускания. Измеритель АЧХ имеет встроенный высокочастотный генератор качающейся частоты. Сигнал постоянной амплитуды непрерывно изменяет свою частоту в некоторой полосе частот от начала полосы до ее конца (сканирует). Тем самым через измеряемую цепь проходит целый набор частотных составляющих. Вторая часть измерителя представляет собой широкополосный высокочастотный осциллоскоп (разновидность осциллографа). Выход прибора (генераторная часть) подключают к входу исследуемого устройства, а выход исследуемого устройства — к входу измерителя (осциллоскопа). В конструкции измерителя АЧХ имеется также высокочастотный генератор прямоугольных импульсов для меток. В результате на экране осциллографа можно наблюдать АЧХ и определять полосу пропускания, граничные частоты по расположению меток на характеристике относительно оси частот.

Анализатор спектра применяют для исследования высокочастотных устройств, где осциллограф не может быть использован из-за ограниченности полосы пропускания. С его помощью анализируют работу антенно-фидерных устройств, тюнеров, систем спутникового телевидения, телефонии и проводной связи.

Анализаторы спектра классифицируют:

- по диапазону частот — высокочастотные радиочастотного диапазона и сверхвысокочастотные оптического диапазона;

47. принципу действия — параллельного и последовательного типа;
48. способу обработки измерительной информации и предоставлению результатов —аналоговые и цифровые;
49. характеру проводимого анализа — скалярные, дающие информацию только об амплитудах гармонических составляющих спектра, и векторные, предоставляющие в том числе информацию о фазовых соотношениях в сигналах.

Радиочастотный анализатор спектра [1] позволяет определить амплитуды и частоты спектральных составляющих, входящих в состав реального сигнала. Важнейшей его характеристикой является разрешающая способность как наименьший интервал А/ по частоте между двумя спектральными линиями, которые различаются анализатором.

Анализаторы оптического спектра строятся на основе дифракционной решетки. Необходимость данного вида измерений в первую очередь связана с контролем спектра источников оптического (лазерного) излучения, а также определением степени влияния спектральных составляющих на передачу данных по волоконно-оптическим линиям связи. Анализатор спектра подключается к исследуемой схеме с помощью СВЧ «глухих» разъемов и экранированных кабелей.

Измерительные генераторы [7] используют в качестве источников исследовательских сигналов, с помощью которых проверяется качество частотных характеристик каналов связи и электрических цепей. Измерительные генераторы различают по диапазону частот и форме измерительных сигналов.

Низкочастотные генераторы формируют на своем выходе сигнал гармонического синусоидального колебания частотой от нескольких единиц герц до 200 кГц. Основными параметрами этих генераторов является стабильность калиброванной амплитуды и частоты, с минимальным количеством искажений и гармоник. Используют эти генераторы для проверки качества цепей работающих в усилительных каскадах звуковой частоты. Очень часто их называют звуковые генераторы.

Высокочастотные генераторы с частотой измерительного сигнала до сотен мегагерц используют для проверки цепей преобразователей высокочастотных сигналов, поэтому выходной сигнал в них представлен в амплитудно- и частотно-модулированном виде с изменяемой глубиной модуляции.

Генераторы прямоугольных импульсов используют для проверки цифровых схем. В их опции входит изменение длительности, скважности, периода импульсов.

К специальным измерительным генераторам относят генераторы специальных сигналов: трапецеидальных, пилообразных и треугольных. Одна из их разновидностей — генераторы шумов для проверки каскадов усилителей на отношение сигнала к шуму, помехоустойчивости и избирательности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4) На каких принципах основана работа осциллографа? Опишите структурную схему и основные органы управления.
5) Как измерить основные параметры импульсных сигналов с помощью осциллографа?
6) Для чего необходимо проводить калибровку осциллографа и как она выполняется?
7) В чем принципиальное отличие аналогового осциллографа от цифрового?
8) Как измерить частотный диапазон устройства с помощью измерителя АЧХ?

Глава 22

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

22.1. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Функциональность радиоэлектронных узлов после сборочных и монтажных работ зависит от качества отдельных дискретных компонентов.

Чтобы не допустить брак, проводится входной контроль радиоэлементов. Он выполняется на специальном измерительном оборудовании для оценки параметров дискретных элементов: резисторов, конденсаторов, индуктивностей, диодов, транзисторов и т. д.

Для измерения сопротивления постоянному току используют омметры и мегомметры.

Омметрами измеряют значения сопротивления от 0,1 Ом до 100 Мом.

Принцип действия омметра основан на сравнении измеряемого сопротивления с образцовым. Для измерения сопротивления омметру необходим источник питания (батарейка или аккумулятор) для преобразования размерности сопротивления в электрический ток, фиксируемый магнитоэлектрической системой. Большое сопротивление для измерения включают последовательно с образцовым. Перед измерением проводят калибровку прибора: замыкают зажимы накоротко и выставляют стрелочный указатель в нулевое положение с помощью механического регулятора. Можно использовать параллельную схему подключения для измерения малых сопротивлений.

Мегомметры применяют для измерения параметров изоляции проводов и обмоток электротехнических устройств при напряжениях от 500 до 3 000 В.

Мегомметры используют логометрическую систему измерения. В этом случае применяются две катушки, намотанные на один барабан. Внутри мегомметра установлен генератор с ручным приводом. Генератор создает электромагнитное поле в катушках. Ток одной катушки протекает через образцовый резистор, а второй — через измеряемое сопротивление. Отклонение стрелки зависит от

соотношения образцового сопротивления с измеряемым. Этим прибором измеряют сопротивление изоляции проводов и кабелей.

Для точного измерения сопротивления используют мостовой метод. В одну диагональ моста включается нуль-индикатор, а в другую — источник тока, в одно плечо включается измеряемый объект, в оставшиеся три — калибровочные меры (образцовые резисторы, один из которых переменный). Процесс измерения сводится к уравновешиванию моста (по нуль-индикатору не должен течь ток). Отсчет номинала ведется по показаниям калибровочной меры (например, магазину сопротивлений).

Электронные омметры аналогового типа основаны на преобразовании сопротивления в напряжение с помощью специального усилителя операционного типа. Тем самым обеспечивается точность и стабильность показаний.

Цифровые омметры являются своеобразным измерительным мостом, с автоматически управляемым уравновешиванием. Несмотря на сложное определение, сам принцип работы довольно прост. В зависимости от измеряемого сопротивления происходит автоматический подбор номиналов уравновешивающих резисторов, после чего информация о результате измерений отображается на цифровом дисплее.

Измерение индуктивности L_x (рис. 22.1) проводят с использованием эталонной емкости C_s, одинаковые активные сопротивления R, и R_2 включают в противоположные плечи моста. Мост уравновешивают изменением C_s. При этом искомая индуктивность $L_x = R_1R_2C_s$.

Для определения емкости вместо индуктивности L_x подключают измеряемый конденсатор, а вместо C_s эталонную индуктив-

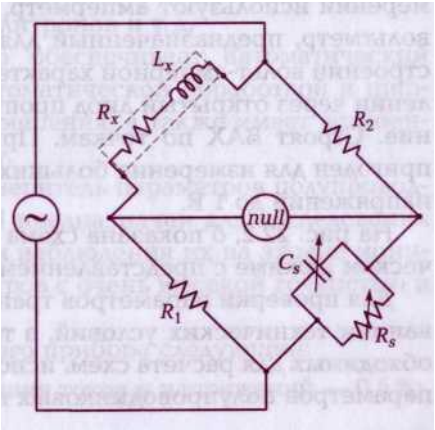


Рис. 22.1. Мостовая схема измерения индуктивности и емкости

ность. Сопротивление R_s подключается для компенсации сопротивления потерь $C_S(L_S)$.

Резонансный метод измерений получил распространение на высоких частотах, так как на низких частотах из-за низкой добротности резонансные явления проявляются значительно слабее. Резонансным способом измеряют индуктивности и емкости, включаемые в контур с эталонной индуктивностью или емкостью. Контур подключают к генератору высокой частоты через разделительный трансформатор. Изменяя частоту генератора, добиваются настройки контура в резонанс, о чем судят по максимальному току в контуре. По индикатору, проградуированному в единицах емкости и индуктивности, определяют номинал неизвестного элемента. Способ имеет ограничения по номиналам: при больших емкостях и индуктивностях он дает большую погрешность измерений.

22.2. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Дискретные полупроводниковые элементы (диоды, транзисторы и др.) обладают рядом параметров, которые имеют определяющее значение для функционирования схем, и поэтому подлежат особому контролю.

Параметры диода на постоянном токе можно измерить с помощью схемы, показанной на рис. 22.2, ***а***.

Для измерения напряжения пробоя через диод пропускается в обратном направлении постоянный ток, равный нормально допустимому току утечки, и измеряется напряжение на диоде. Для измерений используют амперметр, рассчитанный на малые токи, и вольтметр, предназначенный для больших напряжений. При построении вольт-амперной характеристики (ВАХ) в прямом направлении через открытый диод пропускают ток и замеряют напряжение. Строят ВАХ по точкам. При этом амперметр должен быть пригоден для измерения больших токов, а вольтметр — для малых напряжений до 1 В.

На рис. 22.2, ***б*** показана схема измерения ВАХ диода в динамическом режиме с представлением ее на экране осциллографа.

Для проверки параметров транзисторов на соответствие требованиям технических условий, а также для получения данных, необходимых для расчета схем, используют стандартные измерители параметров полупроводниковых приборов. К аналоговым измери-

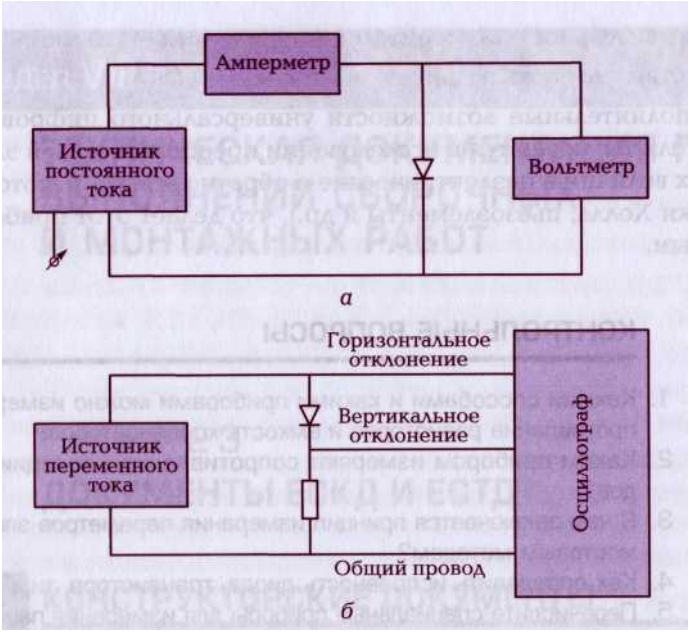


Рис. 22.2. Схема для измерения параметров диода:
а — схема измерения параметров диода; б — схема измерения ВАХ диода

телям относят серию приборов отечественного производства: Л2-54, Л2-68 и др.

Для измерения параметров полевых транзисторов используют приборы марки Л2-78 или Л2-80. Эти измерители предназначены для измерения основных статических параметров: обратного тока коллектора; обратного тока диодов; статического коэффициента передачи тока транзисторов типа $h_{2}i$; прямого напряжения диодов; напряжения стабилизации стабилитронов и т.д.

Цифровой измеритель Л2-76 обеспечивает автоматический цикл измерения параметра с автоматической обработкой и цифровой индикацией результата измерения, а также имеет встроенную самопроверку и диагностику.

Универсальный цифровой измеритель параметров полупроводниковых приборов серии ИППП предназначен для исследования ВАХ электронных компонентов и наблюдения их на экране монитора, а также измерения параметров с очень высокой точностью и достоверностью.

Основные характеристики этого прибора следующие:

- погрешность установки/измерения токов и напряжений — 0,5 %;

50. чувствительность измерителей напряжений — 10 мкВ;
51. чувствительность измерителей токов — 0,1 пА.

Дополнительные возможности универсального цифрового измерителя заключаются в исследовании преобразователей электрических величин в неэлектрические и обратно (свето- и фотодиоды, датчики Холла, пьезоэлементы и др.), что делает этот прибор уникальным.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какими способами и какими приборами можно измерить сопротивление резисторов и емкость конденсаторов?
- Каким прибором измеряют сопротивление изоляции проводов?
- В нем заключается принцип измерения параметров элементов мостовым методом?
- Как определить исправность диода, транзистора, тиристора?
- Перечислите специальные приборы для измерения параметров активных полупроводниковых элементов.

VIII

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СБОРОЧНЫХ И МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Глава 23
ДОКУМЕНТЫ ЕСКД И ЕСТД

23.1. КОНСТРУКТОРСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

При разработке и конструировании электронных устройств используется Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Государственные стандарты, входящие в ЕСКД, устанавливают взаимосвязанные единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторской документации на изделия.

Конструкторские документы (КД) — это документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие данные для его разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. По форме представления КД подразделяют на графические и текстовые.

К текстовым документам относят:

52. ***Пояснительную записку*** (ПЗ) — описание устройства и принципа действия изделия, а также обоснование принятых при разработке его технико-экономических решений;
53. ***Технические условия*** (ТУ) — требования к процессу изготовления, приемке, хранению, эксплуатации и утилизации продукта (изделия, материала, оборудования и т.д), а также указания по методам проверки. Разработка технических условий производится в том случае, если на изделие еще не разработан ГОСТ, либо изделие производят не по стандарту;

54. ***программу и методику испытаний*** (ПМ) — технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, порядок и методы их контроля;
55. ***расчет*** (РР) — расчеты параметров и величин, например, расчет размерных цепей, расчет на прочность, расчет теплового режима и др.;
56. спецификацию используемых деталей и материалов;
57. инструкцию пользователя (ИП) — указания и правила по грамотному использованию узла, детали, прибора при эксплуатации;
58. инструкцию (руководство) — указания сервисным службам и производственным участкам об особенностях изготовления изделия и его ремонта при сборке, регулировке, контроле и т. п.

Графические конструкторские документы — документы, в которых с помощью установленных стандартом символов и правил поясняются устройство, принцип действия, состав и связи между отдельными частями изделия. К ним относят:

59. сборочный чертеж (СБ) — изображение сборочных единиц и другие детали, необходимые для сборки и контроля;
60. чертеж общего вида (ВО) — изображение конструкции изделия, дающее представление о взаимодействии его основных частей и принципе работы;
61. монтажный чертеж (монтажная схема) — контурное (упрощенное) изображение изделия, содержащее данные для его установки (монтажа);
62. электромонтажный чертеж (ЭМ) или схема соединений — данные для электрического монтажа изделия;
63. схемы электрические, содержащие условно-графическое обозначение (УГО) элементов, узлов и блоков изделия и электрических связей между ними.

11. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Государственные стандарты Единой системы технологической документации (ЕСТД) устанавливают единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения технологической документации.

Технологическая документация (ТД) — текстовые и графические в отдельности или в совокупности определяют порядок изго-

товления изделия, проведения операций и содержащие необходимые данные для контроля и приемки изделий.

Основные технологические документы содержат сведения:

64. о комплектующих и составных частях изделия и применяемых материалах;
65. действиях, выполняемых исполнителями при проведении технологических процессов и операций;
66. средствах технологического оснащения производства — оборудовании, приспособлениях и инструментах;
67. расчете трудозатрат, материалов и средств технологического оснащения;
68. технологическом маршруте изготовления и ремонта.

Рабочие технологические документы используют, как правило, на рабочих местах. Вспомогательные технологические документы разрабатывают для улучшения и оптимизации организации работ по технологической подготовке производства. Производные технологические документы применяют для решения задач, связанных с нормированием трудозатрат, выдачей и сдачей материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий.

Различают следующие виды технологических документов:

69. ведомость технологических маршрутов — сводная информация по технологическому маршруту изготовления изделия и его составных частей;
70. ведомость материалов — сводные подетальные нормы расхода материалов на изделие;
71. ведомость сборки изделия — порядок сборки изделия с учетом очередности поступления составных частей и их количества;
72. ведомость оснастки — полный состав технологической оснастки (приспособлений и инструментов), применяемой при изготовлении (ремонте) изделия;
73. ведомость оборудования — полный состав оборудования, применяемого при изготовлении (ремонте) изделия;
74. технологическая инструкция — описание повторяющихся приемов работы, действий по монтажу, сборке, наладке и настройке средств технологического оснащения, приготовлению растворов, электролитов, смесей и др., а также отдельных типовых и групповых технологических процессов (операций);
75. маршрутная карта — сводные данные по составу применяемых операций, оборудованию, технологических документов и по трудозатратам на весь технологический процесс;

операционная карта (ОК) — описание единичных технологических операций на каждом рабочем месте.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие документы относят к конструкторской документации?
- Какие документы относят к технологической документации?
- Перечислите виды и типы технологических карт. Каково их назначение?
- В каких документах указывается состав, характеристики и параметры элементов, представленных на принципиальной схеме?
- Что вкладывается в понятие технические условия?

Глава 24

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

24.1. ВИДЫ И ТИПЫ СХЕМ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПРАВИЛА СОСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Схема — графический конструкторский документ, на котором в виде условных изображений или обозначений показаны составные части изделия и связи между ними.

Схемы применяют для изучения принципа действия прибора, их изготовления, наладки и ремонта, для понимания связи между составными частями изделия без уточнения особенностей их конструкции. Схемы являются исходным базисом для последующего конструирования отдельных частей и всего изделия в целом.

По виду элементов, входящих в состав изделия, связей между ними и назначения схемы подразделяют на виды и типы. В радиоэлектронике используются схемы электрические в конструкторской документации, которые обозначаются буквой Э. Виды электрических схем и их условное обозначение на чертежах приведены далее.

Обозначение видов электрических схем на чертежах

Вид схемы	Обозначение
Структурные	1
Функциональные	2
Принципиальные	3
Соединений (монтажные)	4
Подключения	5
Расположения	6
Общая	7

Например, схема электрическая принципиальная имеет обозначение ЭЗ.

Схема структурная — представляет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Ее разрабатывают при проектировании изделия на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются для общего понимания работы изделия.

Схема функциональная — разъединяет процессы, протекающие в различных цепях изделия, и представляет собой условное обозначение (в виде прямоугольников) каналов (цепей) обработки сигналов от входа до выхода или отдельных его участков, без подробностей проходящих в них процессов, но с указанием логических связей между ее отдельными участками в виде указующих стрелок. Схемой функциональной пользуются для изучения принципа работы изделия, а также при его наладке, контроле отдельных параметров и ремонте. В этой схеме допускается произвольное обозначение элементов.

Схема принципиальная (полная) — определяет полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дает детальное представление о принципах работы изделия. Схемой принципиальной пользуются для изучения принципов работы конкретного изделия, а также при его наладке, контроле параметров и ремонте. Она служит основанием для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений (монтажных) и чертежей.

Схема соединений (монтажная) — показывает соединения составных частей изделия и определяет провода, жгуты, кабели, которыми осуществляют эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и др). Схемами соединений (монтажными) пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь, чертежей и шаблонов, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей, установку радиоэлементов, а также при контроле параметров, эксплуатации и ремонте изделий.

Схема подключения — показывает внешние подключения изделия к измерительным и контрольным приборам, исполнительным механизмам и источникам питания. Схемой подключения пользуются при сборке изделий и его эксплуатации.

Схема общая — определяет составные части изделия и выполнение механических и электрических соединений. Этой схемой пользуются при ознакомлении с изделием, разборке и сборке его отдельных электромеханических узлов. Схему общую на сборочную единицу разрабатывают при необходимости.

Схема расположения — определяет относительное расположение составных частей изделия в пространстве, а также при необходимости жгутов, проводов, кабелей, кабелепроводов и др. Это обязательный элемент в сервисном обслуживании сложных изделий электронной техники; входит в состав Руководства по ремонту и обслуживанию.

Составными частями схем являются:

76. элемент схемы — составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное значение (микросхема, резистор, трансформатор и др.):
77. устройство — совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, модуль). Устройство может не иметь определенного функционального назначения;
78. функциональная группа — совокупность элементов, выполняющих определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию;
79. функциональная часть — элемент, устройство или функциональная группа, имеющая строго определенное функциональное назначение;
80. функциональная цепь — линия, канал на схеме, указывающие на наличие связи между функциональными частями изделия;
81. линия взаимосвязи —отрезок линии на схеме, указывающий на наличие связи между функциональными частями изделия;
82. линия электрической связи —линия на схеме, указывающая путь прохождения тока, сигнала и др.

24.2. ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ

При проектировании схем следует придерживаться правил, изложенных в соответствующих стандартах ЕСКД. В них устанавливаются условные графические обозначения элементов схем, требования к графическим соединением между элементами, правила размещения различных технических данных на условно графических обозначениях и т. д.

На схеме электрической функциональной (Э2) показывают функциональные части аппаратуры, определяющие ее работу, и связи между этими частями. На схеме должны быть указаны;

83. для каждой функциональной группы — наименование;
84. для каждого устройства, изображенного прямоугольником, — наименование, обозначение или тип;

85. для каждого устройства, изображенного в виде условного графического обозначения, — обозначение или тип;

86. для каждого элемента, если он прорисован, — позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, или тип.

Наименования, обозначения или типы устройства и элемента рекомендуется вписывать в прямоугольники. Допускается на схеме помещать поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность прохождения сигналов, а также указывать параметры в характерных точках (форма и величина импульсов, реализуемая логическая функция и т.д.).

Пример построения функциональной схемы показан на рис. 24.1.

На схеме электрической принципиальной (ЭЗ) указывают все элементы, необходимые для построения РЭА или ее отдельного узла, связи между элементами и элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи. Элементы в схеме изображают в виде условных графических обозначений (УГО), установленных стандартами ЕСКД ГОСТ 2.721—74, ГОСТ 2.708—81 и ГОСТ 2.759 — 82. Условные графические обозначения элементов изображают в положении, в котором они приведены в стандартах, или повернутыми на угол, кратный 90° (допускается осуществлять поворот на угол, кратный 45°).

Пример принципиальной электрической схемы приведен на рис. 24.2.

Электрические принципиальные схемы оформляют в соответствии с ГОСТ 2.702—2011, они должны отличаться выразительностью и четкостью графического решения.

Все размеры графических обозначений допускается пропорционально изменять. Элементы типа реле, трансформаторов и других изделий, имеющих большое число контактов, могут быть изображены на схеме двумя способами: совмещенным и разнесенным. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображаются на схеме в непосредственной близости друг к другу, при разнесенном — в различных местах для большей наглядности отдельных цепей.

Схемы рекомендуется выполнять строчным способом. Условное графическое обозначение устройств и элементов, входящих в одну цепь, изображают последовательно, друг за другом по прямой, а отдельные цепи — рядом, в виде параллельных горизонтальных или вертикальных строк. Графические обозначения элементов на

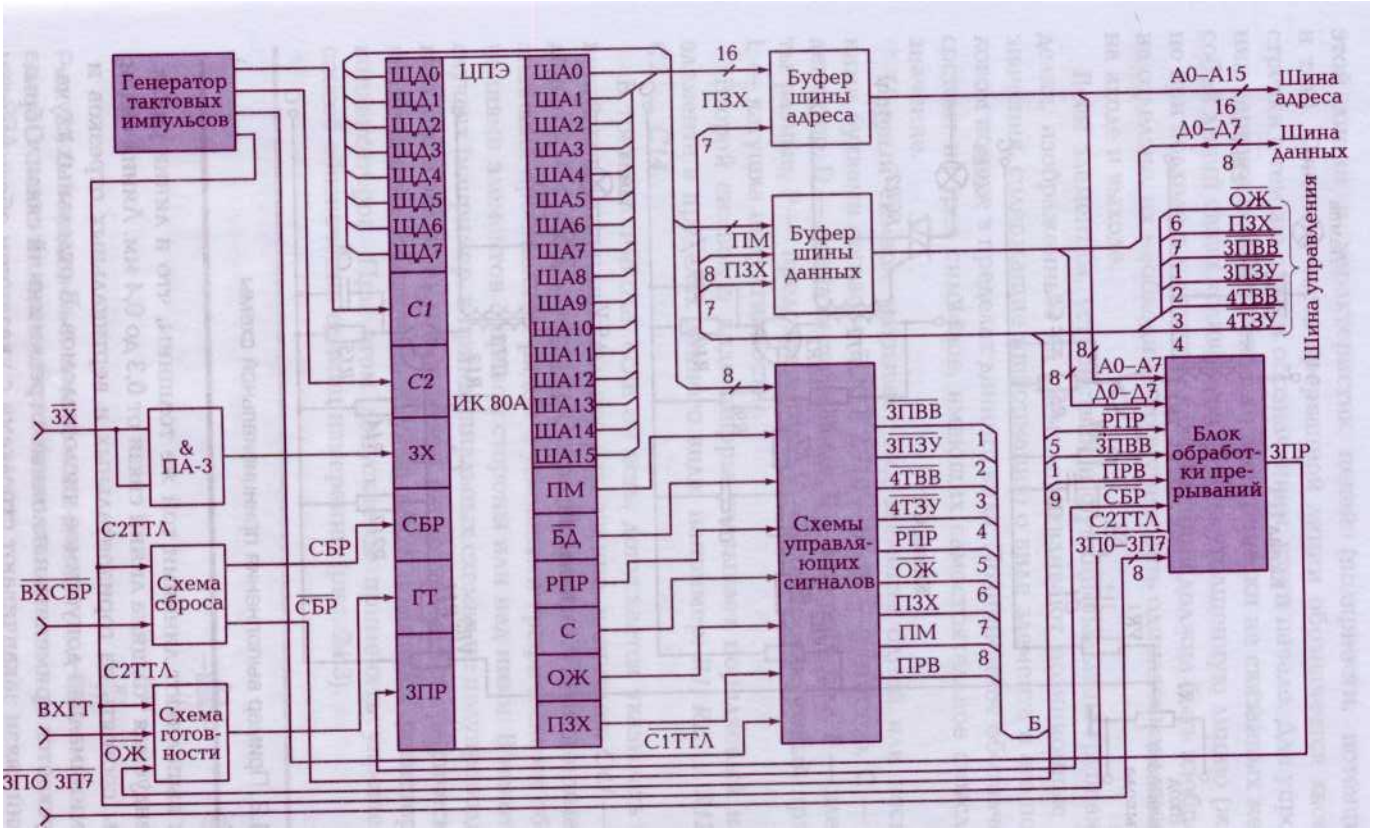


Рис. 24.1. Пример функциональной схемы устройства управления

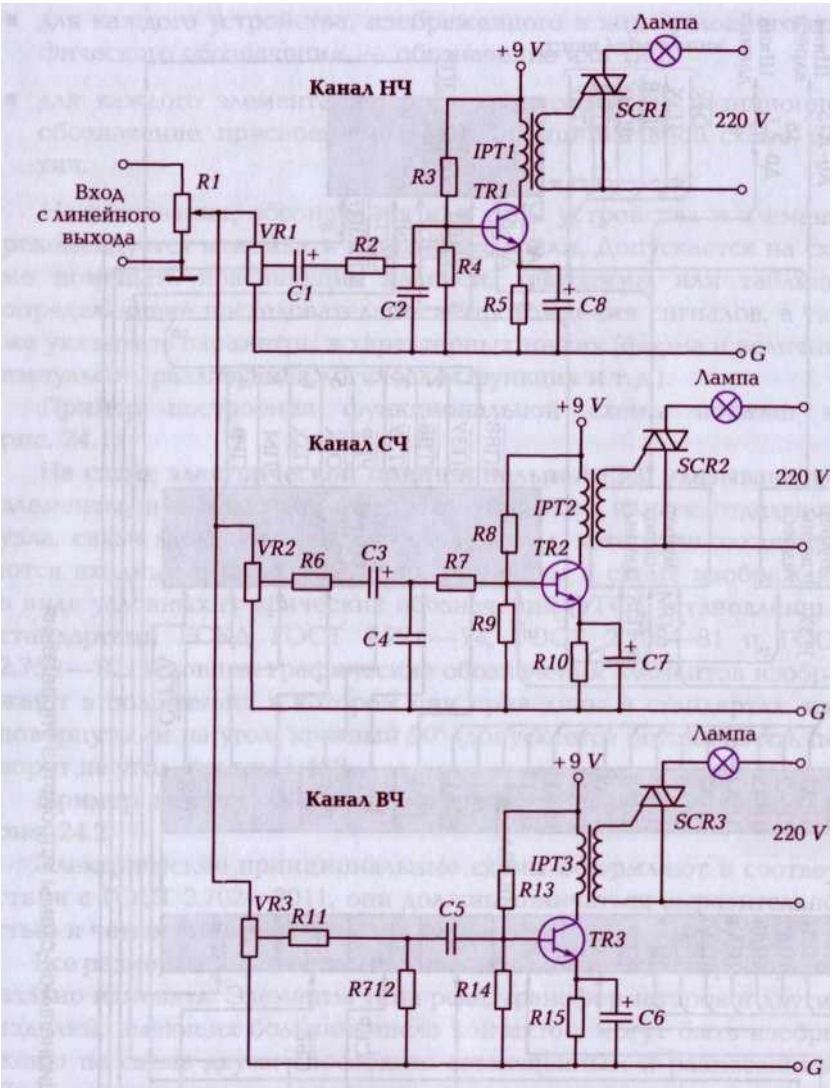


Рис. 24.2. Пример выполнения принципиальной схемы

схемах выполняют линиями той же толщины, что и линии связи. Рекомендуемая толщина линий связи от 0,3 до 0,4 мм. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь минимально допустимое число изломов. В отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линий связи. Обрывы линий связи заканчивают стрелками с указанием обозначения

этой линии и характеристик цепей (полярности, потенциала и т.п.). Ответная часть прерванной линии обозначается хвостом стрелки с тем же самым обозначением, что и начало. Для упрощения чертежа можно несколько электрически не связанных между собой линий связи «сливать» в общую утолщенную линию (жгут), но при подходе к контактам каждая линия должна быть изображена отдельно, их необходимо пронумеровать одинаковыми числами на входе и выходе.

Всем элементам, устройствам и функциональным группам изделия, изображенным на схеме, присваивают позиционные обозначения, содержащие информацию о виде элемента и его порядковом номере в пределах данного вида. Позиционное обозначение состоит из грех символов, имеющих самостоятельное смысловое значение.

Первый символ указывает вид элемента одной или несколькими буквами согласно ГОСТ 2.710 — 81 (R — резистор, С — конденсатор, D — схема интегральная, Е — микросборка, F — элементы разные, Р— предохранитель, V — электровакуумный прибор, L — катушка индуктивности).

Второй символ в виде цифры указывает порядковый номер элемента в пределах данного вида, например: ***Rl, R2*** ..... ***R12, C1, c2*** ***c14.***

В третьем символе, если он есть, допускается указывать соответствующее функциональное назначение, например: ***C4J*** — конденсатор ***C4*** используется как интегрирующий. Позиционные обозначения проставляют рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними. В некоторых случаях (например, в принципиальных схемах на полупроводниковую интегральную микросхему) около условных графических и позиционных обозначений указывают номиналы резисторов и конденсаторов. При этом допускается применять упрощенный способ обозначения единиц измерений (рис. 24.3).

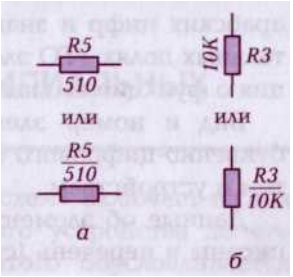


Рис. 24.3. Упрощенный способ обозначения единиц измерений физических величин на схемах РЭА

Примеры оформления номиналов резисторов и конденсаторов приведены далее:

для резисторов:

- от 0,1 до 999 Ом — без указания единиц измерения;
- от 1 000 до 10 000 Ом — в килоомах, с обозначением единицы измерения строчной буквой к;
- от $0{,}1 \cdot 10^6$ до $1\,000 \cdot 10^6$ Ом — в мегаомах, с обозначением единицы измерения прописной буквой М;
- свыше $1 \cdot 10^{12}$ Ом — в гигаомах, с обозначением единицы измерения прописной буквой Г;

для конденсаторов:

- от $1 \cdot 10^{-12}$ до $100 \cdot 10^{-12}$ Ф — в пикофарадах без указания единицы измерения;
- от $0{,}1 \cdot 10^{-6}$ до $100 \cdot 10^{-6}$ Ф — в микрофарадах с обозначением единицы измерения — мкФ.

Условные графические обозначения цифровых элементов (ГОСТ 2.743—91) прорисовывают прямоугольниками и содержат основное (в центре) и два дополнительных поля (см. рис. 24.1, элементы ИК80А). Размер прямоугольника по ширине зависит от наличия дополнительных полей и числа, помещенных в них знаков (меток, обозначения функций и т.д.), по высоте — от числа выводов, интервалов между ними и числа строк информации на основном и дополнительных полях. Однако существуют пределы на их размеры. Ширина основного поля должна быть не менее 10 мм, дополнительных — не менее 5 мм, расстояние между выводами — 5 мм. Выводы элементов имеют входы, выходы и выводы, не несущие информации. Входы изображают слева, выходы справа, остальные выводы — с любой стороны УГО. При необходимости разрешается поворачивать УГО на 90° по часовой стрелке, располагая входы сверху, а выходы внизу. Допускается нарушать этот порядок для удобства чтения схемы. Функциональное назначение элемента указывают в верхней части основного поля УГО микросхемы. Его составляют из прописных букв латинского алфавита, арабских цифр и знаков, записываемых без пробела. В дополнительных полях УГО элементов цифровой техники дается информация о функциональных назначениях выводов, указатели, метки.

Вид и номер элемента являются обязательной частью его буквенно-цифрового обозначения и присваиваются всем элементам и устройствам.

Данные об элементах, включенных в схему, должны быть записаны в перечень (спецификацию), который помещают на пер-

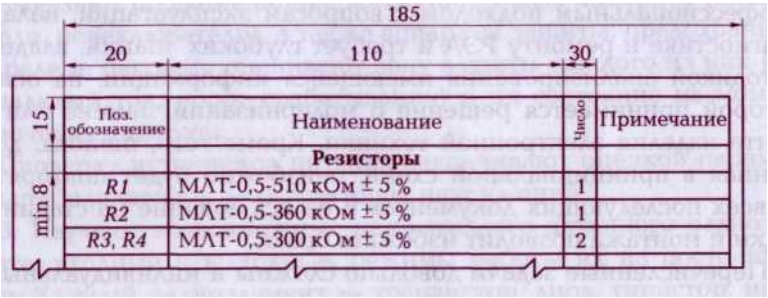


Рис. 24.4. Фрагмент спецификации РЭА

вом листе схемы, или выполняют перечень в виде самостоятельного документа. Связь перечня с условными графическими обозначениями элементов осуществляют через позиционные обозначения. Перечень элементов оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз по установленной форме (рис. 24.4).

В графах перечня указывают следующие данные:

7. в графе «Поз. обозначение» — позиционное обозначение элемента устройства;
8. в графе «Наименование» — наименование элемента в соответствии с документом, паспортом, манулом фирмы-производителя, характеристики и параметры его согласно ТУ для возможности замены или подбора аналогов в случае снятия с производства;
9. в графе «Примечание» — особые технические данные элемента и особенности его монтажа, не содержащиеся в документации.

Элементы записывают в перечень группами в алфавитном порядке буквенных кодов элементов. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку с указанием их числа.

24.2. ПРАВИЛА ЧТЕНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ

Определение «чтение принципиальных схем» включает в себя возможность понять работу того или иного устройства по его принципиальной схеме. Необходимость этого обусловливается

профессиональным подходом к вопросам эксплуатации, наладке, диагностике и ремонту РЭА и требует глубоких знаний, владения методикой анализирования имеющейся информации, на основе которой принимается решение о модернизации, замене или ремонте изделия электронной техники. Кроме того, ошибка, допущенная в принципиальной схеме, неизбежно будет повторяться во всех последующих документах и ее исключение на стадии наладки и монтажа позволит избежать брака.

Перечисленные задачи довольно сложны и индивидуальны, но в то же время существуют общие подходы к их решению.

■ Чтение принципиальной схемы начинают с общего ознакомления со схемой и с перечнем (спецификацией) элементов к ней. Находят на схеме каждый из них, читают все примечания и пояснения.

■ Определяют систему электропитания: от батареек (аккумуляторов), встроенного источника питания, внешнего блока питания по их принятым условным обозначениям и подключаемым разъемам. Устанавливают расположение шин питания — источник «+» и корпус «-L» (при однополярном питании), «плюсовую» и «отрицательную» шины при двухполярном питании. Выявляют по условным значкам (-, =) род тока, номинальное напряжение, фазировку в цепях переменного тока и полярность в цепях постоянного тока и сопоставляют полученные данные с номинальными паспортными данными аппаратуры. В схеме может присутствовать несколько значений напряжения питания, при этом необходимо установить все пути протекания тока от источника до элемента. Самый простой способ — «пройти» по «голым» проводам (проводникам) схемы, принимая во внимание, что постоянный ток через конденсатор и закрытые («запертые») активные элементы (диоды, транзисторы и др.) не течет, а индуктивные элементы (катушки, обмотки трансформатора и т.д.) для постоянного тока — практически короткое замыкание. Термин «пройти» означает проследить путь протекания тока от элемента к элементу, от источника питания до конкретного элемента. Ознакомление с системой электропитания имеет также цель: проверки уровня и полярности напряжения питания (неправильная полярность может, например, в схемах резервирования привести к короткому замыканию, изменению направления вращения электродвигателей, пробою конденсаторов, нарушению разделения цепей с помощью диодов, отказу поляризованных реле и т.п.). Нарушения питания приводят к полному отказу работы схемы или к его периодическому или кратковременному отключению.

Выявляют по схеме общие коммутационные аппараты (выключатели, переключатели), а также аппараты защиты: предохранители, реле и, наконец, оценивают зону защиты каждого из них (номинальный ток, порог срабатывания) и их состояние на момент включения аппарата.

Проверку источников питания заканчивают оценкой параметров стабилизаторов — регуляторов напряжений.

■ Изучают всевозможные цепи каждого активного радиоэлемента: входные и выходные, режимы работы их на постоянном токе. Каждый радиоэлемент — транзистор, диод, тиристор, интегральная схема должны быть дополнительно изучены по справочникам и описаниям. Для этого пользуются Интернетом или справочной литературой фирмы — производителя компонента.

В схеме много радиоэлементов и далеко не безразлично, с какого из них начинать чтение схемы. Порядок определяется поставленной задачей. Если нужно проследить прохождение сигнала по элементам схемы, то прежде всего определяют вход сигнала, для этого на схеме имеются буквенные обозначения ***(in*** — вход) или находят элемент, который является источником сигнала (генератор, антенна, датчик и т.д.). Определяют вид входного сигнала (постоянный, переменный, переменный с постоянной составляющей, пульсирующий или импульсный). В зависимости от типа каждый элемент электрической схемы ведет себя по-разному.

Для анализа схемы достаточно знать основные принципы поведения их в цепях электрического тока. Так, например, конденсаторы пропускают переменный ток, но оказывают ему сопротивление, которое зависит от частоты тока, а постоянную составляющую задерживают. Индуктивности (катушки, обмотки трансформаторов) не оказывают сопротивления постоянному току, но обладают сопротивлением по переменному току, которое также зависит от частоты тока. Диоды пропускают ток любой полярности и вида, если он открыт, в закрытом состоянии ток через него не течет. Транзисторы пропускают через себя ток по направлению стрелки на эмиттере или истоке в соответствии с их условными изображениями, но только в том случае, когда они «открыты». Открытым является транзистор, если между базой и эмиттером или на затворе полевого транзистора действует открывающее напряжение. В зависимости от типа транзистора (p или n) это напряжение может быть как положительным, так и отрицательным. Важное правило при чтении принципиальных схем: напряжение «прикладывается» и является лишь потенциальным источником тока, который «течет» по проводникам и сопротивлениям, «перенося»

полезный сигнал. Труднее всего «прочитать» работу микросхем. Для этого необходимо пользоваться их описанием.

■ Главная цель «чтения» принципиальной схемы, как правило, — это поиск неисправности, если после монтажа прибор не работает или в процессе эксплуатации перестал работать. В этом случае составляют порядок — алгоритм принципа функционирования схемы или поиска неисправности. В нем указывается основная причина отказа или задача по изучению того или иного узла. Далее намечаются контрольные точки (виртуальные), как правило, на разветвляющихся узлах. Такими узлами могут быть каскады транзисторов и микросхемы. Рассматривают, при каких условиях они функционируют нормально («положительная» ветка), а при каких возникает ошибка («отрицательная» ветка). В каждой выделенной ветке алгоритма так же изучают все элементы цепи, создающие эти условия.

На рис. 24.5 представлен алгоритм поиска неисправности видеомагнитофона при отказе шпиндельного двигателя (в алгоритме он назван тонвалом).

■ Основным узлом всех электронных изделий и аппаратов с точки зрения «чтения» принципиальной схемы является электрическая цепь, которая представляет собой последовательность элементов, соединенных электрическими проводами и проводниками для выполнения определенной законченной задачи. Цепь всегда имеет вход и выход полезного сигнала или тока. Например, цепь питания включает в себя источник напряжения и потребителей его энергии — провода и проводники, по которым протекает ток, и электронные элементы, включенные последовательно или параллельно, для передачи, усиления, стабилизации, защиты от помех и т. д. Ток по всем элементам и цепям течет от плюса к минусу (корпус) по пути наименьшего сопротивления.

Изучение каждой цепочки электрической схемы имеет цели:

а) определить условия, при которых цепь работоспособна;

б) выявить ошибки, например: в цепи могут быть соединенные последовательно контакты, которые никогда одновременно не должны быть замкнуты;

в) определить возможные причины отказа;

г) установить элементы, в которых могут быть нарушены временные зависимости либо в результате неправильной регулировки, либо из-за неправильной оценки реальных условий эксплуатации;

д) выявить элементы, которым могут быть заданы неправильные условия работы цепи; типичный пример — неправильная работа электронного реле по переключению цепей;

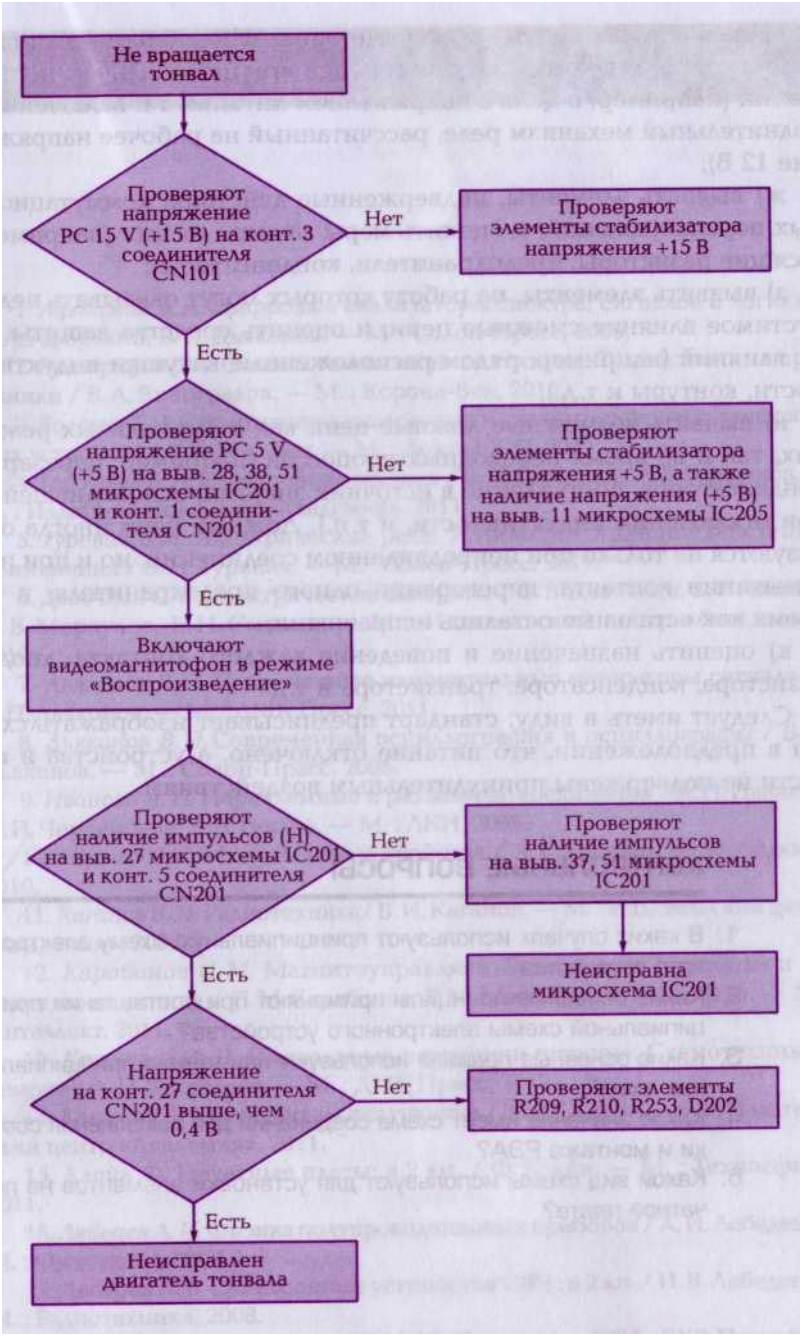


Рис. 24.5. Пример составления алгоритма поиска неисправности РЭА

е) выявить элементы, коммутационная способность которых недостаточна для коммутируемых цепей при номинальном напряжении (например, в цепь с напряжением питания 5 В включен исполнительный механизм реле, рассчитанный на рабочее напряжение 12 В);

ж) выявить элементы, подверженные действию коммутационных перенапряжений, и оценить меры защиты от них (например, гасящие резисторы, предохранители, конденсаторы);

з) выявить элементы, на работу которых могут оказывать недопустимое влияние смежные цепи, и оценить средства защиты от их влияний (например, рядом расположенные катушки индуктивности, контуры и т.д.);

и) выявить возможные ложные цепи как в нормальных режимах, так и во время переходных процессов (например: перезаряд конденсаторов, поступление в источник энергии, освободившейся при отключении индуктивности, и т.п.). Ложные цепи иногда образуются не только при непредвиденном соединении, но и при незамыкании контакта, перегорании одного предохранителя, в то время как остальные остались исправными;

к) оценить назначение и поведение каждого контакта, диода, резистора, конденсатора, транзистора и т. д.

Следует иметь в виду: стандарт предписывает изображать схемы в предположении, что питание отключено, а устройства и их части не подвержены принудительным воздействиям.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6. В каких случаях используют принципиальную схему электронного устройства?
7. Какие основные принципы применяют при составлении принципиальной схемы электронного устройства?
8. Какие основные правила используют при чтении принципиальных схем?
9. Какое значение имеет схема соединений для выполнения сборки и монтажа РЭА?
10. Какой вид схемы используют для установки элементов на печатной плате?

1. *Афонский А. А.* Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики /
5. Д. Афорский, В. П. Дьяконов. — М.: Солон-Пресс, 2009.
\/2. *Виноградов В. А.* Основы телевизионной техники. Телевизионные приемники / В. А. Виноградов. — М. : Корона-Век, 2010.
3. *Волович Г. И.* Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г. И. Волович. — М.: Додэка XXI, 2011.
('4. *Горошков Б. И.* Электронная техника / Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. —
М. : Издательский центр «Академия», 2011.
■ *Гуревич В. И.* Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения / В. И. Гуревич. — М.: Солон-Пресс, 2011.
■ *Девочкин О. В.* Электрические аппараты / О. В. Девочкин, В. Р. Лохнин, О. В. Меркулов, Е.Н. Смолин. — М. : Издательский центр «Академия»,
2010.
■ *Дьяконов В.П.* Современные измерительные генераторы сигналов /
6. П. Дьяконов. — М. : ДМК Пресс, 2011.
■ *Дьяконов В.П.* Современная осциллография и осциллографы / В.П. Дьяконов. — М.: Солон-Пресс, 2005.
■ *Иванова А. П.* Неразъемные и разъемные соединения / А. П. Иванова,
Q. И. Чердинцева, В. В. Гунько. — М.: АКИ, 2008.
■ *Ицхоки Я. С.* Импульсные устройства / Я.С.Ицхоки. — М. : Дрофа,
2010.
■ /11. Каганов В. И. Радиотехника/ В. И. Каганов. — М.: Издательский центр
«Академия», 2006.
■ *Карабанов С.М.* Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе / С.М.Карабанов, Р.М.Майзельс, В.Н.Шоффа. — М. : Интеллект, 2011.
■ *Кашкаров А.П.* Импульсные источники питания. Схемотехника и ремонт / А. П. Кашкаров. — М.: ДМК Пресс, 2012.
\ 14. *Келим Ю. М.* Вычислительная техника / Ю. М. Келим. — М.: Издатель-

11. *Медведев А. М.* Технология производства печатных плат / А. М. Медведев. — М.: Техносфера, 2005.
12. *Морган Джонс.* Ламповые усилители / Джонс Морган. — М. : ДМК Пресс, 2011.
13. *Нефедов* В . *И.* Основы радиоэлектроники и связи / В. И. Нефедов, А. С. Сигов. — М.: Высшая школа, 2009.
14. *Николаенко М. Н.* Самоучитель по радиоэлектронике / М. Н. Николаенко. — М.: НТ Пресс, 2007.
15. *Новиков* Ю . В . Введение в цифровую схемотехнику / Ю. В. Новиков. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007.
16. *Оппенгейм А.* Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. — М. : Техносфера, 2006.
17. *Петухов* В . *М.* Транзисторы и их зарубежные аналоги. Биполярные транзисторы средней и большой мощности низкочастотные. Справочник : в 4 т. / В. М. Петухов. — М. : Радио Софт, 2004.
18. *Ровдо А. А.* Схемотехника усилительных каскадов на биполярных транзисторах / А. А. Ровдо. — М.: Додэка XXI, 2008.
19. *Самарин А.* В . Жидкокристаллические дисплеи/А. В. Самарин. — М.: САЛОН-Р, 2002.
20. *Селф Дуглас.* Схемотехника современных усилителей / Дуглас Селф. — М.: ДМК Пресс, 2011.
21. *Стюарт Болл.* Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров / Болл Стюарт. — М.: Додека, 2007.
22. *Титце* **У.** Полупроводниковая схемотехника : в 2 т. / У. Титце, К. Шенк. — М.: ДМК Пресс, 2008.
V 31. *Тюнин Н.А.* ЖК-мониторы / Н. А.Тюнин. — М. : Солон-Пресс, 2006.
6. *Фриман Р.* Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. — М.: Техносфера, 2007.
7. *Фрунзе* А . В . Микроконтроллеры? Это же просто! / А. В. Фрунзе. — М. : ИД Скимен, 2003.
8. *Чистяков Н.И.* Справочная книга радиолюбителя-конструктора / Н. И. Чистяков и др. — М. : Радио и связь, 2011.
9. *Шишмарев В.Ю.* Измерительная техника / В.Ю. Шишмарев. — М.

Предисловие 3

РАЗДЕЛ I ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ 5

Глава 1. Организация производства электронной техники 5
5) Основные понятия и определения.....5
6) Организация производственных работ.....8

Глава 2. Техника безопасности при производстве РЭА 11
6) Охрана труда и техника безопасности при изготовлении печатных плат .....И
6) Охрана труда и техника безопасности при настройке и наладке оборудования 12

Глава 3. Охрана труда и промышленная санитария 15
■ Общие положения 15
■ Вентиляция производственных помещений.....17
■ Организация освещения производственного помещения 20

Глава 4. Организация рабочего места.....22
5. Общие положения 22
6. Типовая комплектация рабочего места.....23

РАЗДЕЛ II. ЭЛЕМЕНТЫ И УЗЛЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 29

Глава 5. Элементы электрических цепей 29
6. Резисторы 29
7. Конденсаторы 36
8. Индуктивные элементы.....39

Глава 6. Электронные приборы и устройства.....45
■ Электровакуумные приборы 45
■ Электронно-лучевые трубки.....49
■ Газонаполненные приборы 51
■ Газонаполненные индикаторы 54
■ Жидкокристаллические и плазменные панели 56
■ Конструкция и принцип действия плазменных панелей 59

Глава 7. Полупроводниковые приборы 62
■ Выпрямительные диоды 62
■ Светодиоды и лазерные диоды 64
■ Фотодиоды 67
■ Типы и виды транзисторов 68
■ Тиристоры 75
■ Оптоэлектронные приборы 76
■ Интегральные микросхемы 77

Глава 8. Электромеханические узлы электронных схем 82
■ Релейные устройства 82
■ Двигатели в радиоэлектронной аппаратуре 85
■ Электромеханические устройства передачи движения 88

РАЗДЕЛ III. ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ И ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНИКИ 91
Глава 9. Обработка аналоговыхи цифровых сигналов 91
■ Особенности цифрового преобразования аналоговых сигналов 91
■ Принцип работы аналогово-цифровых преобразователей 93
Глава 10. Элементы цифровой и импульсной техники 96
6. Логические элементы 96
7. Триггеры 98
8. Шифраторы и дешифраторы 102
10.3. Мультиплексоры и демультиплексоры 103
10.4. Микропроцессоры и микропроцессорное управление 105
10.5. Типы и виды памяти 108
10.6. Вмпульсная техника 111

РАЗДЕЛ IV. ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ 113
Глава 11. Содержание и объем электромонтажных работ
в производстве радиоэлектронной аппаратуры и приборов 113
11.1. Общие вопросы технологии электромонтажных работ 113
11.2. Виды электромонтажных работ 115
11.3. Разъемные соединения 118
11.4. Неразъемные соединения 122
11.5. Выполнение электрических соединений сваркой 124

Глава 12. Технология пайки 129
12.1. Физические основы и способы выполнения паяных соединений 129
12.2. Виды и характеристики припоев 132
12.3. Виды и характеристики флюсов 134
12.4. Оборудование и инструменты для проведения пайки 136

Глава 13. Электромонтажные провода и кабели, работа с ними 139
13.1. Типы проводов и кабелей, применяемых в электронике 139
13.2. Монтаж и крепление проводов 146
13.3. Жгутовое соединение проводов 149

РАЗДЕЛ V. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ... 152

Глава 14. Печатные платы 152
14.1. Классификация печатных плат 152
14.2. Материалы для оснований печатных плат 155
14.3. Технология изготовления печатных плат..... 157

Глава 15. Технология монтажа радиоэлектронных узлов 160
15.1. Общие положения 160
15.2. Технология навесного монтажа..... 160
15.3. Поверхностный монтаж..... 166

Глава 16. Оценка качества пайки..... 177
16.1. Виды дефектов 122
16.2. Способы контроля качества паяных изделий 128

РАЗДЕЛ VI СБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 181

Глава 17. Технология сборочных операций 181
17.1. Типовой технологический процесс сборки 181
17.2. Виды сборочных операций..... 184
17.3. Защита сборочных узлов и аппаратуры от внешних воздействий 187

Глава 18. Сборка сложных узлов радиоэлектронной аппаратуры 191
18.1. Конструкция, сборка и монтаж источников питания 191
18.2. Конструкция, сборка и монтаж усилительных устройств 196
18.3. Конструкция, сборка и монтаж электронных генераторов..... 202
18.4. Конструкция, сборка и монтаж радиоприемных устройств 207
18.5. Конструкция, сборка и наладка телевизионных приемников 212
18.6. Особенности конструкции и сборки вычислительной техники..... 217

РАЗДЕЛ VII. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТАХ.....223

Глава 19. Физические основы электрических измерений в электронике 223
19.1. Основные понятия метрологии..... 223
19.2. Измерительные преобразователи 224
19.2. Измерительные меры 226
19.4. Устройства обработки результатов измерений 226
19.5. Устройство индикации результата измерения 227

Глава 20. Измерение параметров электрических сигналов..... 229
20.1. Особенности измерения параметров электрических сигналов 229
20.2. Типы измерительных приборов для измерения параметров электрических цепей 231

Глава 21. Измерение характеристик электрических сигналов 235
21.1. Измерение и наблюдение характеристик электрических сигналов с помощью осциллографа 235
21.2. Специальные измерительные приборы для определения характеристик электрических сигналов 239
Глава 22. Измерение параметров пассивных и активных радиоэлементов 242
22.1. Способы и методы измерений параметров пассивных элементов 242
22.2. Способы и методы измерений параметров активных элементов 244

РАЗДЕЛ VIII. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СБОРОЧНЫХ И МОНТАЖНЫХ РАБОТ 247
Глава 23. Документы ЕСКД и ЕСТД 247
23.1. Конструкторские документы 247
23.2. Технологическая документация 248
Глава 24. Электрические схемы изделий электронной техники 251
24.1. Виды и типы схем, назначение и правила составления электрических схем 251
24.2. Правила подготовки принципиальных и функциональных схем 253
24.3. Правила чтения принципиальных схем 259
Список литературы 265

Учебное издание

Петров Владимир Петрович

Выполнение монтажа и сборки средней сложности и сложных узлов, блоков, приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники

Учебное пособие

Редактор В.А.Савосик
Технический редактор О. Н. Крайнова
Компьютерная верстка: Р.Ю. Волкова
Корректор Н. В. Савельева, Н. В. Козлова

ц. № 101116290. Подписано в печать 20.05.2013. Формат 60x90/16.

нитура «Балтика». Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Уел. печ. л. 17,0,
Тираж 1 000 экз. Заказ № С-1722.

О «Издательский центр «Академия», www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.

л./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Для подготовки квалифицированных кадров по **профессии** «Монтажник радиоэлектронной аппаратуры и **приборов»** рекомендуются следующие учебники и учебные **пособия:**

- Л. Н. Гуляева
  Технология монтажа и регулировка радиоэлектронной аппаратуры и приборов
- Л. Н. Гуляева
  Высококвалифицированный монтажник радиоэлектронной аппаратуры
- Г. В. Ярочкина
  Задачник по радиоэлектронике
- Г. В. Ярочкина
  Электроматериаловедение. Рабочая тетрадь

ВЫПОЛНЕНИЕ МОНТАЖА И СБОРКИ СРЕДНЕЙ СЛОЖНОСТИ И СЛОЖНЫХ УЗЛОВ, БЛОКОВ, ПРИБОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, АППАРАТУРЫ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ, ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛОВ ИМПУЛЬСНОЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ISBN 978-5-7695-9547-9
9 785769 595479

Издательский центр «Академия»
www.academia-moscow.ru

ACADEMIA

ВЫПОЛНЕНИЕ МОНТАЖА И СБОРКИ СРЕДНЕЙ СЛОЖНОСТИ И СЛОЖНЫХ УЗЛОВ, БЛОКОВ, ПРИБОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, АППАРАТУРЫ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ, ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛОВ ИМПУЛЬСНОЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ