



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В.А. Костенков, Э.А. Болелов,
С.Б. Стукалов, Д.С. Адамов

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА 2 РАДИОМОНТАЖНАЯ ПРАКТИКА

Учебно-методическое пособие

для студентов
специальности 25.05.03
всех форм обучения

Москва · 2022

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации
радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта

В.А. Костенков, Э.А. Болелов,
С.Б. Стукалов, Д.С. Адамов

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА 2

РАДИОМОНТАЖНАЯ ПРАКТИКА

Учебно-методическое пособие

*для студентов
специальности 25.05.03
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2022

УДК 621.396.6

ББК 6Ф2

К72

Рецензент:

Гевак Н.В. – канд. техн. наук

Костенков В.А.

К72 Учебная практика 2. Радиомонтажная практика [Текст] : учебно-методическое пособие / В.А. Костенков, Э.А. Болелов, С.Б. Стукалов, Д.С. Адамов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2022. – 80 с.

Данное учебно-методическое пособие издаётся в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Радиомонтажная практика» по учебному плану специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» для всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 07.04.2022 г. и методического совета 07.04.2022 г.

УДК 621.396.6

ББК 6Ф2

В авторской редакции

Подписано в печать 05.09.2022 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 5 Усл. печ. л. 4,65

Заказ № 895/0603-УМП18 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2022

Введение

Специалист гражданской авиации (ГА) должен уметь грамотно и качественно производить техническую эксплуатацию транспортного радиооборудования (РЭО) на основе требований наставлений, инструкций и других документов, регламентирующих уход за техникой и правила ее эксплуатации. Для поддержания радиоэлектронного оборудования воздушных судов и аэропортов в постоянной готовности к применению технический специалист должен обладать практическими навыками по обслуживанию радиоэлектронного оборудования.

Возможность грамотного использования конструкторской документации, выполнение требований безопасности при проведении радиомонтажных работ, овладение современными методами монтажа электронных приборов и устройств, строгое соблюдение последовательности технологических операций при сборке электронных устройств, знание современной элементной базы, свободное владение правилами чтения и составления принципиальных схем, умение определять номиналы и типоразмеры – от резисторов до микросхем – являются основой для высококвалифицированного специалиста технической эксплуатации транспортного радиооборудования ГА.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам в овладении практическими навыками монтажа и наладки транспортного радиоэлектронного оборудования при проведении «Радиомонтажной практики».

В пособии рассматриваются вопросы организации радиомонтажных работ, элементная база радиоэлектронного оборудования, материалы и оборудование для радиомонтажных работ, а также проведение монтажно-демонтажных работ транспортного радиоэлектронного оборудования с учетом особенностей РЭО различных диапазонов волн.

Организация радиомонтажных работ

1.1. Требования безопасности при проведении радиомонтажных работ

Требования безопасности регламентируются системой стандартов безопасности труда.

Неукоснительное выполнение требований этих стандартов – долг каждого, работающего с электро- и радиоаппаратурой.

К профилактическим мероприятиям по требованиям безопасности относятся:

1. Организация рабочего места в соответствии с требованиями безопасности.
2. Инструктаж и проверка знаний радиомонтажника по требованиям безопасности.
3. Контроль выполнения требований безопасности на рабочем месте радиомонтажника.

Чтобы предотвратить тяжелые последствия несчастных случаев радиомонтажники должны строго соблюдать требования безопасности, знать способы оказания первой помощи, как себе, так и, пострадавшему, а также знать, где находится средства первой помощи, и уметь пользоваться ими. Знать также, где находятся средства пожаротушения и уметь ими пользоваться.

Ликвидировать последствия несчастных случаев нужно быстро, умело и инициативно. **При этом следует помнить, что легче предупредить несчастный случай, чем ликвидировать его тяжелые последствия.**

Общие требования безопасности.

При монтаже должны выполняться требования ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010, ГОСТ 12.2.007.0 и ГОСТ 12.4.021.

Ток 10 мА уже вызывает легкое раздражение нервной системы и даже судороги. При увеличении тока до 30 мА мышцы могут утратить способность сокращаться, а при токе более 50 мА наступает паралич дыхательных органов, что представляет опасность для здоровья и жизни. **Смертельным считается ток около 100 мА.**

Напряжение 36 вольт и выше является опасным для жизни! Поэтому при монтаже следует применять электропаяльники и розетки закрытого типа с рабочим напряжением не более 36 В. На розетках должно быть указано значение напряжения. Электропроводка должна иметь качественную изоляцию.

Для предупреждения поражения электрическим током при монтаже необходимо надежно заземлять корпуса питающих трансформаторов, вентиляторов, вентиляционных систем и электроинструментов.

Необходимо выполнять правила защиты от статического электричества.

Для предупреждения тепловых ожогов при монтаже необходимо оборудовать специальные подставки для электропаяльников.

Для предупреждения травм от механических факторов необходимо использовать специальную тару для деталей и материалов, обеспечивающую безопасность при их транспортировании.

Движущие части механизмов должны быть ограждены.

Для предупреждения отравления в процессе монтажа при выполнении работ с применением припоев, содержащих свинец, лаков и клеев рабочие места должны быть оборудованы вытяжными установками, обеспечивающими удаление вредных паров до нормы, не превышающей предельно допустимой концентрации в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005.

Освещенность рабочих мест должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 55710-2013.

Измерительные приборы должны подключаться хорошо изолированными гибкими проводами с надежно присоединенными щупами или наконечниками. Щупы должны иметь хорошо изолированные ручки, длина щупов должна быть такой, чтобы рука при работе с пробником находилась на безопасном расстоянии от неизолированных токоведущих поверхностей (10–15 см).

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

Для предотвращения пожара при монтаже рабочие помещения должны быть снабжены противопожарным инвентарем (огнетушители, асбестовые одеяла, песок и т.д.).

Рабочее место необходимо содержать в чистоте, не загромождать его посторонними предметами.

На рабочих местах должна находиться инструкция по требованиям безопасности при выполнении радиомонтажных работ.

К радиомонтажным работам допускаются лица, имеющие подготовку, обеспечивающую правильную и безопасную эксплуатацию оборудования, используемого при проведении монтажных работ, и прошедшие инструктаж по требованиям безопасности на рабочем месте.

Перед началом работы необходимо:

1. Уяснить задание по выполнению радиомонтажных работ, полученное от преподавателя.
2. Повторить требования безопасности при выполнении радиомонтажных работ, требования противопожарной безопасности, мероприятия по оказанию первой помощи при поражении электрическим током и ожогах.
3. Усвоить, что проверка наличия напряжения в розетках 220 в 50 Гц, на клеммах силовых щитов и на предохранителях приборов (в случае необходимости) осуществляется только преподавателем.

В ходе выполнения электромонтажных работ ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Включать оборудование и приборы без разрешения преподавателя.
2. Подключать оборудование к внешнему источнику тока, не убедившись в соответствии напряжений внешнего источника напряжениям потребителей.
3. Оставлять без наблюдения включенное радиоэлектронное оборудование, паяльники (паяльные станции) и другую аппаратуру.
4. Заменять при включенном питании предохранители и другие элементы, выполнять какие-либо отпайки, замыкать систему блокировок искусственными закорачивающими перемычками.
5. Применять в случае повреждения участка монтажа временные соединения.
6. Применять самодельные вставки вместо предохранителей.
7. Прикасаться к монтажу радиоэлектронного устройства при включенном напряжении. Все переключения в схеме производить после ее обесточивания.
8. Отключать штепсельные разъемы и вилки путем их выдергивания, взявшись за провод.
9. Бесцельно вращать и переключать органы управления контрольно-измерительной аппаратуры и регулировочные элементы радиоэлектронного устройства.
10. Ставить один прибор на другой. Размещать на столе радиомонтажника посторонние предметы.
11. Определять степень нагретости паяльника на ощупь, а не на припое.
12. Очищать паяльник от излишнего припоя встряхиванием, а не путем прикосновения его рабочей поверхностью к припою.
13. Класть включенный паяльник (паяльный фен) на другие поверхности кроме специальной подставки.

В ходе выполнения электромонтажных работ необходимо помнить:

1. Монтажные работы производить только на обесточенной аппаратуре.
2. При внезапном прекращении подачи электроэнергии в сети выключить всю аппаратуру (отключить общее питание на рабочем месте).
3. Все регулировки на радиоэлектронных устройствах и приборах следует производить одной рукой, при этом второй рукой запрещается касаться корпуса прибора или деталей установки.

В СЛУЧАЕ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ: искрении, задымлении, появления запаха изоляции, поражения электрическим током, возникновения пожара НЕОБХОДИМО ОБЕСТОЧИТЬ АППАРАТУРУ, сообщить преподавателю и принять меры по устранению нештатной ситуации!

По окончании работ необходимо:

1. Выключить аппаратуру, приборы и другие потребители энергии.
2. По указанию преподавателя демонтировать (или не демонтировать) радиоэлектронное устройство и сообщить о выявленных во время работы неисправностях аппаратуры.

3. Не переносить оборудование с одного места на другое без разрешения преподавателя.

4. Навести порядок на рабочем месте.

1.2. Рабочее место радиомонтажника

Рабочим местом радиомонтажника называется участок производственного помещения, на котором монтажник выполняет работы с помощью специального оборудования и приспособлений.

Этот участок площади предназначен для размещения рабочего стола радиомонтажника, сборочного изделия, технологического оборудования, необходимого для радиомонтажа, демонтажа, замены деталей, сборке и регулировке, проверке изделия на работоспособность и соответствие его характеристик и параметров заданным требованиям, а также измерительных приборов, защитных средств и нахождения самого радиомонтажника.

С точки зрения научной организации труда правильно организованное, удобное рабочее место позволяет значительно увеличить производительность труда радиомонтажника, улучшить качество проводимых работ при соблюдении требований безопасности. Оснащение рабочего места, насыщенность приборами и оборудованием должно соответствовать выполнению требуемых задач.

Рабочий стол радиомонтажника (одно- или двухтумбовый) – многофункциональное устройство, обеспечивающее удобное расположение работника, оптимальное размещение приборов и инструмента и обеспеченное электропитанием, освещением, антистатической защитой и другими дополнительными функциями. В ящиках и надстройках стола имеются специальные отделения для хранения необходимого инструмента, приспособлений, деталей, материалов, технической документации и т. д.

В течение рабочего дня нельзя загромождать стол излишней аппаратурой и инструментом. На рабочем месте следует располагать в определенном порядке только приборы, инструменты и детали, необходимые для работы. Стол радиомонтажника в рабочее время должен быть хорошо освещен.

В типовой комплект рабочего места радиомонтажника входят:

- набор инструментов;
- измерительные приборы;
- монтажное оборудование:
 - приспособления и оборудование для выполнения монтажных работ;
 - приспособления для хранения комплектующих изделий и компонентов, обеспечивающие безопасную работу и качественное выполнения операций;
- технологические материалы;
- средства защиты от поражения электрическим током;
- средства антистатической защиты;
- вентиляция и осветительные приборы;
- техническая документация.

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

Рекомендуемый набор инструментов для рабочего стола:

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

Измерительные приборы рабочего места радиомонтажника должны соответствовать перечню выполняемых задач.

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

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

В состав паяльной станции входят: паяльник, паяльный фен, блок питания и управления с возможностью широкого изменения рабочей температуры нагрева паяльника и паяльного фена, насадки к фену.

Паяльный фен предназначен для нагревания выводов элементов, запаянных в электронной плате и спаиваемых в нее бесконтактным методом. Наиболее часто такие устройства применяются для работы с деталями, имеющими большое количество выводов, мелкими радиоэлементами или в местах, где доступ классическим паяльником невозможен по техническим или конструктивным причинам. Наиболее распространенной сферой применения являются SMD элементы, микросхемы и прочее слаботочное оборудование которое выпаять жалом либо слишком тяжело, из-за опасности повреждения чувствительных компонентов, либо невозможно из-за их габаритов.

Для выполнения демонтажных операций и исправления брака при монтаже электронного устройства применяют:

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

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

- набор батиновых 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, припое и флюсы.

1.3. Техническая документация

Рабочее место для выполнения радиомонтажником технологических операций и настроечно-регулирующих работ должно быть укомплектовано *технической документацией*.

ГОСТ 2.101-68 устанавливает виды изделий при разработке конструкторской документации. Изделие – любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Все изделия можно разделить на четыре вида: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты.

1. Деталь – изделие, не имеющее составных частей и изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций. К деталям также относят изделия, изготавливаемые с применением местной пайки, склеивания и т. п. (например: ось, пружина, печатная плата).

2. Сборочная единица – изделие, состоящее из двух или более составных частей, соединенных между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями: свинчиванием, клепкой, сваркой, укладкой, сшивкой и т. п.

Примером сборочной единицы является электромагнитное реле, решающий усилитель, стабилизатор напряжения и т. п. В состав сборочной единицы могут входить детали и другие сборочные единицы.

3. Комплекс – два или более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Каждое из изделий, входящих в комплекс, должно служить выполнению одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса. Примером комплекса являются: самолет и радиоприборный комплекс, управляющий его посадкой и т. п.

4. Комплект – два или более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но имеющие общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например, запасные инструменты и приборы (ЗИП), измерительный пульт с кабелями.

В конструкциях радиотехнических устройств широко применяются изделия, которые выпускаются специализированными предприятиями. К числу таких изделий относятся, например, резисторы, конденсаторы, реле, переключатели, полупроводниковые приборы и т. п. Такие изделия принято называть покупными (комплектующими).

ГОСТ 2.102-68 устанавливает виды конструкторских документов на различные изделия.

К *конструкторским документам* относят графические и текстовые документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для разработки, изготовления, контроля, эксплуатации и ремонта.

К *графическим конструкторским документам* относятся:

чертеж детали – изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

сборочный чертеж (СБ) – изображение изделия с данными, необходимыми для его сборки и контроля;

чертеж общего вида (ВО) – изображение конструкции изделия, дающее представление о взаимодействии его основных частей и принципе работы;

габаритный чертеж (ГЧ) – контурное (упрощенное) изображение изделий с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

монтажный чертеж (МЧ) – контурное изображение изделия, содержащее данные, необходимые для его установки (монтажа) на месте применения;

схема – условное изображение или обозначение составных частей изделия и связи между ними;

спецификация – перечень составных частей сборочной единицы, комплекса или комплекта.

К *основным текстовым конструкторским документам* относятся:

пояснительная записка (ПЗ) – описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технико-экономических решений;

технические условия (ТУ) – эксплуатационные показатели изделия и методы контроля его качества;

программа и методика испытаний (ПМ) – технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля;

расчеты (РР) – расчеты величин и параметров, например, расчеты магнитных и электрических цепей, тепловые расчеты;

ведомость спецификаций (ВС), покупных изделий (ВП), ссылочных документов (ВД) и т. п. – перечни соответствующих документов, изделий и др.

ГОСТ 2.701-68 устанавливает виды и типы схем. Виды схем обозначают следующими буквами: электрические – Э, гидравлические – Г, пневматические – П, кинетические – К, оптические – Л, вакуумные – В, газовые – Х, автоматизации – А, комбинированные – С, а типы схем – цифрами: структурные – 1, функциональные – 2, принципиальные – 3, соединений – 4, подключения – 5, общие – 6, расположения – 7, прочие – 8, объединенные – 0.

Шифр схемы, входящей в состав конструкторской документации, состоит из буквы, определяющей вид схемы, и цифры, обозначающей тип схемы, например, Э3 – схема электрическая принципиальная.

Структурная схема определяет основной состав изделия, его функциональные части, условно изображаемые в виде прямоугольников, их назначение и взаимосвязи. Структурная схема разрабатывается на начальных стадиях проек-

тирования и используется при эксплуатации для общего ознакомления с изделием.

Функциональная схема поясняет процессы, происходящие в отдельных функциональных узлах или в изделии в целом. Схемы этого вида применяются для построения принципиальной схемы, изучения принципа работы изделия, а также при его эксплуатации.

Принципиальная схема определяет полный состав изделия, всех его элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия. На принципиальной схеме изображают все электрические элементы, необходимые для нормального функционирования изделия в заданном режиме и его контроля.

Схема соединений показывает соединение составных частей изделия и определяет провода, жгуты и кабели, которыми выполняют эти соединения, также методы их присоединения. Схемы соединения используют при разработке конструкторских графических и текстовых документов, а также при ремонте и эксплуатации изделия.

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. Используется при монтаже изделия на месте эксплуатации и при его ремонте.

Общая схема определяет составные части комплекса и их соединения между собой на месте эксплуатации, используется при изготовлении и эксплуатации изделий.

Схема расположения устанавливает взаимное расположение отдельных частей комплекса, используется при установке и эксплуатации изделий.

Эксплуатационные документы – документы, обеспечивающие нормальную эксплуатацию и ремонт изделия в процессе эксплуатации. Эксплуатационные документы составляют на изделия тогда, когда монтаж, использование, техническое обслуживание, транспортировка и хранение могут быть обеспечены при наличии сведений об устройстве, составе, технических параметрах, правилах эксплуатации и т. п.

Если объем сведений, необходимых для обеспечения правильной эксплуатации, незначителен и их можно разместить в виде табличек и маркировок на самом изделии, то в этом случае эксплуатационные документы не составляют. К числу эксплуатационных документов относятся: техническое описание; инструкция по эксплуатации; формуляр (или паспорт); ведомость эксплуатационных документов и др. Рассмотрим, какие вопросы должны быть освещены в каждом эксплуатационном документе.

Техническое описание предназначено для изучения и должно содержать следующие сведения: назначение изделия; технические данные; состав изделия и его составные части; описание устройства, работы изделия, размещения и монтажа изделия; перечень контрольно-измерительных приборов, инструмента и принадлежностей, используемых при эксплуатации изделия; описание способов маркирования и пломбирования изделия, его тары и упаковки.

Инструкция по эксплуатации должна содержать сведения, необходимые эксплуатационному персоналу для правильной работы с изделием: указания по

требованиям безопасности; порядок подготовки к работе; порядок работы с изделием; перечень технических параметров, характеризующих исправное состояние изделия, и методы их измерения; методы определения неисправного участка схемы или конструкций и способы устранения неисправностей; указания по техническому обслуживанию (проверка параметров, настройка, регулировка, смазка и т. п.); правила хранения и транспортировки.

Формуляр составляют для того, чтобы вести учет технического состояния и данных эксплуатации (учет времени работы, регистрация неисправностей, учет работ по техническому обслуживанию, ремонту и т. п.) изделия. Формуляр является документом, удостоверяющим гарантирование предприятием-изготовителем основных технических параметров изделия и содержит следующие сведения: основные технические данные; состав комплекта поставки; свидетельство отдела технического контроля о полном соответствии изделия техническим условиям на него, заверенное подписями и печатями; свидетельство о том, что изделие прошло консервацию (если она предусмотрена) и упаковку; полный текст габаритных обязательств изготовителя; заверенное подписями и печатями свидетельство представителя заказывающей организации о годности изделия к эксплуатации.

Паспорт составляют тогда, когда потребителю необходимо сообщить технические данные изделия, гарантированные предприятием-изготовителем. Паспорт должен содержать следующие сведения: основные технические данные изделия; состав комплекта поставки; свидетельство о приеме; свидетельство о консервации и упаковке; габаритные обязательства.

Глава 2

Элементная база радиоэлектронного оборудования

2.1. Резисторы

Резистором называется пассивный элемент РЭО, предназначенный для создания в электрической цепи требуемой величины сопротивления, обеспечивающий перераспределение и регулирование электрической энергии между элементами схемы.

Выпускаемые отечественной промышленностью резисторы классифицируются по различным признакам (рис. 2.1). В зависимости от назначения резисторы переменного сопротивления бывают: *регулируемые*, используемые для регулировки режимов цепей РЭО в процессе ее работы (часто эти резисторы называют переменными); *подстроечные*, используемые для разовой или периодической регулировки сопротивления цепей РЭО.



Рис. 2.1. Классификация резисторов

Специальные резисторы – это резисторы, сопротивление которых зависит от внешних воздействий (фоторезисторы, терморезисторы и др.).

Условное графическое обозначение различных типов резисторов показано на рис. 2.2.

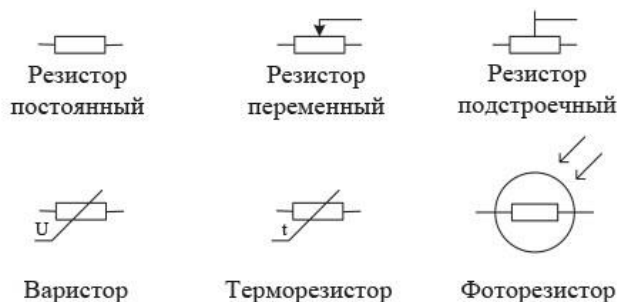


Рис. 2.2. УГО резисторов

Для оценки эксплуатационных свойств резисторов используются следующие основные параметры: номинальное сопротивление, допустимое отклонение величины сопротивления от номинального значения (допуск), номинальная мощность рассеяния, максимальное рабочее напряжение, стабильность сопротивления, уровень собственных шумов, собственная емкость и индуктивность.

Номинальное сопротивление $R_{\text{ном}}$ – это электрическое сопротивление, значение которого обозначено на корпусе резистора или указано в сопроводительной документации.

Резисторы изготавливаются на различные номиналы от долей Ом до единиц тераом ($1 \text{ ТОм} = 10^3 \text{ ГОм} = 10^6 \text{ МОм} = 10^9 \text{ КОм} = 10^{12} \text{ Ом}$).

Номинальные величины сопротивления стандартизованы. ГОСТ 28884-90 устанавливает для резисторов шесть рядов номиналов сопротивлений: E6, E12, E24, E48, E96, E192. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале. Например, по ряду E6 значения номинальных сопротивлений в каждой декаде должны соответствовать числам 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем умножения или деления этих чисел на 10^n , где n – целое положительное число. Для переменных резисторов ГОСТ 10318-74 устанавливает три ряда номиналов сопротивлений: E6, E12, E24.

Ряды номинальных сопротивлений для резисторов постоянного сопротивления общего применения приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Индекс ряда	Числовые коэффициенты, умножаемые на любое число, кратное 10						Допуск, ± %
E6	1,0;	1,5;	2,2;	3,3;	4,7;	6,8	20
E12	1,0;	1,2;	1,5;	1,8;	2,2;	2,7	10
	3,3;	3,9;	4,7;	5,6;	6,8;	8,2	
E24	1,0;	1,1;	1,2;	1,3;	1,5;	1,6	5
	1,8;	2,0;	2,2;	2,4;	2,7;	3,0	
	3,3;	3,6;	3,9;	4,3;	4,7;	5,1	
	5,6;	6,2;	6,8;	7,5;	8,2;	9,1	

Допуск – максимально допустимое отклонение реальной величины сопротивления резистора от его номинальной величины, выраженное в процентах.

Согласно ГОСТ 9664-74, установлен ряд допусков (в процентах): $\pm 0,001$; $\pm 0,002$; $\pm 0,005$; $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 2,0$; $\pm 5,0$; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 %.

Номинальная мощность рассеивания $P_{ном}$ – это наибольшая мощность, которую резистор может рассеивать в течение гарантированного срока службы при сохранении параметров в установленных пределах.

Номинальная мощность рассеивания резистора определяется размерами корпуса, материалом и конструкцией резистивного элемента. Конкретные значения номинальных мощностей рассеивания в Ваттах устанавливаются согласно ГОСТ 24013-80 и ГОСТ 10318-80 и выбираются из ряда: 0,01; 0,025; 0,05; 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 160; 250; 500.

Для нормальной работы резистора необходимо, чтобы мощность, выделяемая на резисторе в данной электрической цепи (P), не превышала номинальной мощности рассеивания.

Величина номинальной мощности рассеивания указывается на корпусах крупногабаритных резисторов, а у малогабаритных приводится в сопроводительной документации.

Условно-графические обозначения постоянных резисторов различной мощности рассеивания резисторов приведены на рисунке 2.3.

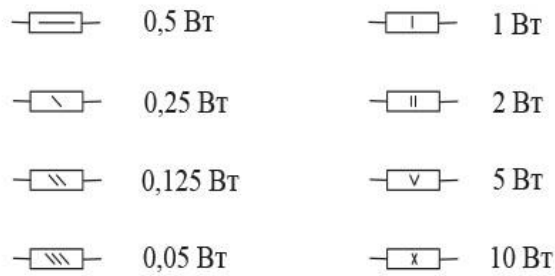


Рис. 2.3. Условно-графические обозначения постоянных резисторов различной мощности рассеяния

Предельное напряжение $U_{\text{пред}}$ – это максимальное напряжение, которое может быть приложено к резистору без нарушения его работоспособности. Оно ограничивается тепловыми процессами, а у высокоомных резисторов – электрической прочностью резистора.

Стабильность сопротивления резистора. Под стабильностью сопротивления резистора понимают зависимость его от изменения температуры, влажности окружающей среды, времени, приложенного напряжения, нагрузки. Стабильность сопротивления резистора характеризуется рядом коэффициентов стабильности. Например: температурный коэффициент сопротивления ТКС (α_R) – это относительное изменение величины сопротивления резистора при изменении его температуры на один градус.

Собственные шумы резисторов складываются из тепловых и токовых шумов.

Собственная емкость и индуктивность – характеристики, определяющие работу резистора на высоких частотах.

Собственная емкость резистора складывается из емкости резистивного элемента и емкости выводов. Индуктивность и емкость резистора имеют распределенный характер. Однако для упрощения это обычно не учитывают и при расчете схем на высоких частотах используют эквивалентную схему, показанную на рис. 2.4.

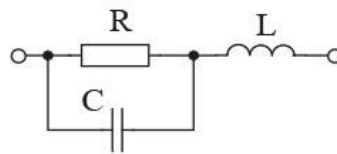


Рис. 2.4. Эквивалентная схема собственной емкости и индуктивности резистора, определяющие его работу на высоких частотах

Рассмотренные параметры характеризуют как постоянные резисторы, так и переменные. Однако для характеристики переменных резисторов используются еще ряд специальных параметров: кривая регулирования, разрешающая способность, износоустойчивость.

Параметры используются при оценке пригодности резисторов для работы в конкретных цепях РЭО при определенных условиях эксплуатации.

На схемах электрических принципиальных указывается позиционный номер резистора, обозначаемый латинской буквой R (RK – терморезистор, RU – варистор) с числом, например, R22, RK10. При указании номинального сопротивления от 0 до 999,9 Ом единицы измерения не указываются, сопротивление от 1 до 999,9 кОм обозначается буквой к (2,8 к), сопротивление от 1 до 999,9 МОм обозначается буквой М (1,2 М) и свыше 1 ГОм обозначается буквой Г (1,2 Г). Также может указываться номинальная мощность рассеивания резисторов (рис. 2.3).

На резисторы наносится буквенно-цифровая, цветовая или цифровая маркировка. Она может содержать сокращенные обозначения типа резистора, номинальной мощности рассеивания, номинального сопротивления, допуска и даты изготовления.

В настоящее время существует несколько государственных стандартов обозначения и маркировки резисторов.

Первый способ маркировки.

Сокращенная система обозначений резисторов введена в соответствии с ГОСТ 13453–68 с учетом свойств и классификации резисторов и состоит из букв и цифр (рис. 2.5). Буквами обозначается группа резисторов:

С – резисторы постоянные;

СП – резисторы переменные.

Первая цифра после букв указывает материал изготовления:

1 – непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые;

2 – непроволочные тонкослойные металлопленочные и металлоокисные;

3 – непроволочные композиционные пленочные;

4 – непроволочные композиционные объемные;

5 – проволочные;

6 – непроволочные тонкослойные металлизированные.

Следующие цифры, написанные через дефис, указывают порядковый номер разработки конструктивной разновидности резисторов данного вида. Например, резистор С2-22 – постоянный непроволочный с порядковым номером разработки 22.

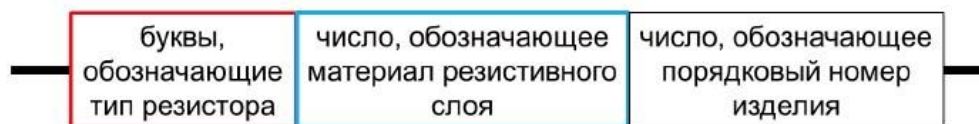


Рис. 2.5. Первый вариант маркировки резисторов

Второй способ маркировки.

С 1980 г. введена система сокращенных условных обозначений, схема которой показана на рис. 2.6. В этой системе *первый элемент* – буква или сочетание букв – обозначает подкласс резистора:

- Р – резисторы постоянные;
- РП – резисторы переменные;
- ТР – терморезисторы с отрицательным ТКС;
- ТРП – терморезисторы с положительным ТКС;
- ВР – варисторы;
- ВРП – варисторы переменные;
- ФР – фоторезисторы

Второй элемент – цифра обозначает группу резисторов по материалу резистивного элемента:

- 1 – непроволочные;
- 2 – проволочные металлофольговые;
- полупроводниковые материалы не обозначаются.

Третий элемент – цифра, обозначает регистрационный номер конкретного типа резистора.

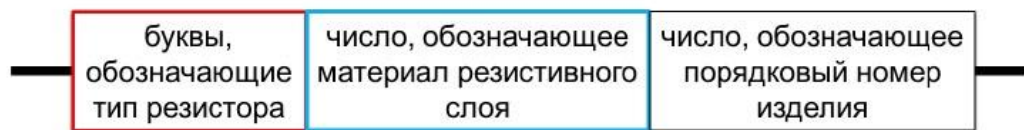


Рис. 2.6. Второй вариант маркировки резисторов

Примеры маркировки:

- Р1-26 – постоянный непроволочный резистор с порядковым номером разработки 26);
- ТР-7 – терморезистор с отрицательным ТКС с порядковым номером разработки 7.

После букв через дефис могут ставиться цифры, указывающие номинальную мощность рассеивания в ваттах. На малогабаритных резисторах условное обозначение и номинальная мощность не отмечаются.

Третий способ маркировки.

Резисторы обозначаются тремя буквами (рис. 2.7).

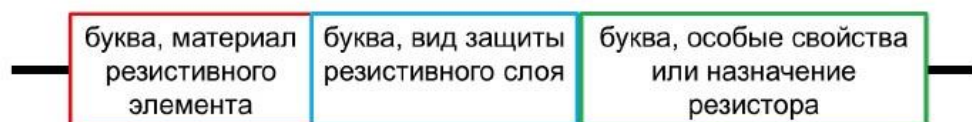


Рис. 2.7. Третий вариант маркировки резисторов

Первая буква обозначает материал резистивного элемента:

У – углеродистые;

К – композиционные;

М – металлопленочные;

П – проволочные и т. д.

Вторая буква обозначает вид защиты резистивного слоя:

Л – лакированные;

Г – герметизированные;

Э – эмалированные и т. д.

Третья буква – особые свойства или назначение резистора:

Т – теплостойкие;

П – прецизионные;

В – высоковольтные;

М – малогабаритные и т. д.

Например, МЛТ – металлопленочные лакированные теплостойкие;

КЛВ – композиционные лакированные высоковольтные резисторы.

Маркировка резисторов (их буквенно-цифровой код) содержит значение номинального сопротивления и допустимые отклонения от него. Кроме того, в обозначении имеется буква, которая указывает единицы сопротивления. Она пишется на том месте, где должна быть запятая, разделяющая целую и дробную части обозначения. Если в значении сопротивления резистора отсутствуют целые числа, то нуль впереди буквы не ставится. В конце обозначения резистора буквой указывается допустимое отклонение от номинального значения сопротивления. Например, сопротивление $0,47 \text{ Ом} \pm 5 \%$ сокращенно обозначается Е47И; сопротивление $4,7 \text{ кОм} \pm 10 \%$ – 4К7С, сопротивление $4,7 \text{ МОм} \pm 20 \%$ – 4М7ВJ.

Резисторы с номинальным значением до 100 Ом маркируются буквами Е или R, например:

$0,47 \text{ Ом} - R47$ или Е47;

$1 \text{ Ом} - 1R0$ или 1Е0;

$4,3 \text{ Ом} - 4R3$ или 4Е3;

$33 \text{ Ом} - 33R$ или 33Е;

$47,5 \text{ Ом} - 47R5$ или 47Е5.

Резисторы с номинальным значением от 100 до 999 Ом маркируются в долях кОм и обозначаются буквой К, например: 100 Ом – К10; 470 Ом – К47; 560 Ом – К56; 820 Ом – К82.

Резисторы с номинальным значением от 1 кОм до 99 кОм маркируются буквой К, например: 1 кОм – 1К0; 4,7 кОм – 4К7; 10 кОм – 10К; 47,5 кОм – 47К5;

75 кОм – 75К.

Резисторы с номинальным значением от 100 до 999 кОм маркируются в долях мегаома и обозначаются буквой М, например: 100 кОм – М10; 150 кОм – М15; 360 кОм – М36; 475 кОм – М475; 560 кОм – М56.

Полное обозначение допуска состоит из цифр, а кодированное из букв. Для наиболее распространенных допусков используется кодировка, представленная в табл. 2.2.

Дата изготовления и товарный знак завода-изготовителя наносятся, если позволяют размеры резистора.

Таблица 2.2

Допуск %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30
Кодированное обозначение	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	Ф
	В	С	Д	Е	Г	З	К	М	Н

В соответствии с ГОСТ 17598–72 для постоянных резисторов допускается маркировка цветным кодом номинального сопротивления и допустимых отклонений от него. Маркировку наносят знаками в виде кругов или полос. Для маркировки цветным кодом номинальное сопротивление резисторов в омах выражается двумя или тремя цифрами (в случае трех цифр – последняя не равна нулю) и множителем 10 в степени n , где n – любое целое число от -2 до $+9$.

Для резисторов с номинальным сопротивлением, выраженным двумя цифрами и множителем, цветная маркировка состоит из четырех или трех знаков при допустимом отклонении сопротивления $\pm 20\%$ (допустимое отклонение $\pm 20\%$ не маркируется). Маркировочные знаки располагают на резисторе слева направо в следующем порядке:

- первая цифра;
- вторая цифра;
- множитель;
- допустимое отклонение сопротивления.

Для резисторов с номинальным сопротивлением, выраженным тремя цифрами и множителем, цветная маркировка состоит из пяти знаков и располагается слева направо в следующем порядке:

- первая цифра;
- вторая цифра;
- третья цифра;
- множитель;
- допустимое отклонение сопротивления.

Маркировочные знаки сдвинуты к одному из торцов резистора. Первый знак расположен у торца. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из торцов, то площадь первого знака делается приблизительно в два раза больше площади остальных знаков.

Цветовая маркировка резисторов показана на рис. 2.8.

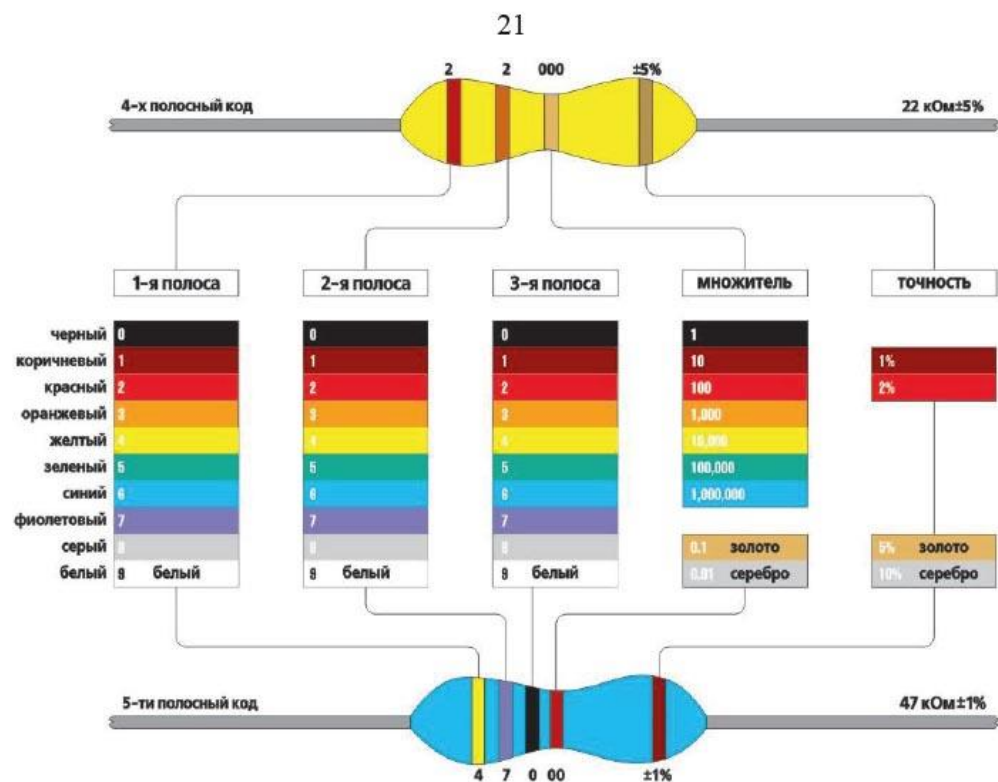


Рис. 2.8. Цветная маркировка резисторов



Рис. 2.9. Резистор МЛТ



Рис. 2.10. Резистор на печатной плате

Примеры маркировки резисторов:

- на рис. 2.9 постоянный металлоплёночный лакированный теплостойкий (МЛТ) резистор с мощностью рассеяния 2 Вт, номинальным сопротивлением 9,1 Ом, допуском 5%, выпуск 10 месяц 1967 года;
- на рис. 2.10 резистор постоянный не проволочный (2- тип материала резистивного слоя), порядковый номер изделия -33, рассеиваемая мощность 1 Вт, номинальное сопротивление 30 Ом, допуск 5%, год выпуска 86.

Маркировка зарубежных резисторов принципиально не отличается от маркировки отечественных резисторов, но при этом используется буквы латинского и греческого алфавитов.

Малогобаритные постоянные и переменные резисторы могут иметь маркировку, состоящую из трех цифр. Две первые означают сопротивление в Омах, а третья цифра – степень при множителе 10. Например, маркировка из цифр 514 расшифровывается следующим образом: $51 \cdot 10^4 = 510\,000\text{ Ом} = 510\text{ кОм}$. Резисторы, маркированные согласно указанному выше стандарту без допускаемых отклонений, имеют симметричные отклонения в пределах $\pm 20\%$.

В перечне элементов отмечаются позиционный номер, тип, номинальная мощность рассеивания, номинальное сопротивление, допуск, группа по уровню шума, номер ГОСТ или ТУ. Для переменных резисторов указывается кривая регулирования. Например, постоянный не проволочный резистор с номером разработки 33, номинальной мощностью 0,25 Вт, номинальным сопротивлением 100 кОм, с допуском $\pm 2\%$, группой А по уровню шума и с документом на поставку ОЖО.467.027 ТУ, обозначается:

R1-33 – 0,25 Вт – 100 кОм $\pm 2\%$ А ОЖО. 467. 027 ТУ.

Проверка и взаимозаменяемость резисторов

Для проверки резисторов постоянного и переменного сопротивления необходимо выполнить следующие действия:

1. Произвести внешний осмотр. При этом обращают внимание на целостность корпуса, отсутствие на его поверхности трещин и сколов, надежность крепления выводов. У неисправного резистора можно обнаружить обуглившиеся поверхности лакового или эмалевого покрытия.
2. Проверить работу движущего механизма переменного резистора и состояние его частей.
3. По маркировке и размерам определить номинальную величину сопротивления, допустимую мощность рассеяния и класс точности.
4. Омметром измерить действительную величину сопротивления и определить отклонение от номинала.

Перед измерением сопротивления резисторов, установленных в РЭО, его необходимо выключить и разрядить электролитические конденсаторы. Выпасть один вывод резистора. При измерении должен быть надежный контакт между выводами резистора и зажимами прибора. Чтобы не шунтировать изме-

рительный прибор, не следует касаться руками металлических частей щупов омметра.

У переменных резисторов измерить еще и плавность изменения сопротивления при движении ползунка.

5. Резистор исправен, если нет механических повреждений, величина его сопротивления находится в допустимых пределах данного класса точности, а контакт ползунка с токопроводящим слоем постоянен и надежен.

Непригодные постоянные резисторы заменяют новыми с соответствующими техническими параметрами: номинальным омическим сопротивлением, номинальной мощностью рассеивания и др. При отсутствии резистора с соответствующим сопротивлением его можно заменить двумя (или несколькими), соединенными параллельно или последовательно.

При последовательном соединении резисторов общее сопротивление равно сумме значений сопротивлений резисторов, включенных в электрическую цепь (рис. 2.11):

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



Рис. 2.11. Последовательное соединение резисторов

При параллельном соединении двух резисторов (рис. 2.12) общее сопротивление можно рассчитать по формуле

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

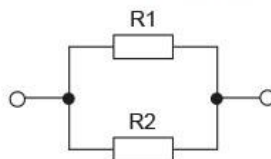


Рис. 2.12. Параллельное соединение резисторов

При установке исправных резисторов взамен вышедших из строя необходимо учитывать мощность рассеивания. Без особой нужды не следует завышать ее, так как резистор большой мощности имеет большие геометрические размеры. В современной радиоаппаратуре монтаж очень плотный и разместить несколько резисторов вместо одного или один большего размера довольно трудно.

2.2. Конденсаторы

Конденсатором называется пассивный элемент РЭО, предназначенный для создания в электрической цепи требуемой величины электрической емкости. Таким образом, основное функциональное свойство конденсатора состоит в способности накапливать электрическую энергию.

Выпускаемые промышленностью конденсаторы можно классифицировать по следующим признакам (рис. 2.13).



Рис 2.13. Классификация конденсаторов

Специальные конденсаторы – это конденсаторы, у которых значение емкости зависит от внешних воздействий.

Условные графические обозначения основных типов конденсаторов представлены на рис. 2.14.



Рис. 2.14. УГО конденсаторов

Основные параметры и характеристики конденсаторов.

Номинальная емкость $C_{ном}$ – это значение электрической емкости, которое указывается на корпусе конденсатора или приводится в соответствующей нор-

мативной документации. Конденсаторы выпускаются на номинальную емкость от единиц пикофарад до тысячи микрофарад. Значения номинальной емкости всех типов конденсаторов постоянной емкости установлены ГОСТ 2519-84.

Согласно этому стандарту, установлены семь рядов значений: E3, E6, E12, E24, E48, E96, E192. В производстве конденсаторов чаще всего используют ряды E6, E12, E24 (табл. 2.3). Как и у резисторов, например, по ряду E6 значения номинальных емкостей в каждой декаде должны соответствовать числам 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8 или числам, полученным путем умножения или деления этих чисел на 10^n , где n – целое число.

Таблица 2.3

Индекс ряда	Числовые коэффициенты, умножаемые на любое число, кратное 10						Допуск, $\pm$ %
E6	1,0;	1,5;	2,2;	3,3;	4,7;	6,8	20
E12	1,0;	1,2;	1,5;	1,8;	2,2;	2,7	10
	3,3;	3,9;	4,7;	5,6;	6,8;	8,2	
E24	1,0;	1,1;	1,2;	1,3;	1,5;	1,6	5
	1,8;	2,0;	2,2;	2,4;	2,7;	3,0	
	3,3;	3,6;	3,9;	4,3;	4,7;	5,1	
	5,6;	6,2;	6,8;	7,5;	8,2;	9,1	

Номинальные емкости электролитических конденсаторов выбирают из ряда: 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000; 5000.

Допуск – максимально допускаемое отклонение реальной емкости конденсатора от его номинальной величины, выраженное в процентах. Значения этих отклонений установлены ГОСТ 9661-73 в процентах для конденсаторов емкостью 10 пФ и более и в пикофарадах для конденсаторов с меньшей емкостью (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Допускаемое отклонение, %	Код	Допускаемое отклонение, %	Код	Допускаемое отклонение, %	Код
$\pm 0,001$	E –	± 1	F (P)	-20 - +50	S (B)
$\pm 0,002$	L –	± 2	G (Л)	-20 - +80	Z (A)
$\pm 0,005$	R –	± 5	J (И)	+100	- (Я)
$\pm 0,01$	P –	± 10	K (C)	Доп. откл. в пФ	
$\pm 0,02$	U –	± 20	M (B)	$\pm 0,1$	B
$\pm 0,05$	X –	± 30	N (Ф)	$\pm 0,25$	C
$\pm 0,1$	B (Ж)	-10 - +30	Q	$\pm 0,5$	D
$\pm 0,25$	C (У)	-10 - +50	T (Э)	± 1	F
$\pm 0,5$	D (Д)	-10 - +100	Y (Ю)		

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ, α_c) – величина, характеризующая относительное обратимое изменение емкости конденсатора при изменении температуры на один градус:

$$\alpha_c = \frac{\Delta C}{C_0 \cdot \Delta T},$$

где ΔC – изменение емкости конденсатора при изменении температуры в интервале ΔT ;

C_0 – начальное значение емкости конденсатора.

Если $\alpha_c > 0$, то говорят, что конденсатор с положительным ТКЕ; $\alpha_c < 0$, – с отрицательным ТКЕ.

Кроме этого, керамические и некоторые другие конденсаторы разделяют на группы по значению ТКЕ. Например, конденсаторы с ТКЕ = –33 относят к группе МЗЗ, а конденсаторы с ТКЕ = 33 – к группе ПЗЗ и т. д.

Номинальное рабочее напряжение $U_{\text{ном}}$ – значение напряжения, обозначенное на конденсаторе (или в документации), при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. $U_{\text{ном}}$ зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов. Шкала $U_{\text{ном}}$ устанавливается ГОСТ 9665-77 (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Номинальное напряжение, В	Код	Номинальное напряжение, В	Код	Номинальное напряжение, В	Код
1,0	I	25	G	200	Z
1,6	P	32	H	250	W
2,5	M	40	S	315	X
3,2	A	50	J	350	T
4,0	C	63	K	400	Y
6,3	B	80	L	450	U
10	D	100	N	500	V
16	E	125	P		
20	F	160	Q		

Тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$). Потери электрической энергии в конденсаторах, в основном, определяются замедленной поляризацией и проводимостью диэлектрика. При переменном напряжении общий ток в конденсаторе имеет активную и реактивную составляющие.

Угол между активной составляющей и общим током называется углом диэлектрических потерь. Величина потерь в конденсаторе определяется по формуле:

$$P_{\text{пот}} = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg}\delta,$$

где U – переменное напряжение на конденсаторе; ω – круговая частота; C – емкость конденсатора.

Как правило, $\text{tg}\delta$ имеет минимум в области комнатных температур. При повышении частоты, температуры и влажности $\text{tg}\delta$ увеличивается и потери в конденсаторе возрастают.

Сопротивление изоляции $R_{\text{из}}$ – сопротивление, оказываемое конденсатором прохождению постоянного тока. Сопротивление изоляции определяется видом

диэлектрика и его толщиной, и зависит от температуры и влажности (при повышении температуры и влажности резко уменьшается). Значение $R_{из}$ конденсаторов обычно приводится в ТУ и справочниках и составляет сотни – тысячи мегаом.

Собственная индуктивность L_C – паразитный параметр конденсатора, который учитывает индуктивность внешних и внутренних соединительных проводников и выводов обкладок, т. е. величина собственной индуктивности зависит от конструкции конденсатора. Этот параметр ограничивает применение конденсаторов в цепях переменного тока высокой частоты.

На высоких частотах любой конденсатор можно рассматривать как последовательный колебательный контур, образованный емкостью $C_{ном}$ собственной индуктивностью L_C и сопротивлением потерь $R_{п}$. Резонанс этого контура наступает на частоте

$$f_p = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_C \cdot C_{ном}}).$$

Следовательно, для устойчивой работы конденсатора в электрической цепи необходимо, чтобы максимальная рабочая частота была в 2–3 раза ниже резонансной частоты.

Реактивная мощность P_p – это реактивная мощность, при которой потери энергии в конденсаторе не превышают допустимых. Работа конденсаторов в цепях с напряжением высокой частоты связана с выделением на них реактивной (P_p) и активной (P_a) мощностей.

Буквенно-цифровая маркировка конденсаторов содержит сокращенное обозначение типа конденсатора, номинальной емкости, допуска, группы ТКЕ, рабочего напряжения и даты изготовления (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Структура маркировки конденсатора

В зависимости от размеров конденсаторов применяются полные или сокращенные (кодированные) обозначения. Незащищенные конденсаторы не маркируются, а их характеристики указываются на упаковке.

Обозначения типа конденсатора производится в соответствии с ОСТ 11.074.008–78 и ГОСТ 11076–69 (табл. 2.6).

Для старых типов конденсаторов в основу условных обозначений брались конструктивные, технологические и другие признаки (например: КД – конденсаторы дисковые; ФТ – фторопластовые теплостойкие; КТП – конденсаторы трубчатые проходные; КСО – конденсаторы слюдяные опресованные; КБГ – конденсаторы бумажные герметизированные).

Таблица 2.6

Первый элемент	Второй элемент	Третий элемент
Подкласс конденсаторов	Группа конденсаторов по виду диэлектрика	Порядковый номер разработки
К – конденсатор постоянной емкости КТ – конденсатор построечный КП – конденсатор переменный	1 – вакуумные 2 – воздушные 3 – с газообразным диэлектриком 4 – с твердым диэлектриком 10 – керамические на номинальное напряжение ниже 1600 В 15 – керамические на номинальное напряжение 1600 В и выше 20 – кварцевые 21 – стеклянные 22 – стеклокерамические 23 – стеклоэмалевые 40 – бумажные на номинальное напряжение 2 кВ, фольговые 41 – бумажные на номинальное напряжение 2 кВ и выше, фольговые 42 – бумажные металлизированные 50 – оксидно-электролитические, алюминиевые 51 – оксидно-электролитические, танталовые 60 – воздушные 61 – вакуумные 71 – полистирольные 72 – фторопластовые	В состав второго и третьего элемента может входить буквенное обозначение: П – для работы в цепях постоянного и переменного токов Ч – для работы в цепях переменного тока У – для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах И – для работы в импульсном режиме «Порядковый номер исполнения (конструкции)»

Полное обозначение номинальных емкостей состоит из цифрового значения номинальной емкости и обозначения единицы измерения (пФ – пикофарды, мкФ – микрофарды, Ф – фард).

Кодированное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включающих две или три цифры и букву. Буква русского или латинского алфавита обозначает множитель, составляющий значение емкости, и

определяет положение запятой десятичной дроби. Номинальную ёмкость обозначают на конденсаторах следующим образом:

- до 999 пФ выражают в пикофарадах, с обозначением единицы измерения буквой *p* (П);

- от 1000 до 999 999 пФ – в нанофарадах, с обозначением *n* (Н);

- от 1 до 999 мкФ – в микрофарадах, с обозначением μ (М);

- от 1000 до 999 999 мкФ – в миллифарадах, с обозначением *m* (И);

- более 999 999 мкФ – в фарадах, с обозначением буквой *F* (Ф).

Например, 150 пФ – 150*p*, или *n*15; 2,2 мкФ – 2*μ*2.

Допускаемые отклонения ёмкости (в процентах или пикофарадах) маркируют после номинального значения ёмкости цифрами или кодом.

После буквы допускаемого отклонения ёмкости в маркировке может присутствовать буквенный код группы по температурному коэффициенту ёмкости ТКЕ (табл. 2.7, 2.8) и (или) номинального напряжения.

Таблица 2.7

Значение ТКЕ керамических конденсаторов и их обозначения

Номинальное значение ТКЕ (10-5 1/°C)	Условное обозначение ТКЕ				
	Буквами и цифрами		Цветовым кодом		
	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение		Новое обозначение
			Цвет покрытия	Цвет точки	
+100 (+120)	П100 (П120)	A	Синий	-	Красн.+ фиолет.
+ 60	П 60	G	Синий	Черная	-
+ 33	П33	N	Серый	-	Серый
0	МПО	C	Голубой	Черная	Черный
-33	M33	H	Голубой	Коричневая	Коричневая
-47	M47	M	Голубой	-	Голубой + крас.
-75	M75	L	Голубой	-	Красный
-150	M150	P	Красный	Красная	Оранжевый
-220	M220	R	Красный	Оранжевая	Желтый
-330	M330	S	Красный	-	Зеленый
-470	M470	T	Красный	Желтая	Голубой
-750	M750	U	Красный	Зеленая	Фиолетовый
(-700)				Синяя	
-1500 (-1300)	M1500	V	Зеленый	-	Оранж.+ Оранж.
-2200	M2200	K	Зеленый	-	Желтый + Оранж
-3300	M3300	Y	-	-	

Во второй строчке обозначения приводится номинальное напряжение конденсатора. Например, конденсатор с ёмкостью 0,15 мкФ и номинальным напряжением 100 В маркируется следующим образом: μ 15K/100.

Таблица 2.8

Значение ТКЕ керамических конденсаторов с ненормируемым ТКЕ

Допустимое изменение емкости в интервалах температур от -60 до $+850\text{ }^{\circ}\text{C}$	Условное обозначение ТКЕ				
	Буквами и цифрами		Цветовым кодом		
	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение		Новое обозначение
			Цвет покрытия	Маркировочная точка	
$\pm 10\%$	H10	B	Оранжевый	Черный	Оранж.+черный
$\pm 20\%$	H20	Z	Оранжевый	Красный	Оранж. +красный
$\pm 30\%$	H30	D	Оранжевый	Зеленый	Оранж. +зеленый
$\pm 50\%$	H50	X	Оранжевый	Синий	Оранж. +голубой
-70%	H70	E	Оранжевый	—	Оранж. +фиолет.
-90%	H90	F	Оранжевый	Белый	Оранж. +белый

Примеры маркировки конденсаторов:

- на рис. 2.16 конденсатор постоянной емкости, тип диэлектрика 71, порядковый номер разработки 6, номинальная емкость 1800 пикофард, допуск 1 %, номинальное напряжение 250 В, дата изготовления – февраль 1979 г.;
- на рис. 2.17 конденсатор постоянной ёмкости, тип диэлектрика 50, порядковый номер изделия 12, номинальное рабочее напряжение 6,3 В, номинальная ёмкость конденсатора 200 микрофард, дата выпуска – сентябрь 1985 г.

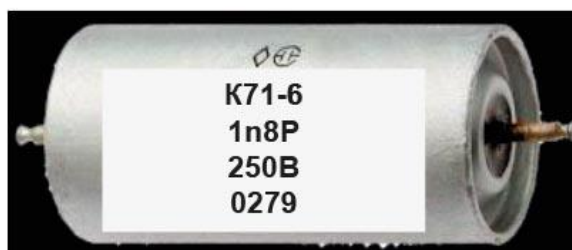


Рис. 2.16. Конденсатор K71-6

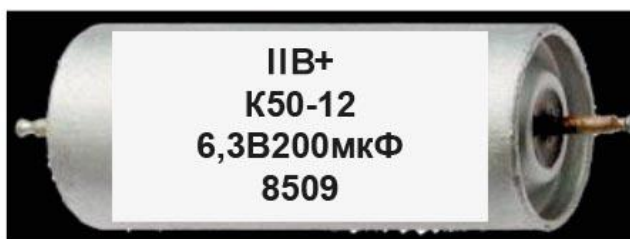


Рис. 2.17. Конденсатор K50-12

Малогобаритные керамические конденсаторы могут маркироваться кодом, состоящим из трех цифр и буквы. Две первые цифры обозначают емкость в пикофарадах, третья цифра – степень при множителе 10, буква – допуск. Например, маркировка на корпусе 222K расшифровывается следующим образом: $22 \cdot 10^2 = 2200$ пФ, допуск $\pm 10\%$.

В конструкторской документации РЭА на электрической схеме указывается условное графическое обозначение и позиционный номер конденсатора, допускается наносить номинальную емкость и номинальное напряжение конденсатора. Для количественного описания конденсаторов в схемах используется позиционный номер конденсатора, который обозначается латинской буквой «С» с числом, например, C22.

При указании номинальной емкости от 0 до 9 999 пФ единицы измерения не обозначаются, а емкость больше 10 нФ указывают в микрофарадах и обозначают буквами мк (0,5 мк).

Номинальное напряжение конденсатора указывается в вольтах. Примеры обозначения конденсаторов на схемах электрических принципиальных приведены на рис. 2.18.

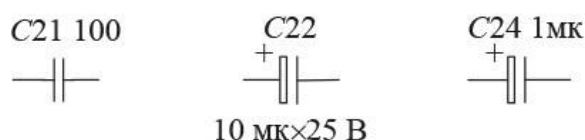


Рис. 2.18. Обозначение конденсаторов на схемах электрических принципиальных

В перечне элементов отмечаются позиционный номер, тип, номинальное напряжение, номинальная емкость, допуск, группа ТКЕ и номер ГОСТ или ТУ. Например, конденсатор постоянной емкости (К75) с порядковым номером 10 на номинальное напряжение 250 В, номинальной емкостью 0,47 мкФ и допускаемым отклонением $\pm 5\%$, всеклиматического исполнения (В), поставляемого по ОЖО.460.030.ТУ обозначается:

К75-10-250 В–0,47 мкФ $\pm 5\%$ – В ОЖО.460.030.ТУ.

Проверка и взаимозаменяемость конденсаторов

В целях повышения надежности и долговечности конденсаторов во всех возможных случаях следует использовать их при менее жестких нагрузках и в облегченных режимах по сравнению с допустимыми.

При разработке электрических схем возникают задачи, связанные с необходимостью определения способа соединения конденсаторов для получения требуемых значений суммарной емкости электрической цепи.

Например, используя ряды номинальных ёмкостей сформировать цепь из конденсаторов, общая ёмкость которых 50 мкФ. Рабочее напряжение цепи 100 В. Решить задачу путем последовательного (рис. 2.19) или параллельного (рис. 2.20) соединения конденсаторов.

При решении задачи допускается использовать разные подходы, например, можно условиться, что ёмкость конденсатора C1 равна 100 мкФ.

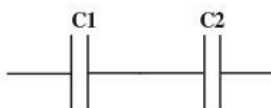


Рис. 2.19. Последовательное соединение конденсаторов

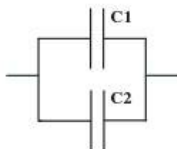


Рис. 2.20. Параллельное соединение конденсаторов

Если соединить последовательно два конденсатора емкостью 100 мкФ каждый, то результирующая емкость

$$C = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ мкФ}$$

Полное рабочее напряжение теперь прикладывается к двум последовательно соединенным элементам. Для того чтобы оно делилось поровну между конденсаторами, целесообразно параллельно каждому из них включить резистор. Каждый конденсатор должен быть рассчитан на рабочее напряжение 63 В, которое так же выбирается из ряда номинальных напряжений с запасом до 30% у электролитических конденсаторов и до 100% у керамических.

Проверка конденсаторов. Выделяют следующие электрические неисправности конденсаторов: пробой; короткое замыкание пластин; изменение номинальной емкости сверх допуска из-за старения диэлектрика, попадания влаги, перегрева, деформации; повышение тока утечки, вызванное ухудшением характеристик изоляции.

Полная или частичная потеря емкости электролитических конденсаторов происходит в результате высыхания электролита.

Простейший способ проверки исправности конденсатора — внешний осмотр, при котором обнаруживаются механические повреждения.

Если при внешнем осмотре дефекты не замечены, проводят электрическую проверку. Она включает проверку на короткое замыкание, пробой, целость вы-

водов, а также проверку тока утечки (сопротивление изоляции) и измерение емкости.

Емкость конденсаторов измеряют компактными переносными измерителями RLC, например: АКИП-6108, Е7-22 или высокочастотными измерителями индуктивности и емкости Е7-5А (Е12-1А).

2.3. Катушки индуктивности

Катушка индуктивности – это пассивный элемент РЭО, предназначенный для создания реактивного индуктивного сопротивления, которое позволяет регулировать процесс протекания токов по цепям и управлять распределением тока. Из-за трудностей микроминиатюризации, значительных массогабаритных показателей, плохой повторяемости характеристик и параметров, повышенной трудоемкости изготовления область их применения ограничена.

Катушки индуктивности, как правило, состоят из диэлектрического каркаса, на который наматывается проволока (рис. 2.21). Внутри каркаса может устанавливаться сердечник из магнитного материала. Регулирование величины индуктивности может осуществляться путем введения в катушку сердечника (или его вывода) на определенную величину.

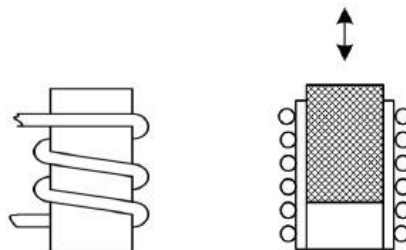


Рис. 2.21. Конструкция катушки индуктивности с сердечником

Используемые в технике катушки индуктивности можно классифицировать по характеру изменения индуктивности, по типу намотки и по конструкции.

По характеру изменения индуктивности. Катушки могут быть с неизменной величиной индуктивности и регулируемые.

По типу намотки: бескаркасная, однослойная и многослойная.

По конструкции: бескаркасные и с каркасом; цилиндрические, броневого, тороидальные и плоские; экранированные и неэкранированные; с сердечником, без сердечника и др.

Основные параметры катушек индуктивности: номинальная индуктивность, отклонение или допуск величины индуктивности, добротность катушки, стабильность, собственная емкость.

Номинальная индуктивность $L_{\text{ном}}$ – это индуктивность, значение которой обозначено на корпусе катушки или указано в сопроводительной документации.

Допуск – это максимально допускаемое отклонение реальной индуктивности катушки от ее номинальной величины, выраженное в процентах.

Точность катушек, предназначенных для колебательных контуров, должна быть в пределах 0,3–5 %, точность катушек связи, дросселей ВЧ и других, работающих на частотах, далеких от резонансных, может составлять 10–15 %.

Добротность катушки – это отношение индуктивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению на данной частоте. Добротность является одним из важнейших параметров катушки индуктивности.

Стабильность катушки – это степень изменения величины индуктивности катушки в условиях эксплуатации под влиянием внешних факторов: температуры, влажности, механических воздействий.

Температурный коэффициент индуктивности α_L – это относительное изменение величины индуктивности при изменении температуры на один градус.

Собственная емкость – это паразитный параметр катушки, который определяется межвитковой емкостью катушки, емкостью выводов и емкостью витков катушки относительно ее арматуры. Величина собственной емкости зависит от конструктивных особенностей катушки индуктивности.

Катушки индуктивности используют в колебательных контурах и фильтрах РЭО для создания индуктивности, создания большого сопротивления токам высокой частоты (дроссели), создания переменной индуктивности (вариометры).

В конструкторской документации на электрической схеме указывается условно-графическое обозначение (рис. 2.22) и позиционный номер. Позиционный номер катушки индуктивности обозначается латинской буквой L с числом, например $L22$.

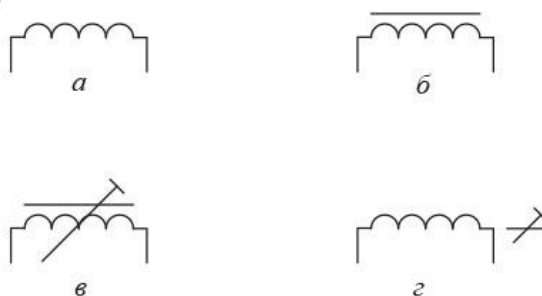


Рис. 2.22. УГО катушек индуктивности:

- а) без сердечника; б) с ферромагнитным сердечником;
- в) подстроечный с ферромагнитным сердечником;
- г) подстроечный с ферромагнитным сердечником

В перечне элементов отмечаются позиционный номер, номинальная индуктивность, допуск, категория климатических условий и ТУ.

На катушки индуктивности наносится буквенно-цифровая маркировка, определяемая заводом-изготовителем. Она, как правило, содержит значение номинальной индуктивности, допуск, число витков, диаметр провода и дату изготовления.

На унифицированные низкочастотные дроссели наносится буквенно-цифровая маркировка, которая состоит из буквы Д и порядкового номера дросселя. На дросселях с порядковыми номерами 1–199 может наноситься число, указывающее индуктивность обмотки при номинальном токе в генри, и число, указывающее номинальный ток подмагничивания в амперах.

На высокочастотных малогабаритных дросселях наносится сокращенное обозначение дросселя в виде букв ДМ, номинальный ток в амперах, индуктивность в мкГн и допуск (если позволяют размеры дросселя).

Примеры маркировки:

Д201 – унифицированный низкочастотный дроссель, номер разработки № 201;

Д8-0,08-0,56 – унифицированный низкочастотный дроссель, номер разработки № 8, индуктивность – 0,08 мкГн, номинальный ток подмагничивания – 0,56А;

ДМ-0,4-100 – высокочастотный малогабаритный дроссель, номинальный ток – 0,4 А, индуктивность – 100 мкГн.

Для обозначения дросселей в конструкторской документации используются те же обозначения, что и для катушек индуктивности.

2.4. Полупроводниковые диоды

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами, предназначенный для выпрямления, детектирования, ограничения и других нелинейных преобразований электрических сигналов.

Полупроводниковый диод состоит из одного *p-n* перехода. Вывод, подключенный к области *P*-типа, называется анодом (эмиттером), а подключенный к области *N*-типа – катодом (базой). Ключевая модель диода демонстрирует его главное свойство – *одностороннюю проводимость*: при прямом включении сопротивление диода стремится к нулю (ключ замкнут), а при обратном сопротивлении стремиться к бесконечности (ключ разомкнут) (рис. 2.23).

Классификация полупроводниковых диодов.

По материалу полупроводникового материала: германиевые, кремниевые, арсенид-галлиевые, фосфид-индиевые.

По назначению: выпрямительные, стабилитроны, варикапы, диоды Шоттки, светодиоды, фотодиоды, импульсные, СВЧ диоды, туннельные, обращенные и др. (рис. 2.24).

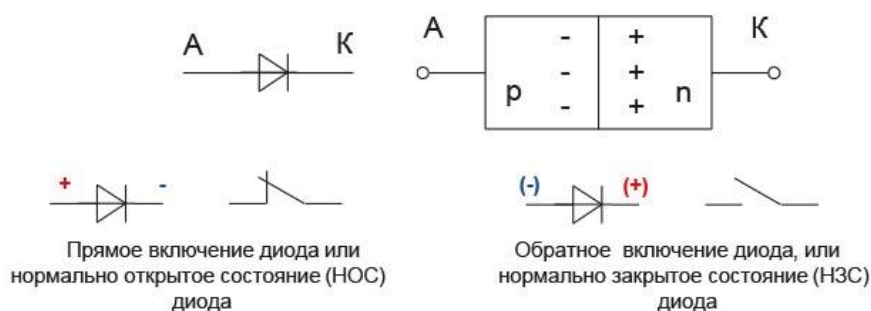


Рис. 2.23. Конструкция полупроводникового диода и его ключевая модель

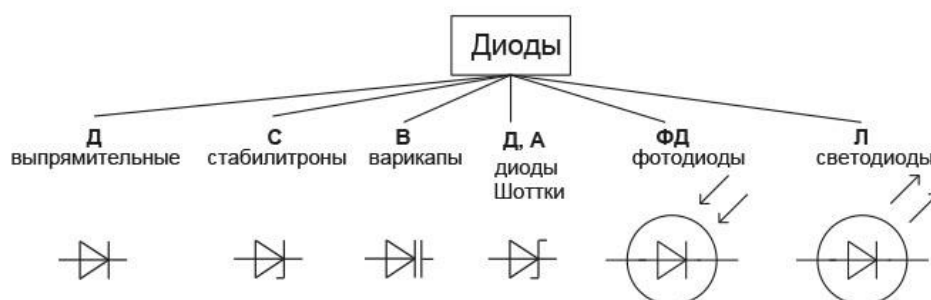


Рис. 2.24. Классификация и УГО полупроводниковых диодов

Основные характеристики и параметры выпрямительных диодов.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) выпрямительного диода представлена на рис. 2.25. Идеализированная вольт-амперная характеристика диода (пунктирная линия) описывается выражением:

$$I = I_o (e^{U/\phi_T} - 1).$$

где I_o – обратный (тепловой) ток диода;
 ϕ_T – температурный потенциал ($\phi_T = kT/q \approx 26$ мВ при 20°C);
 U – напряжение на диоде.

В реальных диодах прямая и обратная ветви ВАХ (рис. 2.25, сплошная линия) отличаются от идеализированной. Это обусловлено тем, что при выводе математической модели не учитывалось падение напряжения в объеме полупроводника N - и P -типа (r_n, r_p), токи утечки и термогенерации ($I_{ут}, I_{терм}$), а также возможность теплового, лавинного и туннельного пробоев.

При практическом использовании диодов выделять все составляющие, которые искажают идеализированную характеристику, сложно и нецелесообразно. Поэтому ограничиваются учетом падения напряжения при прямом включении $U_{пр}$ и влияния температуры на значение обратного тока диода I_o .

При инженерном расчете величины обратного тока можно пользоваться упрощенным выражением:

$$I_o(T) \approx I_o(T_o) \cdot 2^{(T-T_o)/T^*}$$

где T^* – приращение температуры, при котором обратный ток $I_o(T_o)$ удваивается ($T^* \approx 10^\circ\text{C}$ для германия и $T^* \approx 6^\circ\text{C}$ для кремния).

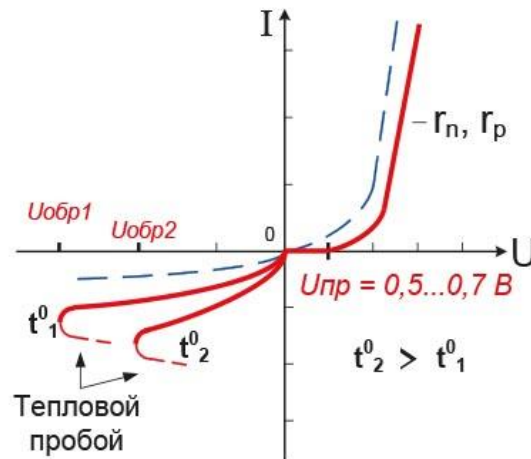


Рис. 2.25. Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода: идеализированная ВАХ (пунктирная линия) и реальная ВАХ (сплошная линия)

Параметры полупроводниковых диодов:

- постоянный прямой ток диода $I_{пр}$ – постоянный ток, протекающий через диод в прямом направлении (сотни мА – десятки А);
- постоянное прямое напряжение диода $U_{пр}$ – постоянное прямое напряжение при заданном постоянном прямом токе (доли В);
- постоянный обратный ток диода $I_{обр}$ – постоянный ток, протекающий через диод в обратном направлении при заданном обратном напряжении (доли мкА – несколько мА);
- дифференциальное сопротивление диода $r_{диф}$ – отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока (единицы – сотни Ом);
- общая емкость диода C – емкость между выводами диода при заданных напряжениях смещения и частоте;
- диапазон частот f – диапазон, на любой частоте которого выпрямленный ток не ниже заданного.

К максимально допустимым параметрам, характеризующим режимы работы диода, превышение которых снижает надежность диода и может привести к полному выходу его из строя, относятся:

- максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{обр.макс}$;

- максимально допустимый средний прямой ток диода $I_{пр.ср.макс}$;
- максимально допустимая средняя рассеиваемая мощность диода $P_{ср.макс}$ и некоторые другие.

Полупроводниковыми стабилитронами называют диоды, предназначенные для стабилизации уровня напряжения в схеме. Для этого используются приборы, у которых на вольт-амперной характеристике имеется участок со слабой зависимостью напряжения от протекающего тока. Такой участок наблюдается на обратной ветви ВАХ кремниевого диода в режиме лавинного или туннельного пробоя (рис. 2.26). Поэтому в качестве полупроводниковых стабилитронов чаще всего используются кремниевые диоды.

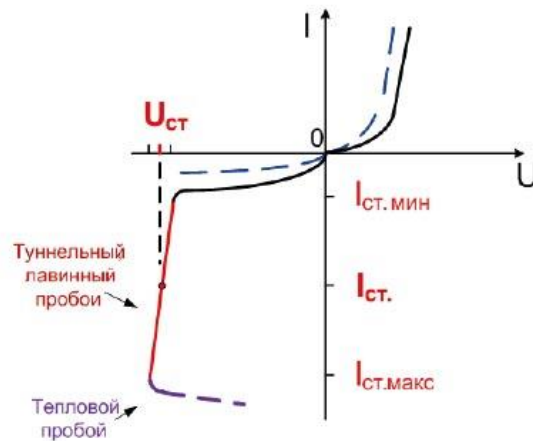


Рис. 2.26. Вольт-амперная характеристика стабилитрона

Система обозначений современных полупроводниковых диодов установлена отраслевым стандартом ОСТ 11 336.919-81 и базируется на ряде классификационных признаков этих приборов. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код.

ПЕРВЫЙ ЭЛЕМЕНТ – буква или цифра, обозначающая исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор:

Г или 1 (цифра, если для спец. техники) – германий или его соединения;

К или 2 – кремний или его соединения;

А или 3 – соединения галлия;

И или 4 – соединения индия.

ВТОРОЙ ЭЛЕМЕНТ обозначения – буква, определяющая подкласс (или группу) приборов: Д – диоды выпрямительные, импульсные; С – стабилитроны; И – туннельные диоды; А – сверхвысокочастотные диоды и др.

ТРЕТИЙ ЭЛЕМЕНТ – цифра, определяющая назначение, параметр или принцип действия прибора. Например, для выпрямительного диода макси-

мально допустимый прямой ток, для стабилитрона – максимальная мощность и диапазон напряжения стабилизации (табл. 2.9).

ЧЕТВЕРТЫЙ ЭЛЕМЕНТ – число, обозначающее порядковый номер разработки прибора. Для обозначения порядкового номера разработки используются двузначные числа. Допускается использование трехзначных чисел от 101 до 999 при условии, если порядковый номер разработки превышает число 99.

Для полупроводниковых стабилитронов двузначное число указывает конкретное значение напряжения стабилизации в вольтах, в пределах диапазона напряжения стабилизации (табл. 2.9). Например: 51 в диапазоне от 0,1 до 9,9 означает $U_{ст} = 5,1$ В, в диапазоне от 10 до 99,9 $U_{ст} = 51$ В, в диапазоне от 100 до 200 $U_{ст} = 151$ В.

ПЯТЫЙ ЭЛЕМЕНТ – буква, условно определяющая классификацию по параметрам приборов, изготовленных по единой технологии. Для этих целей используются буквы русского алфавита от А до Я, за исключением букв, сходных по начертанию с цифрами 3, 0 и 4.

В стандарте предусмотрено также введение в обозначение дополнительных знаков при необходимости отметить отдельные конструктивно-технологические особенности приборов.

Пример обозначения выпрямительного диода:

2Д223Р – кремниевый выпрямительный диод для спец. техники, средний выпрямленный ток до 10 А, номер разработки 23, группа Р.

Пример обозначения стабилитрона:

КС147 – кремниевый стабилитрон широкого применения, рассеиваемая мощность не превышает 0,3 Вт (табл. 2.9), напряжение стабилизации 4,7 В.

ТРЕТИЙ ЭЛЕМЕНТ – цифра 1, определяющая назначение, параметр или принцип действия прибора, для стабилитрона определяет максимальную мощность и диапазон напряжения стабилизации до 0,3 Вт.

ЧЕТВЕРТЫЙ ЭЛЕМЕНТ – число, обозначающее порядковый номер разработки прибора. Для полупроводниковых стабилитронов двузначное число указывает конкретное значение напряжения стабилизации в вольтах, в пределах диапазона напряжения стабилизации (табл. 2.9). Число 47 означает $U_{ст} = 4,7$ В.

Таблица 2.9

Мощность, Вт			Напряжение стабилизации, В
до 0,3	от 0,3 до 5	от 5 до 10	
1	4	7	от 0,1 до 9,9
2	5	8	от 10 до 99,9
3	6	9	от 100 до 200

КА102А – кремниевый СВЧ-диод широкого применения, смесительный, номер разработки 2, группа А.

Проверка исправности полупроводниковых диодов.

Простейшая проверка исправности полупроводниковых диодов заключается в измерении их прямого $r_{пр}$ и обратного $R_{обр}$ сопротивлений. Чем выше от-

ношение $R_{обр} / r_{пр}$, тем выше качество диода. Для измерения диод подключают к омметру (мультиметру), при прямом и обратном включении (т.е. полярность проводов меняется местами) как показано на рис. 2.27. При этом выходное напряжение измерительного прибора не должно превышать максимально допустимого для данного элемента.



Рис. 2.27. Проверка исправности диода, измерение прямого и обратного сопротивления

2.5. Транзисторы

Транзисторы относятся к многополюсным электронным приборам и предназначены, в первую очередь, для усиления электрических сигналов. Название транзистор (*transistor*) произошло от сокращенного названия transfer resistor – управляемый резистор, и в простейшем случае его можно представить в виде переменного резистора, управляемого внешним напряжением.

Классификация транзисторов представлена на рис. 2.28.



Рис. 2.28. Классификация транзисторов

Биполярными транзисторами (БТ) называют полупроводниковые приборы с двумя PN-переходами, тремя выводами, предназначенные для усиления электрических сигналов.

Биполярный транзистор содержит три полупроводниковые области с чередующимися типами проводимости. В зависимости от типа электропроводности наружных слоев различают транзисторы $p-n-p$ и $n-p-n$ -типов. Структура и условные графические обозначения $n-p-n$ и $p-n-p$ биполярных транзисторов представлены на рис. 2.29.

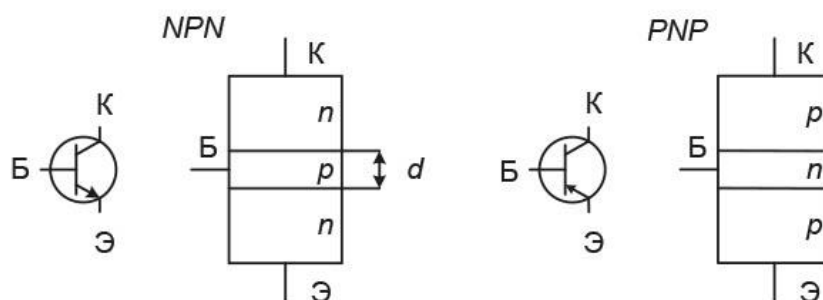


Рис. 2.29. Структура и УГО биполярных транзисторов

Нижний слой называют *эмиттером*, он является источником свободных носителей заряда. Средний слой называют *базой*, он служит управляющим полюсом. Верхний наружный слой называют *коллектором*, он выполняет функцию приемника СНЗ.

Параметры биполярных транзисторов.

1. Максимально допустимый ток коллектора $I_{к.мах}$ (сотни мА – десятки А).
2. Максимально допустимое напряжение на коллекторе $U_{кэ.мах}$ (десятки – сотни В).
3. Обратный ток коллекторного перехода при заданном обратном напряжении $I_{кбо}$ (мкА – единицы мА).
4. Напряжение насыщения база – эмиттер, коллектор – эмиттер $U_{кэ.нас}$, $U_{бэ.нас}$ (десятые доли В – один В).
5. Наибольшая мощность рассеяния коллектором $P_{к.мах}$ (мВт – десятки Вт).
6. Коэффициенты передачи эмиттерного и базового токов α , β .
7. Дифференциальные коэффициенты передачи эмиттерного и базового токов

$$h_{21э} = \left. \frac{\partial I_{\kappa}}{\partial I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{кэ}} = \text{const}} \approx \beta; \quad ; \quad h_{21б} = \left. \frac{\partial I_{\kappa}}{\partial I_{\text{э}}} \right|_{U_{\text{кб}} = \text{const}} \approx \alpha.$$

8. Дифференциальное сопротивление эмиттерного переход $r_{э.диф}$ (Ом – десятки Ом):

9. Выходная проводимость, или дифференциальное сопротивление, коллекторного перехода h_{22} (доли – сотни мксм)

10. Предельная частота коэффициента передачи тока базы и эмиттера $f_{h21э}$, $f_{h21б}$ – это частота, на которой соответствующий дифференциальный коэффициент передачи тока уменьшается до 0,7 своего максимального значения (КГц – сотни МГц).

11. Емкость коллекторного перехода C_k (ед – десятки пФ).

Полевые транзисторы (ПТ) – это полупроводниковые приборы, в которых протекание тока обусловлено дрейфом только основных носителей заряда под действием продольного электрического поля. Управление величиной тока в полевых транзисторах осуществляется поперечным электрическим полем, за счет чего они и получили свое название.

Существуют два основных типа полевых транзисторов (рис. 2.28): с управляющим p - n -переходом и полевые транзисторы с изолированным затвором структуры металл – диэлектрик – полупроводник, называемые кратко МДП-транзисторы (в качестве диэлектрика используется окисел полупроводника, поэтому такие транзисторы иногда называют МОП-транзисторами).

Структура и условное графическое обозначение полевых транзисторов показаны на рис. 2.30 и рис. 2.31.

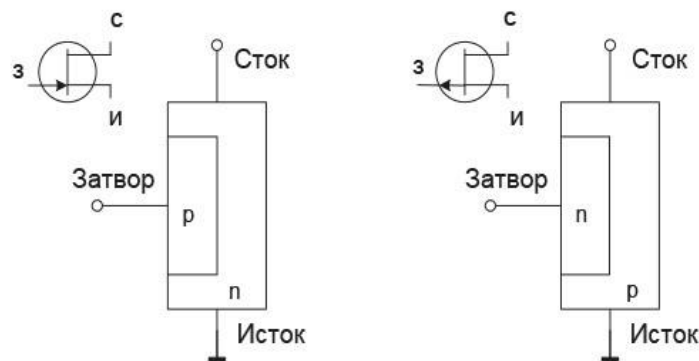


Рис. 2.30. Структура и УГО ПТ с управляющим p - n -переходом

Главное достоинство полевых транзисторов – высокое входное сопротивление ($10 - 100 \text{ МОм}$), малое потребление энергии, небольшие габариты, малый уровень шумов. Поэтому в настоящее время биполярные транзисторы все чаще заменяются на полевые.

Параметры полевых транзисторов.

максимально допустимый ток стока $I_{с.макс}$ (от 10 мА до нескольких ампер);

максимально допустимое напряжение на стоке $U_{си.макс}$ (десятки – сотни вольт);

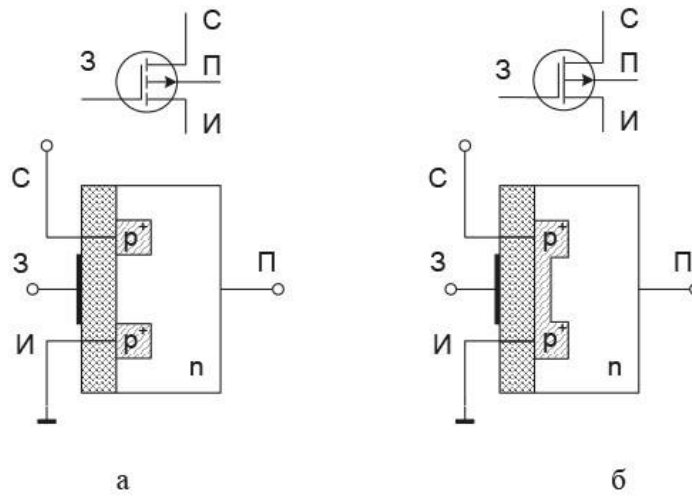


Рис. 2.31. Структура и УГО МДП транзисторов: а – с индуцированным каналом; б – со встроенным каналом

напряжение отсечки $U_{\text{зи.отс}}$ (0,2–10 В);
 входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ (10 МОм – 1 ГОм);
 входная емкость $C_{\text{з}}$ (0,2–10 пФ);
 сопротивление сток-исток в открытом состоянии $R_{\text{си.отк}}$ (2–300 Ом);
 внутреннее (дифференциальное) сопротивление или выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$ (100 кОм – 1 МОм):

$$R_{\text{вых}} = \frac{1}{Y_{22}} = \frac{\partial U_{\text{си}}}{\partial I_{\text{с}}} \bigg|_{U_{\text{зи}} = \text{const}};$$

крутизна характеристики $S = 0,3\text{--}3 \text{ мА/В}$:

$$S = Y_{21} = \frac{\partial I_{\text{с}}}{\partial U_{\text{зи}}} \bigg|_{U_{\text{си}} = \text{const}};$$

статический коэффициент усиления μ (10–100):

$$\mu = \frac{\partial U_{\text{си}}}{\partial U_{\text{зи}}} \bigg|_{I_{\text{с}} = \text{const}} = S \cdot R_{\text{вых}};$$

максимальная частота усиления f_p – частота, на которой коэффициент усиления по мощности равен единице (f_p – десятки – сотни мегагерц).

Система обозначений транзисторов, как и полупроводниковых диодов, состоит из пяти элементов.

ПЕРВЫЙ ЭЛЕМЕНТ – буква или цифра, обозначающая исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор.

ВТОРОЙ ЭЛЕМЕНТ – буква, определяющая подкласс приборов:

Т – биполярные транзисторы;

П – полевые.

ТРЕТИЙ ЭЛЕМЕНТ определяет допустимое значение рассеиваемой мощности и граничную или максимальную рабочую частоту (табл. 2.10).

ЧЕТВЕРТЫЙ и ПЯТЫЙ ЭЛЕМЕНТЫ обозначения аналогичны соответствующим элементам обозначения полупроводниковых диодов.

Пример: *КТ604А* – кремниевый биполярный транзистор широкого применения, средней мощности (до 1,5 Вт), низкочастотный (до 3 МГц), номер разработки 4, группа А.

Таблица 2.10

Граничная частота, МГц	Рассеиваемая мощность, Вт		
	до 0,3	от 0,3 до 1,5	более 1,5
До 3	1	4	7
От 3 до 30	2	5	8
Свыше 30	3	6	9

Проверка исправности биполярного транзистора.

Чтобы проверить исправность биполярного транзистора, необходимо измерить сопротивления между его электродами. Поскольку транзистор состоит из двух *p-n* переходов, каждый из которых можно представить как полупроводниковый диод, проверить транзистор можно как 2 диода, включенных по схеме рис. 2.32. Для этого омметр (мультиметр) подключают поочередно к базе и коллектору (рис. 2.32) меняя полярность проводов, к базе и эмиттеру, меняя полярность подключения (измеряя прямое и обратное сопротивление каждого из переходов), к эмиттеру и коллектору. В последнем случае между эмиттером и коллектором всегда будет большое сопротивление, т.к. один из переходов всегда включён встречно.

У исправного транзистора прямые сопротивления переходов составляют 30-50 Ом, а обратные – 0,5-2 МОм. При значительных отклонениях от этих величин транзистор можно считать неисправным.

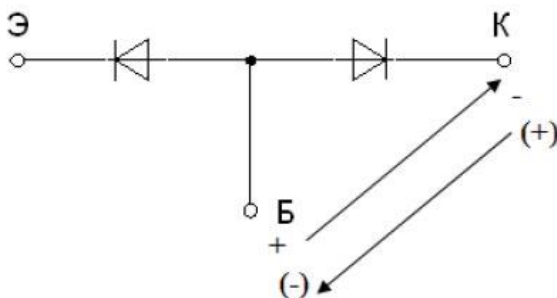


Рис. 2.32. Проверка исправности биполярного транзистора

2.6. Интегральные схемы

Интегральная схема (ИС) – это микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигналов и имеющее высокую плотность установки элементов и компонентов.

В зависимости от технологии изготовления ИС делят на три группы: полупроводниковые, пленочные, гибридные.

Полупроводниковые ИС – это ИС, все элементы и межэлементные соединения которых выполнены в объеме и на поверхности полупроводникового материала. Основу современных ИС составляют полупроводниковые ИС.

Пленочные ИС – это ИС, все элементы и межэлементные соединения которых выполнены в виде пленок на поверхности диэлектрика.

Гибридные ИС – это ИС, в которых пассивные элементы выполнены по пленочной технологии, а активные элементы используются в качестве навесных.

В зависимости от функционального назначения ИС делятся на две категории: цифровые и аналоговые.

Цифровые ИС – это ИС, с помощью которых преобразуются и обрабатываются сигналы, изменяющиеся по закону дискретной функции.

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

По типу корпуса ИС делятся на корпусные и бескорпусные. Кроме того ИС делятся по степени интеграции характеризуемой числом содержащихся в ней элементов и компонентов.

Схемотехнически в ИС используются те же электронные элементы, как и в схемах на дискретных элементах, но в интегральном исполнении.

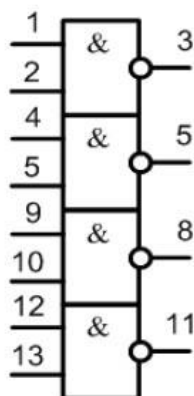
По сравнению со схемой, выполненной на дискретных элементах, ИС имеет более высокую надежность, так как межэлементные соединения выполняются путем металлизации, а не пайкой; меньшую стоимость, так как все элементы в ИС выполняются в едином технологическом цикле и количество операций по их изготовлению не намного превосходит количество операций отдельного транзистора.

Порядок маркировки интегральных схем показан на рис. 2.33.

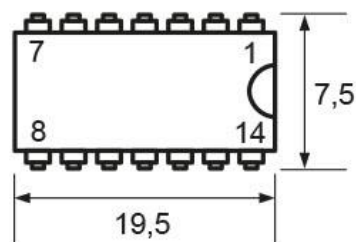


Рис. 2.33. Порядок маркировки интегральных схем

Пример: микросхема К155ЛА3 – широкого применения, полупроводниковая, 155-й серии (ТТЛ), 4 логических элемента И-НЕ, порядковый номер в серии - 3. По справочнику определяются параметры и характеристики ИС, тип корпуса и схемотехническая реализация ИС.



7 вывод общий;
14 – Е_п.



Корпус: 201.14-1 (DIP14).
Нумерация выводов начинается от
ключа на корпусе против часовой стрелки.

Глава 3.

Материалы и оборудование для радиомонтажных работ

3.1. Общие сведения о печатных схемах

Печатная схема конструктивно выполнена в виде основания из электроизоляционного материала, на которое нанесен рисунок из тонкого электропроводящего покрытия, объединенный в общую схему печатных и (или) навесных радиоэлементов.

В технике печатных схем наиболее часто применяются следующие основные термины:

печатная плата – материал основания, вырезанный по размеру, содержащий необходимые отверстия и проводящий рисунок;

печатный проводник – одна проводящая полоска в проводящем рисунке;

печатный монтаж – способ монтажа, при котором электрические соединения элементов электрического узла, включая экраны, выполнены с помощью печатных проводников;

контактная площадка печатной платы – часть проводящего рисунка, используемая для соединения или подсоединения элементов радиоэлектронной аппаратуры;

металлизированное отверстие печатной платы – отверстие в печатной плате с осаженным на стенках проводниковым материалом;

монтажное отверстие – отверстие, служащее для соединения выводов навесных элементов с печатной платой, а также для любого электрического подсоединения к проводящему рисунку.

По конструктивному выполнению печатные платы делят на однослойные и многослойные.

Однослойная печатная плата имеет один изоляционный слой, на котором находятся печатные проводники. Если проводники расположены на одной стороне изоляционного основания, то такую плату называют односторонней, если на двух сторонах – двусторонней.

Многослойная печатная плата может состоять из 2–15 печатных слоев, изолированных, склеиваемых через прокладки.

Процесс изготовления печатной платы состоит из двух основных операций:

1) получение изображения печатных проводников (путем копирования с негатива на светочувствительный слой; печатанием изображения защитной краской через сетчатый трафарет; с помощью офсетной формы);

2) создание токопроводящего слоя на изоляционном основании в соответствии с изображением.

Токопроводящий слой создают, в основном, одним из следующих способов: химическим, при котором вытравливаются участки фольги, предварительно наклеенной на диэлектрик;

электрохимическим – путем химического осаждения создается слой металла в 1–2 мкм, который затем гальваническим способом наращивается до нужной толщины. При электрохимическом способе одновременно с проводниками металлизуют стенки отверстий, которые можно использовать как перемычки для соединения проводников, расположенных на разных сторонах платы;

комбинированным, заключающимся в сочетании химического и электрохимического способов; при этом способе проводники получают травлением фольги, а металлизированные отверстия – электрохимическим путем.

Выбор и применение того или иного способа изготовления печатных плат обусловлен назначением аппаратуры и требованиями, предъявляемыми к ее конструкции и надежности.

Для характеристик печатных проводников используют два параметра: прочность сцепления с электроизоляционным основанием и электрическое сопротивление.

К печатным проводникам предъявляют следующие *требования*:

сцепление проводника с основанием должно обеспечивать нормальную работу печатного проводника в течение заданного периода времени при воздействии на проводник знакопеременной нагрузки;

удельное сопротивление печатного проводника должно быть близким к удельному сопротивлению медного провода, используемого при обычном монтаже;

площадь поперечного сечения печатного проводника должна соответствовать допустимой плотности тока.

В зависимости от метода изготовления печатной платы ширина проводника составляет 0,1–1,5 мм, а расстояние между печатными проводниками 0,2–1,5 мм.

Минимальное расстояние между проводниками и их ширина ограничиваются силой тока в проводнике, разностью потенциалов и удельным поверхностным сопротивлением между проводниками, но чаще всего возможностями технологического процесса.

Для печатных плат, изготавливаемых химическим и комбинированным способами, применяют так называемый фольгированный листовой материал. Он представляет собой изоляционное основание с приклеенной к нему медной фольгой. В качестве изоляционного основания используют, главным образом, гетинакс и стеклотекстолит. Фольгированный материал может быть односторонним и двусторонним. Толщину изоляционного основания выбирают, исходя из требований механической прочности печатной платы и ее размеров. Толщина применяемых в аппаратуре печатных плат составляет 0,8–3 мм, толщина фольги – 35 или 50 мкм. Проводники с большой толщиной фольги позволяют пропускать большие токи при той же ширине проводника.

Наибольшая точность при изготовлении печатных проводников и печатных элементов достигается на печатных платах, площадь которых не превышает 200 см². Из соображений обеспечения механической прочности стороны односторонних и двусторонних плат не должны превышать 240–360 мм для однослойных печатных плат и 200–240 мм для многослойных плат.

Чтобы к печатному проводнику можно было припаять объемный проводник или выводы навесного электроэлемента, на проводнике делают контактную площадку в виде участка с увеличенной шириной. В зоне контактной площадки может находиться отверстие, в которое вставляют объемный проводник или выводы электрорадиоэлемента. При наличии отверстия контактная площадка должна окружать его со всех сторон.

Чертежи печатных плат выполняют на бумаге, имеющей координатную сетку, нанесенную с определенным шагом. Наличие сетки позволяет не ставить на чертеже размеры всех элементов печатного проводника. По сетке можно воспроизвести рисунок печатной платы при изготовлении фото оригиналов, с которых изготавливают шаблоны для нанесения рисунка платы на заготовку.

Координатную сетку наносят на чертеж с шагом 2,5 или 1,25 мм.

Шаг выбирают, исходя из минимального расстояния между выводами навесных элементов (микросхем, разъемов). Центры монтажных и переходных отверстий должны быть расположены в точках пересечения линий (узлах) координатной сетки. Если расстояние между выводами не кратно шагу координатной сетки, то хотя бы один вывод размещается в узле, а остальные – на вертикальной или горизонтальной линии координатной сетки.

3.2. Обмоточные провода

Обмоточные провода бывают медные однопроволочные (одножильные), многопроволочные, для высокочастотных цепей – литцендраты и однопроволочные (одножильные) из материалов с большим удельным сопротивлением (обмоточные провода высокого сопротивления). Жилой называют токоведущую часть провода.

Медные обмоточные провода применяют для изготовления обмоток катушек индуктивности, трансформаторов, электрических машин, реле, приборов и т. д. Обмоточные провода высокого сопротивления предназначены для изготовления проволочных резисторов, шунтов для измерительных приборов и т. д.

Обмоточные провода покрываются изоляцией (эмалью), обматываются хлопчатобумажной или шелковой пряжей, капроном и др. Часто применяют комбинированную изоляцию из эмалевого покрытия с обмоткой провода волокнистой изоляцией. Для изготовления специальных катушек применяют провода без изоляции, иногда посеребренные. Эмалевая изоляция обладает лучшими электроизоляционными свойствами, чем волокнистая. Изготавливаются обмоточные провода круглого и прямоугольного сечений.

В зависимости от материала токоведущей жилы и наложенной на жилу изоляции провода разделяются на марки. Марки обмоточных проводов имеют условные буквенные обозначения, часто с цифрами 1 или 2. Цифра 1 указывает на нормальную толщину изоляции, а цифра 2 – на усиленную.

Обозначение марок обмоточных проводов начинается с буквы П – провод. Для волокнистой изоляции применены буквы: Б – хлопчатобумажная пряжа, Ш – натуральный шелк, Шк или К – искусственный шелк, капрон, С – стекловолокно, А – асбестовое волокно, О или Д указывают на один или два слоя изоляции. Для алюминиевых обмоточных проводов в конце обозначения добавляется буква А. В обозначении марок проводов в эмалевой изоляции применяются буквы: ЭЛ – эмаль лаковой, ЭВ – эмаль высокопрочная (винилфлекс), ЭТ – эмаль теплостойкая полиэфирная, ЭВТЛ – эмаль полиуретановая, ЭЛР – эмаль полиамиднорезольная. Комбинированная изоляция состоит соответственно из эмалевого покрытия, поверх которой наложена изоляция из волокнистых материалов. Обмоточные провода, изолированные стекловолокном и пропитанные в теплостойком лаке, имеют в обозначении букву К. Литцендрат – обмоточный провод, предназначенный для изготовления высококачественных катушек индуктивности для резонансных контуров. Литцендраты состоят из пучка эмалированных проводов диаметром 0,05; 0,06; 0,07; 0,1 или 0,2 мм каждый. Провода в пучке имеют строго определенное расположение и составляют токоведущую жилу. Число проводов может быть от 3-х до 21-го. Сверху жила может быть обмотана одним или двумя слоями пряжи. Число проводов в пучке и диаметр каждого провода обозначается цифрами. Полностью марка литцендрата обозначается буквенно-цифровым шифром. Так, ЛЭШО 10–0,07 расшифровывается: литцендрат, провод с эмалевым покрытием и обмоткой из шелковой пряжи в один слой, число проводов – 10, диаметр каждого провода

0,07 мм. Литцендраты выпускаются следующих марок: ЛЭП – имеет эмалевое покрытие отдельных проводов слоем полиуретанового лака; ЛЭПКО – имеет эмалевое покрытие отдельных проводов слоем полиуретанового лака и обмотку из шелка «капрон» в один слой; ЛЭШО – жила имеет обмотку из натурального шелка в один слой; ЛЭШД – жила имеет обмотку из натурального шелка в два слоя; ЛЭЛО – жила имеет обмотку из шелка «лавсан» в один слой.

Литцендраты марок ЛЭП и ЛЭПКО перед лужением можно не зачищать.

В электро- и радиотехнике нередко находят применение материалы, имеющие большое удельное сопротивление. К материалам с большим удельным сопротивлением относятся сплавы металлов. К таким сплавам относятся манганин, нихром, константан и др.

Константан – медно-никелевый сплав применяется для изготовления проволочных резисторов, реостатов, потенциометров и т. д. Благодаря окисной защитной пленке его можно наматывать виток к витку без применения дополнительной изоляции. Паяется оловянно-свинцовыми припоями.

Манганин – сплав, 86% меди, 12% марганца, 2% никеля. Имеет золотистый цвет. Обладает большой стабильностью сопротивления во времени, поэтому предназначен для изготовления эталонных (образцовых) сопротивлений, катушек точных приборов и т. д. Паяется оловянно-свинцовыми припоями.

Нихром – сплав, 67,5% никеля, 15% хрома, 16% железа, 1,5% марганца. Является жароупорным сплавом с рабочей температурой до 1000° С. Обладает большой механической прочностью. Не паяется. При нагревании на воздухе на поверхности нихрома образуется электроизоляционный слой окисной пленки, поэтому нихромовую проволоку можно наматывать виток к витку, если межвитковое напряжение не превышает 0,5 В. Применяется для изготовления электронагревательных элементов и деталей с высоким синтетическим сопротивлением.

Никелин – разновидность константана. Предельная рабочая температура 250° С.

Фехраль – хромоалюминиевый сплав на основе железа. По сравнению с нихромом более тверд и хрупок. Допустимая рабочая температура – 900-1000° С. Применяется для нагревательных элементов промышленных печей.

Вышеперечисленные сплавы применяются для изготовления обмоточных проводов высокого сопротивления. Обмоточные провода выпускаются следующих марок: ПШДК – провод константановый, изолирован двумя слоями обмотки из шелка, от 0,05 до 1,0 мм; ПЭБОК – провод константановый, изолирован эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи, от 0,4 до 1,0 мм; ПШДММ – провод манганиновый, мягкий изолирован двумя слоями обмотки из шелка, 0,05 до 1,0 мм; ПШДМТ – провод манганиновый, твердый, изолирован двумя слоями обмотки из шелка, от 0,05 до 1,0 мм; ПЭВНХ-1 – провод нихромовый, изолирован высокопрочной эмалью в два слоя, от 0,02 до 0,4 мм; ПЭВНХ-2 – провод нихромовый, изолирован высокопрочной эмалью в два слоя, от 0,02 до 0,4 мм; ПЭНХ – провод нихромовый, изолирован лакостойкой эмалью, от 0,03 до 0,4.

3.3. Монтажные провода

При монтаже радиоаппаратуры применяются монтажные провода для электрических соединений. Монтажные провода имеют разнообразные конструкции, изоляции, сечение токопроводящих жил, теплостойкость и влагостойкость изоляции и т. д. Материалом для изготовления токопроводящих жил монтажных проводов служит мягкая медь марки ММ.

Жилы монтажных проводов состоят из одной или нескольких скрученных между собой проволок. Жесткие монтажные провода имеют однопроволочную жилу, а гибкие – многопроволочную. Чем больше проводов в жиле и чем меньше их диаметр, тем более гибким (мягким) получается монтажный провод. Монтажные провода характеризуются диаметром провода в изоляции, сечением токоведущей жилы, рабочим напряжением, рабочей температурой, назначением и др.

Для изоляции монтажных проводов применяются различные материалы, такие как: поливинилхлорид, пряжа разная, фторопласт, стекловолокно, резина и т. д. Для защиты от электрических полей и помех монтажные провода выпускаются в экранированной оплетке из медной проволоки.

Многие монтажные провода одного и того же типа выпускаются различных расцветок. Расцветка может быть сплошной или комбинированной. Например, цветные полосы на белом фоне изоляции или цветные нити в оплетке и т. п. Применяются следующие расцветки проводов: сплошная желтая или оранжевая – Ж; сплошная красная или розовая – К; сплошная коричневая – Кч; сплошная черная или фиолетовая – Ч; сплошная белая – Б; комбинированная расцветка по белому фону (желтая – БЖ, красная – БК, синяя – БС, зеленая – БЗ, коричневая – БКч, черная – БЧ, красная и желтая – БКЖ, красная и зеленая – БКЗ, черная и синяя – БЧС, черная и зеленая – БЧЗ, синяя и зеленая – БСЗ, синяя и желтая – БСЖ, зеленая и коричневая – БЗКч, зеленая и желтая – БЗЖ).

Рекомендуется использовать для монтажа высоковольтных цепей с положительным потенциалом провод красного цвета во всех его сочетаниях с другими цветами, кроме синего и зеленого; для высоковольтных цепей с отрицательным потенциалом использовать провод синего цвета и все его сочетания с другими, кроме красного и зеленого. Для цепей с нулевым потенциалом относительно корпуса использовать провода черного или фиолетового цвета. Для накала ламп использовать провод зеленого цвета и все его сочетания с другими цветами, кроме красного и синего. Остальные цепи монтируются проводами расцветок, которые не используются для вышеперечисленных цепей. Монтаж каждой электрической цепи, находящейся под одним и тем же потенциалом, должен выполняться от начала до конца проводом одного цвета.

Сечение токопроводящей жилы провода выбирают в зависимости от величины проходящего по нему тока. Допустимый ток составляет 10 А на 1 мм² сечения провода.

3.4. Радиочастотные кабели

Радиочастотные (высокочастотные) кабели предназначены для работы в электрических цепях с частотой более 1 МГц. Радиочастотные кабели подразделяются на 3 вида:

коаксимальные, обозначаемые индексом РК (радиочастотный коаксимальный), РКВ, РКК, РККВ и т. д;

симметричные, обозначаемые индексом РД (радиочастотный, двужильный);

спиральный (в том числе кабели линий задержки), обозначаемые индексом РС (радиочастотный, спиральный), РКЗ (радиочастотный кабель задержки).

Радиочастотные кабели классифицируются:

а) по конструктивному выполнению изоляции на кабеле со сплошной изоляцией;

б) по волновым сопротивлениям (в радиотехнических изделиях наиболее широкое применение находят кабели с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом);

в) по диаметру изоляции;

г) по типу изоляции. Отдельным типам изоляции присваиваются следующие цифровые обозначения: 1 – полиэтилен различных модификаций и его смеси; 2 – фторопласт; 3 – полистирол (стирофлекс); 4 – полипропилен и его смеси; 5 – резина; 6 – неорганическая изоляция.

Каждой конструкции и марке кабеля присваивается условное обозначение, состоящее из двух – четырех букв, указывающее вид кабеля данной марки, и трех чисел, разделенных дефисом. Первое число указывает величину номинального волнового сопротивления (Ом), второе – номинальный диаметр по изоляции, а последующей – порядковый номер конструкции. В случае дробного обозначения второго числа числитель указывает на диаметр внутреннего провода, а знаменатель – диаметр по изоляции.

Например: РК-75-4-23, где РК – радиочастотный, коаксиальный; 75 – волновое сопротивление (Ом); 4 – диаметр изоляции (мм); 23 – первая цифра указывает, что изоляция, выполнена из фторопласта, а вторая – конструкцию кабеля.

3.5. Флюсы и припой

Флюс для пайки – активное химическое вещество, предназначенное для очистки и поддержания в чистоте поверхностей паяемого металла с целью снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания жидкого припоя.

Правильный выбор флюса обеспечивает прочную и красивую пайку. Необходимо помнить, что некоторые из флюсов довольно агрессивны по отношению к металлам, поэтому по окончании пайки остатки флюса надо немедленно удалить. Пары некоторых флюсов вредны для здоровья человека, при работе с ними необходима вентиляция.

Флюсы по действию на металл, подвергающийся пайке, делятся на:

бескислотные (канифоль и растворы на ее основе) – химически малоактивны и могут применяться при тщательной зачистке деталей;

антикоррозийные (соединения фосфорной кислоты), не вызывают коррозии черных металлов;

кислотные (активные) – например хлористый цинк. Интенсивно растворяют окислы, обеспечивают хорошее сцепление припоя с основным металлом. Остаток флюса вызывает коррозию соединений и основного металла;

активизированные, на основе канифоли с добавлением активаторов (например салициловая кислота) применяются для сплавов, плохо поддающихся пайке.

При монтаже аппаратуры нельзя применять в качестве флюса хлористый цинк, так как он, будучи растворенным в воде, содержит свободные пары соляной кислоты, которые разрушают жилы проводов и изоляцию.

Основным флюсом, применяемым при монтаже радиоаппаратуры, является канифольно-спиртовой флюс (30%-ный раствор канифоли в спирте). Кроме раствора канифоли, применяется и кусковая канифоль. Она растворяет окислы меди при температуре выше 150°C и не вызывает разрушения проводов и деталей.

К флюсам предъявляются следующие *требования*:

флюс должен очищать поверхность основного металла и припоя от окислов и защищать паяемые соединения от действия внешней среды во время пайки;

температура плавления флюса должна быть меньше температуры применяемого припоя;

флюс должен сохранять свои химические свойства при нагреве.

Припоем называется легкоплавкий сплав, температура плавления которого ниже температуры плавления спаиваемых металлов.

Качество, точность и надежность паяемого соединения во многом зависят от правильного выбора припоя, который должен обладать следующими свойствами:

температура припоя, при которой он плавится, должна быть меньше температуры плавления деталей, подвергающихся пайке;

расплавляемый припой (в присутствии защитной среды, флюса или в вакууме) должен хорошо смачивать паяемый материал и легко растекаться по его поверхности;

обладать высокой пластичностью и герметичностью;

в парах с паяемым материалом припой не должен образовывать коррозионно нестойкие пары;

припой, применяемые для пайки радиоэлектронных устройств, должны иметь высокую электропроводимость.

Припой по температуре плавления делятся на: мягкие припои, у которых температура плавления ниже 400°C ; твердые припои, у которых температура плавления выше 500°C .

Наибольшее применение в практике нашли припои, представляющие сплавы олова и свинца. Чистое олово при пайке не применяется из-за хрупкости со-

единений и дефицитности олова, а также из-за оловянной чумы: при длительном воздействии температуры ниже 5°C олово рассыпается в серый едкий порошок.

3.6. Устройство электропаяльника, подготовка его к работе

Основным инструментом для пайки монтажных соединений мягкими припоями является паяльник – стержень, выполненный из красной меди, нагреваемый на $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ выше температуры плавления припоя. При проведении радио-монтажных работ пользуются электрическими паяльниками. Стержень электрического паяльника вставляется в металлическую трубку. Трубка покрывается слюдой или стеклотканью. Поверх этого изоляционного слоя наматывается нихромовая проволока – нагревательный элемент паяльника. Сверху он защищен слоем асбеста и металлическим кожухом. На другой конец трубки насажена деревянная или пластмассовая ручка. При помощи вилки на шнуре, соединенной с нагревательным элементом, паяльник включают в штепсельную розетку электрической сети.

Выбор паяльника по мощности и его подготовка являются важными условиями, которые определяют качество пайки. Выбор паяльника по мощности зависит от характера пайки. Для пайки крупногабаритных деталей и проводов большого сечения нужен паяльник мощностью 90 Вт и выше. При монтаже ламповой радиоаппаратуры удобно пользоваться паяльником мощностью 45–50 Вт. Малогабаритную транзисторную аппаратуру и конструкции с печатными платами лучше монтировать паяльником мощностью 30–25 Вт.

Наиболее удобной формой жала паяльника считается четырехгранная с заостренными углами $20\text{--}30^{\circ}$ и $10\text{--}20^{\circ}$ (рис. 3.1).

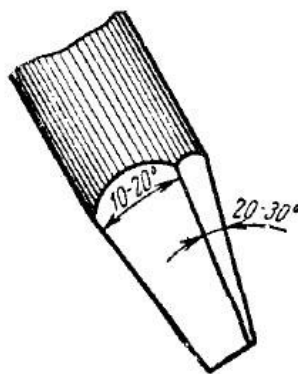


Рис. 3.1. Заостренный конец жала паяльника

Рабочий конец паяльника должен быть горячим и хорошо залужен – покрыт тонким слоем припоя. Залуживают паяльник следующим образом. Разогревают паяльник, затем зачищают жало напильником или наждачной бумагой, опус-

кают в флюс и прикасаются им к припою. После этого жало быстро трут о дерево, чтобы вся его поверхность покрылась тонким слоем припоя. Если припой не пристает даже к хорошо прогретому жалу, его нужно еще раз зачистить и вновь залудить. Паяльник можно считать хорошо залуженным тогда, когда жало равномерно покрыто слоем припоя и с его кончика присвисает капелька припоя. Жало любого паяльника со временем покрывается окалиной, «выгорает», на нем образуются углубления – раковины. Раковины и окалину удаляют напильником (шлифшкуркой). Поверхность жала должна быть ровной, без раковин, очищенной от нагара и хорошо залуженной.

Температуру нагрева паяльника выбирают такой, при которой припой быстро плавится, но не стекает с рабочей части (жала), а флюс не сгорает мгновенно, а остается на жале в виде кипящих капелек. Чтобы паяльник прогрелся, его необходимо включать в сеть за 3–5 минут до начала работы.

3.7. Основные правила пайки. Подготовка и монтаж проводниковых изделий

Пайка представляет собой соединение твердых металлов при помощи расплавленного припоя, имеющего температуру плавления меньше, чем температура плавления соединяемых металлов.

Пайка монтажных соединений необходима для обеспечения механической прочности и надежного электрического контакта. Выполняют ее мягкими оловянно-свинцовыми припоями с применением бескислотных или нейтральных флюсов. Мягкие припои применяются в виде прутков и проволочек, а также в виде трубочек, наполненных канифолью.

Прежде чем приступить к пайке, необходимо произвести механическую зачистку поверхностей паяемых изделий.

Зачистка осуществляется наждачной бумагой, напильником или металлическими щетками. Тщательно зачищенные поверхности обезжириваются этиловым спиртом, авиационным бензином или ацетоном.

К зачищенному месту нельзя прикасаться пальцами, чтобы не оставить следов от пота и жира.

Проводить пайку следует в таком порядке:

Зачищенные и обезжиренные поверхности спаиваемых изделий покрыть флюсом и подвергнуть лужению (нанесению в горячем состоянии на предварительно зачищенные и обезжиренные поверхности тонкого слоя припоя), а затем соединить спаиваемые поверхности;

Приложить жало нормально нагретого паяльника с расплавленным припоем к месту пайки. Как только место пайки прогреется, припой растечется и заполнит промежуток между спаиваемыми поверхностями, плавным движением паяльника следует равномерно распределить припой по всему месту пайки, а излишек снять тем же паяльником. Очень важно, чтобы спаянные детали не сдвигались с места, пока не затвердеет припой, иначе пайка будет непрочной. Если невозможно залудить поверхности спаиваемых деталей отдельно, их надо

плотно прижать друг к другу, смазать место соприкосновения жидким канифольным флюсом и прогреть паяльником, предварительно взяв на него припой. Прогревать детали следует до тех пор, пока припой не растечется по всему месту пайки.

Места пайки для удаления нагара и флюса следует протирать ветошью, кисточкой после проведения пайки.

Нанесение припоя на место спая осуществляется от прутка припоя или захватом припоя рабочей поверхностью паяльника; нанесение флюса на место спая – кистью, лопаткой или с помощью капельницы.

Как паяльник, так и место спая должно быть прогрето выше температуры плавления применяемого припоя. При пониженной температуре припой в месте спая образует кашеобразную массу и соединение получается непрочным. Чрезмерное повышение температуры (перегрев) ведет к выгоранию флюса, образованию окалин в месте спая и отслаиванию припоя. Одним из признаков перегрева является скатывание припоя с паяемых поверхностей.

Дозы подведения припоя и флюса к месту спая, а также технология спайки в каждом конкретном случае определяются особо и зависят от характера работ, тепловой инерции спаиваемых деталей, мощности паяльника и т. д.

Подготовку проводов начинают с правки (выравнивания). После этого провода разрезают на заготовки необходимой длины, указанной в технологической документации.

После резки монтажные провода и кабели поступают на заделку концов, которая состоит из следующих операций:

зачистки концов проводов от изоляции и экранирующей оплетки, удаления окисной пленки, скручивания жил, лужения и закрепления концов изоляции.

Способ заделки концов зависит от ряда факторов: марки применяемого провода или кабеля, конструктивных особенностей монтажа и его деталей, условий эксплуатации.

Зачистка проводов от изоляции должна проводиться на такую длину, которая бы обеспечивала надежность закрепления жил на контактных лепестках без излишних технологических отходов. Практика показывает, что для большинства соединений достаточно зачистка изоляции на участке провода длиной 7–10 мм. Зачистку проводов от изоляции производить так, чтобы исключить надрез жил.

При удалении изоляции с проводов, имеющих полиэтиленовую или полихлорвиниловую изоляции, ее надрезают по всей окружности, отступая от конца провода на необходимую длину, а затем изоляцию снимают при помощи плоскогубцев.

Провода с изоляцией, содержащей стекловолокно, хлопчатобумажную пряжу и т. п., зачищают следующим образом. Наружная полиэтиленовая или полихлорвиниловая изоляция снимается методом надреза. Внутренняя изоляция (стекловолокно, хлопчатобумажная пряжа) расплетается, скручивается на расстоянии до 1 мм от торца внешней изоляции жилы.

При зачистке проводов, изоляция которых не содержит стекловолокно, можно использовать метод обжигания изоляции при помощи электроножа.

Длина местного потемнения и оплавления изоляции не должна превышать 1 мм, а для проводов сечением 0,75 мм и выше – не более 2 мм.

Эмалевую изоляцию удаляют шлифшкуркой, шабером.

При удалении изоляции с жил проводов, имеющих внешнюю хлопчатобумажную оплетку (провода типа БПВЛ), производится ступенчатая разделка изоляции, между концом хлопчатобумажной оплетки и жилой провода оставляют участок основной (полихлорвиниловой) изоляции длиной 3–10 мм. Концы изоляции проводов с волокнистой изоляцией закрепляют для предохранения от разлохмачивания оклетневкой (нитяным бандажом), электроизоляционными трубками, наконечниками из пластмассы или нитролаком.

Оклетневка состоит в наматывании на изоляцию слоя ниток и в соответствующем их закреплении (рис. 3.2). Оклетневку выполняют хлопчатобумажными нитками, которые покрывают нитроклеем или нитролаком.

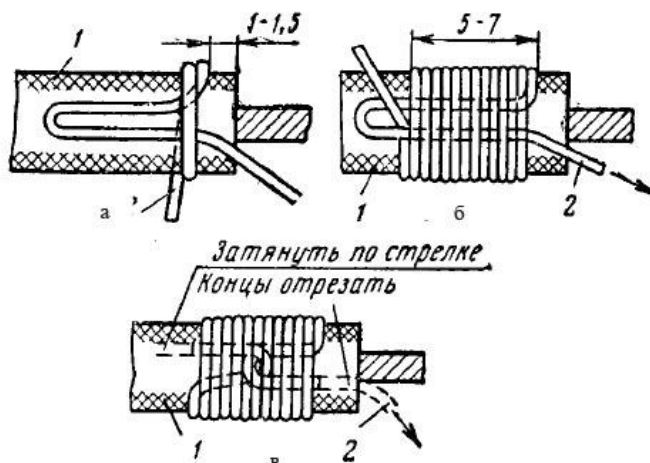


Рис. 3.2. Закрепление изоляции провода ниткой:

а – закрепление первого витка; б – укладка последующих витков; в – затягивание витков и отрезание концов ниток; 1 – провод; 2 – хлопчатобумажная нитка

При удалении изоляции с проводов БПВЛ МГЗЛ электрообжигом концы оплетки спекаются с внутренней изоляцией, поэтому закреплять их не нужно.

Текстильная изоляция с проводов ПВЛ снимается на участке длиной 8–10 мм от места среза резиновой изоляции. Изоляцию с экранированных проводов снимают ступенями (рис 3.3 и 3.4).

Концы экранирующей оплетки срезают монтажными ножницами на 20 мм, для этого сдвигают край оплетки, разрезают оплетку вдоль на 20 мм и аккуратно обрезают вокруг, чтобы срез был ровным и без торчащих жилок.

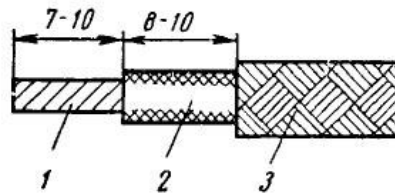


Рис. 3.3. Разделка конца экранированного провода:
1 – жила; 2 – изоляция; 3 – экранирующая оплетка

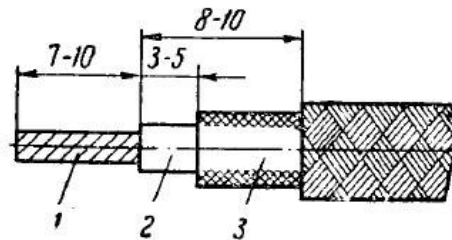


Рис. 3.4. Разделка конца провода БПВЛЭ (БПШЭ, МГВЛЭ, МЦСЛЭ):
1 – жила; 2 – пластиковая изоляция; 3 – текстильная оплетка

Заделку концов экранирующей оплетки выполняют несколькими способами: протаскиванием конца провода через отверстие, сделанное в оплетке и подключением свободного конца оплетки к корпусному лепестку; намоткой на оплетку голого луженого провода и последующей пропайкой этого места; закреплением экранирующей и текстильной оплеток нитками с последующим покрытием нитроклеем.

В первом случае поступают следующим образом: конец оплетки расширяют, сдвигая вправо, и на расстоянии 20 мм от конца провода делают в оплетке отверстие диаметром 3–4 мм; через это отверстие вытягивают провод из оплетки, а свободный конец оплетки вытягивают и в месте выхода провода плотно прижимают к изоляции. Конец экранирующей оплетки используют для подключения к корпусному лепестку. В том случае, когда длина оплетки недостаточна, к концу экранирующей оплетки подпаивают отрезок голого провода ММ диаметром 0,5–0,8 мм, конец которого длиной примерно 4–6 мм вводят внутрь оплетки с ее торца, обжимают и припаивают. На рис. 3.5 показан образец такой заделки.

Способ намотки дополнительного провода на экранирующую оплетку показан на рис. 3.6. На конец оплетки плотно наматывают 2–3 витка голого луженого провода ММ диаметром 0,5 мм. Один конец этого провода прижимают монтажными плоскогубцами к оплетке, а другой (длиной 40–50 мм) оставляют свободными. Витки провода припаивают к оплетке припоем. На свободный конец голого провода надевают линоксировую трубку длиной 15–20 мм.

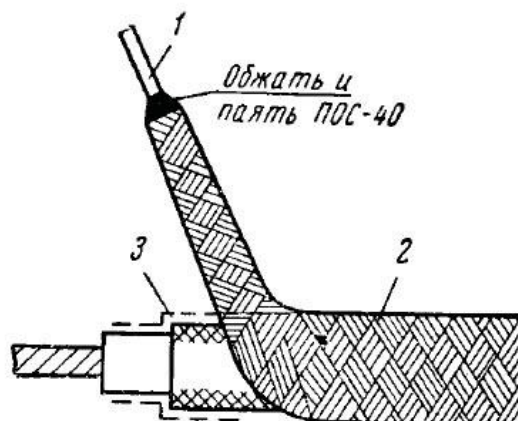


Рис. 3.5. Заделка заземляющего конца экранирующей оплетки:
1 – провод ММ; 2 – экранирующая оплетка; 3 – нитроклей

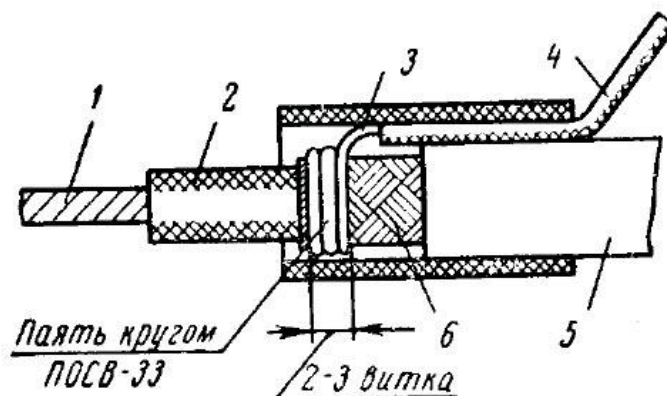


Рис. 3.6. Намотка дополнительного провода на экранирующую оплетку:
1 – жила; 2 – изолятор; 3 – полихлорвиниловая трубка; 4 – провод; 5 – полихлорвиниловая трубка (если необходимо изолировать экранирующую оплетку); 6 – экранирующая оплетка

Заделка конца экранирующей оплетки вместе с текстильной оплеткой нитками с последующим покрытием нитроклеем показана на рис. 3.7. Концы экранирующей и текстильной оплеток закрепляют нитками и нитроклеем.

При подготовке радиочастотных кабелей должна быть обеспечена целостность (отсутствие надрезов) токопроводящей жилы, внутренней изоляции и экранирующей оплетки. Окисную пленку на оголенной части токопроводящего слоя зачищают шабером или шлифшкуркой.

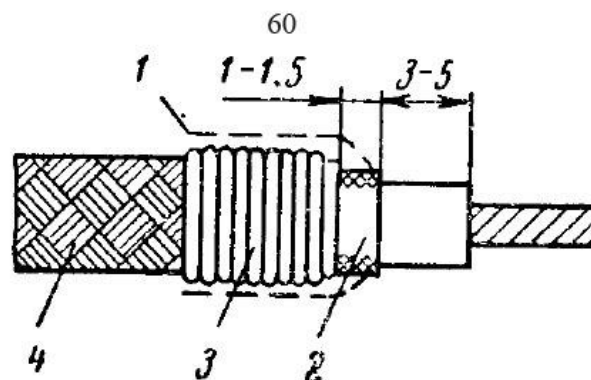


Рис. 3.7. Заделка конца экранирующей оплетки вместе с текстильной оплеткой: 1 – нитроклей; 2 – текстильная оплетка; 3 – хлопчатобумажная нитка; 4 – экранирующая оплетка

Изоляцию с радиочастотных кабелей удаляют ступенями по заданным размерам в зависимости от конструкции кабеля и типа соединителя. Разделка концов РК показана на рис. 3.8.

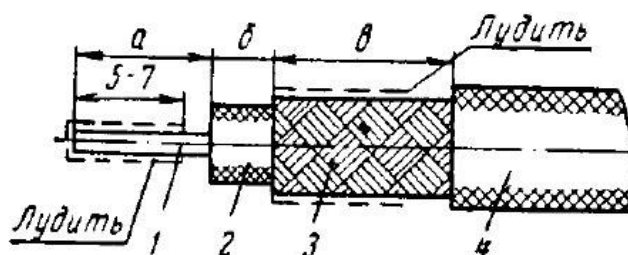


Рис. 3.8. Разделка концов радиочастотных кабелей:
1 – жила; 2 – изоляция; 3 – экранирующая оплетка;
4 – пластиковая изоляция (размеры a , b и $в$ определяют по таблицам)

После снятия изоляции с провода жилы, имеющие окисленную поверхность, должны быть зачищены.

Многопроволочные жилы после зачистки необходимо скрутить под углом $15-30^\circ$ к оси провода, чтобы при пайке отдельные провода не отставали от основной жилы. Жилы скручиваются плоскогубцами со шлифованными губками. Скручивание жил сечением $0,14 \text{ мм}^2$ и менее производится только пальцами рук или приспособлением, исключающим повреждение жил.

Присоединение проводов к контактным лепесткам осуществляется таким образом, чтобы длина оголенной части жилы монтажного провода от торца изоляции до места пайки была не более 2 мм и не менее 0,5 мм после пайки (рис. 3.9). Если расстояние между контактными лепестками меньше 5 мм, то длина оголенной части жилы не должна превышать 1,5 мм.

Монтажные провода на контактных лепестках с сечением 0,35 мм и менее следует крепить с выполнением полного оборота вокруг контактного лепестка, а провода сечением свыше 0,35 мм² – не менее $\frac{3}{4}$ оборота (рис. 3.9). Все закрепленные на лепестках концы монтажных проводов плотно обжимаются. При креплении проводов к монтажным лепесткам надо вести жилу в отверстие и загнуть ее по радиусу так, чтобы образовался крючок. На штырьковом лепестке каждый провод закрепляется самостоятельно.

Для облегчения пайки и обеспечения прочного и надежного электрического контакта защищенные жилы проводов перед пайкой необходимо подвергнуть лужению.

Закреплять и припаивать провода к лепесткам ламповых панелей следует при вставленных шаблонах или электрических негодных лампах. В противном случае установка ламп может оказаться затруднительной, контакты в панели будут ненадежными, а провода и пайки подвергаться недопустимым механическим воздействиям.

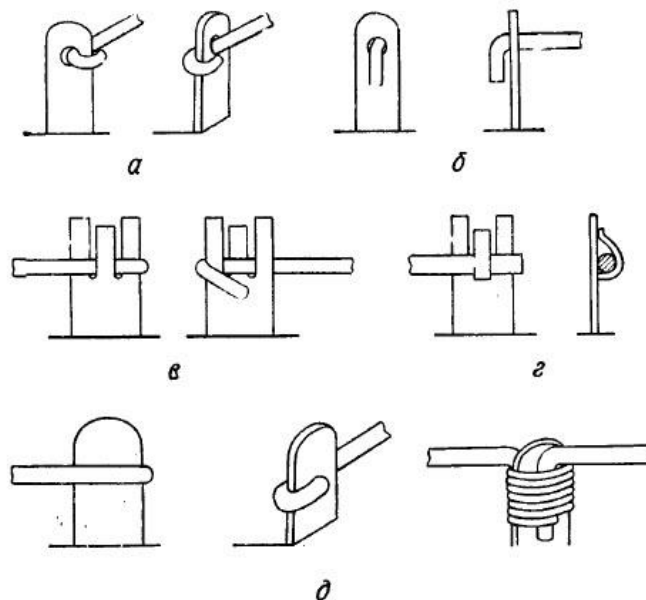


Рис. 3.9. Способы крепления проводов к лепесткам:

а – тонкий провод к лепестку с отверстием; б – толстый провод к лепестку с отверстием; в – тонкий провод к разъемному лепестку; г – толстый провод к разъемному лепестку; д – монтажный провод к глухому лепестку

Проходные (последовательные) переключатели можно выполнять из одного отрезка голого провода. Короткие переключки между соседними контактными лепестками могут выполняться продолжением подключаемой жилы провода.

Реле с негерметичным корпусом при монтаже необходимо держать наклоненными вниз лепестками. После проверки и отметки мест пайки лаком на все лепестки (или, если нет места, то через один лепесток) должны быть надеты изоляционные трубки, которые закрепляются клеем. При горизонтальном положении контактов во избежание затекания клея внутрь реле изоляционные трубки необходимо подбирать с таким диаметром, чтобы они плотно облегли контакт. При монтаже одиночных проводов сечением $0,2 \text{ мм}^2$ и выше трубки должны быть надеты на провода заранее. Изоляционные трубки надеваются на задействованные контакты реле или монтаж реле покрывается лаком в 3–5 слоев. Если расстояние между пайками контактов более 2 мм, а также если монтаж реле покрыт влагозащитным лаком, изоляционные трубки на контакты можно не надевать.

Концы проводов, подводимые к штыревым контактам реле, должны быть зачищены, залужены и в целях исключения повреждения контактов реле предварительно загнуты в форме кольца. При использовании проводов сечением $0,14 \text{ мм}^2$ и менее изоляционные трубки на контакты можно не надевать, при этом монтаж реле покрывается влагозащитным лаком. Если расстояние между оголенными токопроводящими поверхностями выводов менее 1 мм, для увеличения зазора между пайками концы проводов можно паять на разной высоте.

Пайку монтажных соединений штыревых разъемов выполняют в следующем порядке: вначале на припаиваемый провод надевают полихлорвиниловую трубку длиной 15–20 мм, внутренний диаметр которой равен диаметру контакта, после этого зачищенный конец жилы провода вставляют в отверстие и припаивают. После промывки и проверки качества пайки надвигают полихлорвиниловую трубку на контакт и место спая до упора в колодку.

При монтаже штепсельных разъемов не допускается применять провода с наружным диаметром по изоляции (вместе с надеваемой на провод электроизоляционной трубкой) больше, чем расстояние между контактами в разъеме. Запрещается производить монтаж штепсельных разъемов, имеющих «плавающие» контакты, жесткими проводами. При заделке в штепсельном разъеме экранированных проводов недопустимо, чтобы экранирующая оплетка этих проводов входила в изоляционные трубки, надеваемые на контакты штепсельных разъемов.

Заделка коаксиальных кабелей в обычные штепсельные разъемы с «плавающими» контактами не допускается. Как исключение, допускается заделка кабеля с креплением внутренней изоляции к обычным контактам с применением специальных наконечников или заливкой монтажа разъема, т. е. с дополнительным креплением.

При заделке коаксиального кабеля в высокочастотные разъемы необходимо, чтобы:

срез изоляции кабеля был ровным;

жилы кабеля сохраняли свою concentricность и не имели натяжения в месте спая с контактом разъема, а изоляция кабеля в месте пайки жилы и экрана к арматуре разъема не была нарушена;

кабель был жестко прикреплен к шасси прибора вблизи подхода к разъему, поджог изоляции не допускается;

внутренняя полость хвостовой части контакта и жилы кабеля были предварительно облужены припоем.

При пайке коаксиального кабеля с полиэтиленовой изоляцией необходимо применять легкоплавкий припой (ПОСК-50), под экранирующую оплетку проложить прокладку, предохраняющую от прожога изоляцию кабеля. Продолжительность пайки должна быть минимальной.

3.8. Требования к изготовлению жгутов. Правила и методы их изготовления

Два и более параллельно идущих в одной трассе изолированных (в том числе экранированных) провода длиной более 50 мм должны связываться в жгут, если это не вызывает недопустимого увеличения взаимных наводок. Необходимость вязки проводов в жгуты устанавливается технической документацией. Жгутовой монтаж отличается повышенной механической прочностью, уменьшает разброс собственной емкости схемы и снижает трудоемкость монтажных операций.

Образец жгута делают на стадии проектирования прибора. На полностью собранном и приготовленном для монтажа шасси согласно монтажной схеме и таблице монтажных соединений раскладывают провода. Концы проводов закрепляют на контактных лепестках и маркируют. Раскладку проводов ведут таким образом, чтобы готовый жгут не лежал на крепежных деталях (гайках, скобах и т. д.) и по возможности не затруднял доступ к ним; кроме того, изоляция проводов жгута не должна касаться контактных лепестков близко расположенных деталей.

Изоляцию проводов в местах прохода жгута через отверстия в шасси и экранах необходимо предохранять полихлорвиниловыми трубками, прокладками, а также специальными резиновыми втулками (пистонами) и изоляторами.

Вначале укладывают короткие провода, затем наиболее длинные с таким расчетом, чтобы последние образовывали лицевую сторону жгута. В середину укладывают экранированные провода, не заключенные в поливиниловые трубки. Если по ТУ в жгуте предусмотрены запасные провода, их укладывают сверху на наибольшую длину жгута.

Обязательно предусматривается запас провода по длине на закрепление (20–25 мм на оба конца) и такой же запас по длине на закрепление концов проводов в случае обрывов. Таким образом, кроме расстояния между точками подключения провода, по направлению его укладки дается еще 40–50 мм. До закрепления второго конца измеряют длину провода, а результаты заносят в таблицу монтажных соединений.

После раскладки жгута провода увязывают крепкой хлопчатобумажной ниткой при помощи изогнутой иглы; петли следует вязать с натяжением через

равные интервалы (не более 20 мм), а также в местах ответвления проводов (рис. 3. 10). Закрепляют начало и конец нитки.

Когда вязка жгута окончена, его вынимают из прибора и правят на ровной поверхности; ветви жгута расположенные в разных плоскостях, отгибают на 90° в плоскости основной части жгута.

Затем жгут укладывают на лист чертежной бумаги лицевой стороной и снимают эскиз.

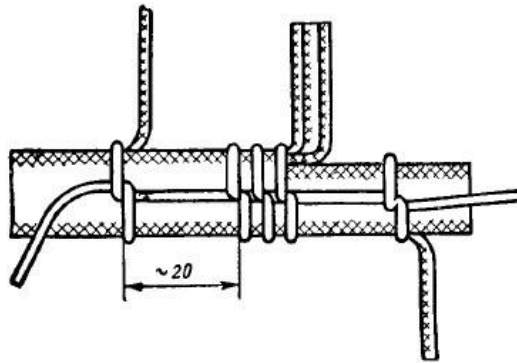


Рис. 3.10. Пример вязки жгута

Эскиз жгута применяют для изготовления опытного шаблона, который представляет собой лист фанеры с вычерченным на нем жгутом и вбитыми в нужных местах шпильками.

По шаблону вяжут опытный жгут, причем раскладку проводов на шаблоне начинают с запасных и длинных рабочих проводов и заканчивают короткими, т. е. применяют обратный порядок раскладки проводов и обратное изображение жгута. Это делают, чтобы придать жгуту более аккуратный вид: узлы, сделанные на жгуте, не будут заметны после его укладки в прибор.

Опытный жгут проверяют, укладывают его на шасси прибора, выявляют и исправляют допущенные неточности. Исправления вносят в эскиз жгута и таблицу монтажных соединений. Рабочий шаблон изготавливают по откорректированному эскизу жгута. При изготовлении шаблона следует предусмотреть, чтобы выход провода из жгута был против места подпайки.

Жгуты с использованием шаблонов изготавливаются следующим образом: монтажные провода, прошедшие зачистку, лужение и заделку концов, укладывают на шаблон согласно эскизу в таблице соединений, содержащим сведения о марке, сечениях, порядковых номерах и расцветке проводов. Укладку провода начинают с закрепления его на начальной шпильке. Затем провод прокладывают по схеме жгута, изгибая его на угловых шпильках и заканчивая закреплением на конечной шпильке. Начальная и конечная шпильки имеют один и тот же номер. Когда все провода уложены, их обвязывают льняными нитками. В тех случаях, когда к механической прочности и влагостойкости жгутов предъявляются повышенные требования, их обвязывают киперной лентой и пропитывают лаком. Чтобы в процессе обмотки жгут не перекручивался, его необхо-

димо обматывать, не снимая с шаблона. Связанный жгут снимают с шаблона и пробником (измерительным прибором) проверяют правильность укладки проводов.

Концы проводов в жгутах маркируют, используя изоляцию проводов различного цвета, метки из разноцветных нитрозмалей, наконечники из цветных или нумерованных полихлорвиниловых трубок, съемные бирки.

Глава 4

Проведение монтажно-демонтажных работ транспортного радиоэлектронного оборудования

4.1. Виды монтажа радиоэлектронного оборудования

Под видом монтажа понимают способ размещения на шасси радиоэлектронного оборудования, основных элементов (полупроводниковых приборов, электровакуумных приборов, интегральных схем, резисторов и т. д.)

При изготовлении радиоэлектронного оборудования применяется обычный и печатный монтаж с применением модулей, интегральных микросхем.

Различают три вида обычного монтажа: планочный; без монтажных планок; смешанный.

Планочный монтаж – электрорадиоэлементы закрепляются на монтажных платах, которые в радиоаппаратуре устанавливаются самостоятельно. Электрические связи между отдельными платами осуществляются с помощью кабелей, отдельных проводов, жгутов. Достоинство – большая механическая прочность. Такой монтаж называется еще навесным монтажом.

При монтаже без применения монтажных планок электрорадиоэлементы крепятся своими выводами к контактным лепесткам ламповых панелей, переходных плат и т. д. Этот вид монтажа применяется в радиоаппаратуре, работающей в диапазоне высоких частот. Достоинство – сведен к минимуму монтаж индуктивностей емкостей.

Смешанный вид монтажа является комбинацией первых двух видов.

В настоящее время при изготовлении радиоаппаратуры нашло широкое использование в ней микроминиатюризации, под которой понимается выполнение отдельных блоков и аппаратуры в целом из миниатюрных и микроминиатюрных радиоэлементов и устройств.

Элементной базой микроминиатюризации служат печатные схемы, модули, микромодули, интегральные микросхемы и их развитие – большие интегральные схемы. Модули и микромодули представляют направление в микроминиатюризации, называемое уплотненным монтажом, а интегральные микросхемы и большие интегральные схемы – другое направление: интегральную микроэлектронику.

В производстве радиоаппаратуры значительное место по объему работ занимают сборочные и монтажные работы, включающие установку и крепление деталей и узлов на шасси, а также их электрические соединения между собой.

Порядок установки деталей и узлов на шасси, в основном, определяется удобством выполнения работ.

В ряде случаев крепление деталей и узлов можно чередовать с укладкой отдельных монтажных проводов.

Обычно сборку начинают с установки на шасси ламповых панелей, разъемов, изоляционных втулок, колодок питания и т. д. Затем устанавливают такие узлы, как трансформаторы, крупногабаритные конденсаторы постоянной и переменной емкости, крупногабаритные резисторы и т. д.

Крепят детали и узлы на шасси при помощи разъемных и неразъемных соединений. Разъемные соединения, выполненные с помощью винтов, болтов, гаек и шпилек, применяются для тех деталей и узлов, которые в условиях эксплуатации могут быть заменены. Неразъемные соединения (клепаные, развальцованные и др.) используют для крепления остальных деталей и узлов. Иногда применяют крепление при помощи выступов (лапок), вставляемых в отверстия шасси и отгибаемых с противоположной стороны.

Чтобы предупредить саморазвинчивание гаек и винтов в аппаратуре, подвергающейся при эксплуатации тряске и вибрации, под гайки и винты подкладывают пружинные шайбы, шайбы типа "звездочка" или закрашивают резьбовые соединения эмалевыми красками.

В отдельных случаях по конструктивным соображениям прибегают к многоэтажному расположению деталей в аппаратуре. Учитывая требования осмотра и ремонта, детали монтируются на дополнительных панелях, получивших название субпанелей. Субпанели к шасси могут крепиться винтами, стержневыми стойками, которые крепятся к шасси винтами или сваркой. Субпанели из изоляционного материала обычно применяется для усиления изоляции деталей, находящихся под высоким напряжением относительно шасси.

В радиоаппаратуре широко применяются так называемые расшивочные панели, представляющие собой изоляционные платы с закрепленными на них в определенном порядке металлическими лентами. Лепестки необходимы для припаивания выводов радиодеталей и концов соединительных проводников.

При большом количестве мелких радиодеталей расшивочные панели значительно упрощают и упорядочивают их монтаж.

Электрический монтаж заключается в укладке проводов, жгутов и кабелей на шасси прибора, механическом закреплении жил проводов и выводов навесных радиодеталей, контактных лепестках и последующей пайке или сварке мест соединений.

Принят следующий порядок выполнения монтажа: монтаж расшивочных панелей, переключателей и других обособленных узлов (до их установки на шасси); монтаж перемычек из голого провода; монтаж одиночных проводов; установка на шасси предварительно смонтированных узлов и монтаж проводов

от этих узлов; укладка жгута на шасси и монтаж его проводов; монтаж навесных радиодеталей.

4.2. Требования к размещению, монтажу и пайке элементов радиоэлектронного оборудования

При конструировании требования направлены на обеспечение удобства установки радиоэлектронного оборудования, проведения ремонта и обслуживания при эксплуатации: рациональные габариты, объем, форма и масса; максимальное использование объема; удобство доступа при ремонте, регулировке и осмотре; уменьшение потерь в электрических цепях; сокращение межблочного монтажа; рациональный выбор укладки монтажа.

Монтаж необходимо выполнять в строгом соответствии с предъявляемыми техническими требованиями.

Детали и узлы, поступающие на монтаж, должны иметь облуженные монтажные лепестки и выводы. Луженая поверхность должна быть чистой, глянцевой, ровной, без потеков припоя.

Укладку проводов и жгутов проводят в строгом соответствии с монтажной схемой. Произвольное размещение проводов или отступления от монтажной схемы могут привести к значительным отклонениям значений выходных параметров радиоаппаратуры (чувствительность, полоса пропускания) от заданных. Нельзя укладывать провода с винтиловой изоляцией на острые металлические кромки. Длинные монтажные провода и жгуты закрепляют на шасси специальными скобами, чтобы избежать изменения расстояния между проводниками в условиях эксплуатации.

Крепление жгутов и кабелей рекомендуется производить на участках длиной более 150 мм. Нельзя применять провода с поврежденной или восстановленной изоляцией.

Выводы навесных элементов крепят в отверстиях печатной платы. В каждом отверстии размещают вывод только одного навесного элемента. Радиоэлементы и узлы с большим количеством выводов закрепляют на плате в зависимости от их конструктивных особенностей и механической прочности платы.

Тяжелые или специальные элементы устанавливаются с помощью держателей, обеспечивающих механическое крепление корпусов элементов и предотвращающих поломку выводов под воздействием механических нагрузок. Элементы, детали и узлы большого веса и больших габаритов (например, силовые трансформатора) размещаются вне платы, а соединения, осуществляются перемычками из монтажного провода или специальными гребенками, закрепляемых на плате способом пайки.

Переходные элементы (разъемы, переходные колодки и т. п.) от одной платы к другой устанавливаются так же, как и навесные радиоэлементы.

Крепление печатного узла в приборе во избежание обрыва печатных проводников не должно давать прогиба платы, но должно обеспечивать возмож-

ность легкой его замены. Во избежание замыкания печатного проводника на корпус прибора предусматривается изоляция печатной платы от шасси прибора. Для заземления печатной платы используют перемычки, лепестки и т. п., впаянные в монтажные отверстия платы и имеющие контакт с шасси прибора. Непосредственный контакт проводников печатной платы с шасси прибора не допускается.

Для повышения жесткости изделий на печатной плате, работающей в условиях значительных перегрузок, наиболее массивные элементы рекомендуется располагать ближе к местам крепления платы.

Навесные элементы на изделиях плоскостной (одноплатной) конструкции необходимо устанавливать параллельно поверхности платы со стороны, противоположной размещению печатных проводников; на платах с двусторонним расположением печатных проводников – со стороны, указанной в сборочном чертеже изделия.

Расстояние между корпусом элемента и краем печатной платы должно быть не менее 1 мм (если позволяет конструкция); между выводом элемента и краем платы – не менее 2 мм, если особо не оговорено в чертеже. Механическое крепление жил проводов и выводов навесных деталей на контактах и контактных лепестках выполняют, чтобы повысить прочность соединения.

Обычно к одному контактному лепестку подключают не более трех токопроводящих жил и лишь в исключительных случаях до пяти. При этом каждую из них в отдельности навивают на лепесток и обжимают.

Навесные элементы располагают друг от друга, а также от шасси и токопроводящих поверхностей не менее чем на 2 мм, надписи номиналов и маркировки на этих деталях должны быть хорошо видны и удобны для чтения. Для уменьшения расстояния между элементами или между элементом и шасси на корпуса элементов или на их выводы надевают изоляционные трубки. В этом случае элементы могут располагаться вплотную друг к другу или к шасси.

Изоляционные трубки надеваются на выводы элементов в следующих случаях: при пересечении выводов между собой и при возможности замыкания с соседними токопроводящими поверхностями; в зависимости от рабочего напряжения, подаваемого на выводы и другие токопроводящие поверхности, и от условий работы радиоаппаратуры.

При близком расположении элементов изоляционные трубки можно надевать через один элемент.

Длина монтажных выводов от места пайки до корпуса должна быть минимальной, но не менее указанной в ТУ. Если этого указания в ТУ нет, то расстояние от корпуса элемента до места пайки принимается не менее 5 мм.

Установка радиоэлементов на печатных платах должна обеспечивать их надежную работу в условиях механических и климатических воздействий, указанных в ТУ на данный вид аппаратуры. Навесные элементы следует устанавливать на плате таким образом, чтобы обеспечить возможность выполнения технологических процессов ручной или механизированной установки их, групповой пайки и исключить воздействие припоя на эти элементы.

Навесные элементы располагают на односторонних платах – с одной стороны независимо от их назначения и габарита; на двусторонних платах – с двух сторон; в межплатной конструкции – между платами в вертикальном положении.

Навесные элементы размещаются на печатной плате параллельно или перпендикулярно, исходя из условий теплоотвода и допустимой разности потенциалов между ними, но не менее 0,5 мм, если расстояние не оговорено в чертеже. Элементы с надетыми на них изоляционными трубками могут соприкасаться друг с другом.

В изделиях межплатной конструкции двухвыводные элементы располагаются вертикально между двумя печатными платами и крепятся пайкой выводов в монтажные отверстия плат.

Элементы, конструкция которых не позволяет производить вертикальную установку их между платами, следует устанавливать так же, как в изделиях одноплатной конструкции.

Монтаж навесных элементов с количеством выводов более двух производят так же, как в изделиях одноплатной конструкции.

Требования к монтажу и пайке элементов:

- монтаж должен выполняться в строгом соответствии с технической документацией;
- применяемые при монтаже проводники по своей марке, сечению и расцветке должны соответствовать перечню элементов данной радиоаппаратуры;
- укладка монтажных проводов должна производиться без нарушения токопроводящей жилы;
- пайка соединений должна обеспечивать строгую и устойчивую токопроводность;
- монтаж, находящийся непосредственно вблизи сильно нагреваемых элементов, должен выполняться проводами с тепловой изоляцией;
- пайка соединений должна выполняться только мягкими припоями и бескислотными флюсами;
- монтаж, предназначенный для работы в условиях повышенной влажности, должен покрываться влагозащитным лаком;
- монтаж должен быть компактным и выполнен с высокой технической культурой и качеством.

4.3. Подготовка радиоэлементов к монтажу

Радиоэлементы (конденсаторы, резисторы, полупроводниковые приборы) перед монтажом проходят подготовку, во время которой выпрямляют, подрезают, лудят и изгибают выводы.

Обычно длину выводов выбирают с таким расчетом, чтобы после их закрепления на контактных лепестках расстояние между местом крепления (пайки) и корпусом радиодетали было минимальный, но не менее 5–10 мм (если нет специальных указаний в ТУ).

Лужению выводов предшествует их зачистка. Окисную пленку и краску с выводов радиодеталей снимают шабером или шлифшкуркой; лудят выводы на длину 5 мм от корпуса.

При гибке выводов радиодеталей радиус изгиба должен соответствовать требованиям ТУ. В случае отсутствия указаний в ТУ радиус изгиба выводов (рис. 4.1) рекомендуется принимать: 0,5 – для выводов $\varnothing$ до 0,6 мм; 1 – для выводов $\varnothing$ свыше 0,6 мм; 1–2 – для выводов петлеобразного вида.

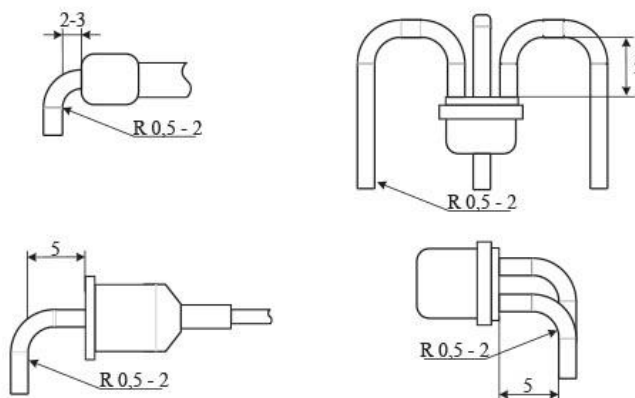


Рис. 4.1. Правила гибки выводов

Для гибки выводов разрешается применять инструмент, который может оставлять след без нарушения металлических покрытий. Не допускается механическое повреждение, изгиб выводов в местах спая и у изоляторов, скручивание относительно оси корпусов, растрескивание изоляторов и корпусов.

Гибку выводов выполняют при помощи круглогубцев, ограничителей или шаблонов. Расстояние между корпусом и местом гибки (рис. 4.1), если нет указаний в ТУ, рекомендуется принимать: не менее 2 мм – для выводов $\varnothing$ до 1 мм; не менее 3 мм – для выводов $\varnothing$ свыше 1 мм; не менее 2 мм – для плоских выводов; не менее 5 мм – для выводов полупроводниковых приборов и бесцокольных ламп.

4.4. Механический монтаж и пайка радиоэлементов на шасси

В радиоаппаратуре применяют различные пластмассовые и керамические ламповые панели, способ крепления которых на шасси определяется конструкцией. Так, например, ламповая панель Пл-1к или Пл-1л крепятся пружинным кольцом, которое имеет три волны. Закрепление ламповых панелей на шасси производят, разводя кольца и устанавливая их в выточку панели. Ламповые панели предохраняют от возможного проворачивания специальными выступами на шасси и входящими в панель.

В радиотехнике широко применяются экранированные ламповые панели: экраны нужны для предохранения лампы от воздействия внешних электрических полей, и, кроме того, они удерживают лампу, что способствует сохранению хорошего контакта между штырьками ламп и гнездами панелей.

В СВЧ-диапазоне применяются лампы серии "желудь", небольшого размера, имеющие незначительные емкости и индуктивности вводов. Панели для этих ламп должны быть расположены точно по чертежу, чтобы избежать увеличения паразитных параметров монтажных проводов.

Беспокольные лампы на шасси крепят при помощи хомутов-держателей или скоб-держателей.

Установка и крепление полупроводниковых диодов и транзисторов в радиоаппаратуре с объемным монтажом может проводиться обычным способом закрепления и распайкой их на расшивочных панелях либо путем дополнительного крепления корпуса элемента к шасси или плате при помощи хомутов, скоб, держателей, привязки, заливки компаундом или приклеивкой клеем.

Способы крепления конденсаторов к шасси весьма разнообразны и зависят от типа и конструкции конденсаторов. Так, например, малогабаритные конденсаторы крепят пайкой непосредственно на лепестках деталей или же на расшивочных панелях.

Более крупные конденсаторы крепят к шасси фланцами, ушками, скобами, резьбовыми шпильками, гайками, впрессованными в корпуса конденсаторов еще при их изготовлении. Однако в ряде конструкций конденсаторов отсутствует эти вспомогательные элементы крепежа. В таких случаях используют хомутики, скобы и прочие зажимные элементы.

Электролитические конденсаторы типа КЭ-2 крепятся к шасси гайкой (анодным выводом вниз), для чего в шасси имеется отверстие, диаметр которого должен быть равен диаметру резьбы на изоляционной втулке конденсатора. Если необходимо изолировать корпус электролитического конденсатора от шасси, применяют изоляционные шайбы, прокладки из электрокартона, лакоткани и т. п.

Керамические блокировочные конденсаторы крепятся во втулках, а втулки крепятся к шасси гайками, для чего в шасси имеется отверстие.

Полупеременные построечные конденсаторы крепят к шасси винтами. Конденсаторы переменной емкости должен крепиться на хороших амортизаторах из эластичной резины: это необходимо для устранения микрофонного эффекта, вызываемого вибрацией пластин конденсатора и заключающегося в искажении передаваемых и принимаемых сигналов.

Крепление резисторов к шасси зависит от их типа и конструкции. Малогабаритные непроволочные резисторы, такие как МЛТ, УЛМ, а также ВС, крепят пайкой на лепестках деталей или расшивочных панелях так же, как и малогабаритные конденсаторы, а резисторы больших размеров – с помощью скоб или хомутиков.

Чтобы устранить концентрацию давления в точках соприкосновения металла скобы с поверхностью резистора, устанавливают предохранительную прокладку из мягкого диэлектрика.

Непроволочные переменные резисторы закрепляют на шасси при помощи гаек, предусмотренных конструкцией резистора. Проволочные остеклованные резисторы с керамическими трубчатыми основаниями имеют несколько вариантов крепления к шасси: крепление на металлическом стержне, установленном на скобах при помощи гаек с шайбами (скобы, поддерживающие стержень, укрепляют на шасси винтами или болтами); крепление на скобах, не требующих дополнительных крепежных элементов (керамическое основание держится на отогнутых упругих выступях).

Часто резисторы устанавливают на шасси вертикально, что позволяет обойтись без скоб, применяя только резьбовую шпильку и гайки. Шпилька с гайкой нужны для притягивания основания оси. Профилированная крышка фиксирует керамическое основание в радиальном направлении, а шайба является центрирующей: шайба служит изолятором от шасси прибора. Широкое применение нашло крепление резистора винтом, который ввинчивается в гайку, гайка запрессована в шасси. Такая конструкция удобна для монтажа.

В отдельных случаях, когда резисторы находятся под высоким напряжением, их устанавливают на отдельных изоляторах или на изоляционных платах. Панель из диэлектрика приподнята над шасси посредством трубчатых втулок и винтов. Кольцевые выступы в шайбах из диэлектрика увеличивают путь возможного пробоя на шпильку. Выводы радиодеталей механически закрепляются на контактных лепестках так же, как и жилы проводов (рис. 4.2).

Нельзя паять незакрепленные концы проводов (встык, внахлестку). Только в виде исключения в процессе настройки разрешается подпайка выводов радиодеталей без механического закрепления. Такие детали на схемах помечаются звездочками. Окончив настройку, делают обязательную пайку с механическим закреплением.

При пайке монтажных соединений необходимо обеспечить такие условия, чтобы: паяная поверхность монтажных соединений была глянцевой, без пор, загрязнений, наплывов, острых выпуклостей припоя, инородных вкраплений; припой заливал место соединений со всех сторон, заполнял щели и зазоры между проводами и контактами.

При пайке монтажных соединений высоковольтных цепей следует обращать особое внимание на то, чтобы не было острых выступов припоя. Спай припоями кроме ПОС-61, ПОСу-0,5, может иметь матовую поверхность. Пайка должна быть по возможности "скелетной", чтобы под припоем был виден контур подпаянных проводов.

При пайке нагрев деталей не должен вызывать изменения параметров. Эти изменения могут достигнуть больших значений, например, при пайке непроволочных резисторов возможные отклонения от номинальных значений достигают 20 %.

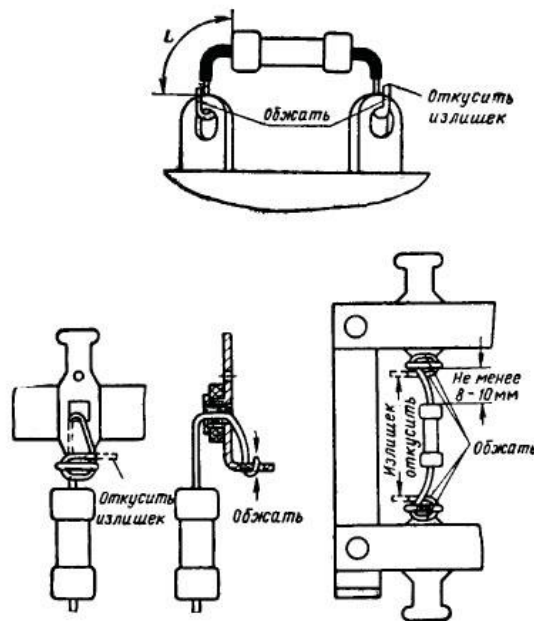


Рис. 4.2. Способы крепления выводов навесных элементов

Рекомендуется применять теплоотводы (пинцеты с медными губками), чтобы избежать перегрева при пайке в следующих случаях: при пайке выводов полупроводниковых приборов, когда расстояние от корпуса прибора до места пайки менее 10 мм; при пайке выводов радиодеталей, заключенных в полихлорвиниловые трубки; при пайке выводов резисторов и конденсаторов, если расстояние от корпуса детали до места пайки менее 8 мм.

Прикосновение паяльника к месту пайки должно быть кратковременное и не более 3–5 с.

4.5. Монтаж и пайка радиоэлементов на печатных платах

Установку элементов и изделий на печатных платах рекомендуется выполнять, начиная с меньших по размеру. Выводы элементов на плате необходимо устанавливать так, чтобы облуженная часть элемента выходила из монтажного отверстия и находилась на контактной площадке. При монтаже элементов с диаметром выводов до 0,3 мм выводы подгибают к контактной площадке под углом 45°. Откусывание выводов производится после их пайки. При установке элементов с диаметром выводов от 0,3 до 0,8 мм следует подгибать выводы элементов (рис. 4.3) по возможности вдоль печатного проводника, если нет другого указания ТУ. При этом элементы должны прилегать своими корпусами к плате таким образом, чтобы вывод, подпаянный к печатному проводнику, не отрывал его от платы при нажатии на корпус элемента. Плотное прилегание элемента к плате обеспечивается натяжением выводов перед их загибкой. Длина подогнутого в сторону и обрезанного участка вывода не должна превышать

0,6–2 мм. Разрешается элементы, выводы которых имеют диаметр от 0,3 мм и более, не подгибать к контактным площадкам, если последние не соединены с печатным проводником.

У элементов, устанавливаемых на платах, выводы диаметром до 0,8 мм следует подгибать и отрезать таким образом, чтобы подогнутые концы не выходили за пределы контактных площадок, а длина подогнутого конца с учетом толщины выводов была не менее 1 мм для плат с металлизированными отверстиями или пустотелыми заклепками и не менее 2 мм для плат с неметаллизированными отверстиями. Высота выступающих выводов над платой должна быть в пределах 0,5–2 мм (рис. 4.3).

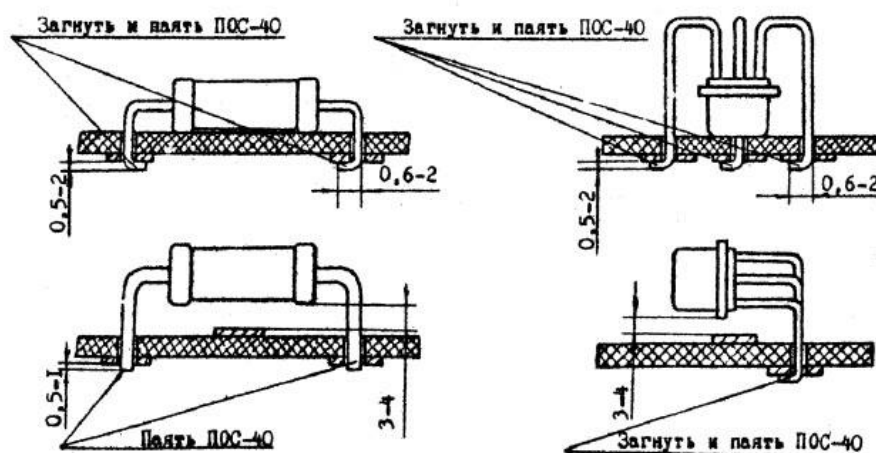


Рис. 4.3. Крепление навесных элементов на печатных платах

В случае малой ширины контактной площадки подогнутые концы выводов располагаются вдоль проводника, а при отсутствии проводников в направлении, противоположном ближайшему из соседних печатных проводников, не уменьшая расстояний между печатными проводниками, оговоренных в чертеже платы.

Выводы элементов диаметром свыше 0,8 мм и обжатые ленточные выводы не нужно подгибать. Не подгибаются выводы и при установке многовыводных элементов на платах с металлизированными отверстиями или пустотелыми заклепками. При этом высота неподогнутых концов выводов над платой должна быть в пределах 0,5–1 мм (рис. 4.3).

Элементы крепятся к печатной плате путем пайки выводов, вставленных в монтажные отверстия платы, к монтажным стойкам, лепесткам и т. п., в случае необходимости делается дополнительное крепление элемента к плате.

Паяются навесные элементы по мере их установки в монтажные отверстия кратковременным (2–3 с) прикосновением жала паяльника к контактной площадке и концу вывода с одновременной подачей припоя. Паяльник принимают после расплавления припоя и заполнения им отверстия и зазоров между про-

водником и контактной площадкой.

После пайки излишек вывода элемента обрезается бокорезами. При этом должен быть виден торец вывода элемента. Рекомендуется выводы элементов более 1 мм и лепестки колодок диаметром 0,8 мм и более, вначале обрезать на заданный размер, а затем спаять. При обрезании излишка вывода не допускается механическое нарушение паяного соединения.

4.6. Технический контроль радиомонтажных работ. Входной контроль радиоэлементов и узлов

Способы контроля радиомонтажных работ подразделяются на:

визуальный – внешний осмотр (лупа, микроскоп) качества паяк, отсутствие излома проводов, жил, состояние разъемных соединений;

геометрический – соответствие размеров в форм деталей и расстояний между ними эталонным образцам или монтажному чертежу;

механический – прочность креплений проводов перед пайкой, прочность после пайки (пинцетом, динамометром, на вибростенде);

электрический – соответствие электромонтажа картам сопротивлений, напряжений и требованиям технических условий;

технический – соответствие радиомонтажных работ технологической документации.

Технический контроль радиомонтажных работ по отношению к производственному процессу разделяют на следующие виды: входной контроль деталей и узлов радиоаппаратуры и электровакуумных приборов перед монтажом; пооперационный контроль в процессе монтажных работ; выходной контроль после монтажных работ.

Входной контроль является дополнительной проверкой поступающих на предприятие радиодеталей и узлов по параметрам, определяющим их работоспособность и надежность, перед выдачей в производство. Это вызвано, во-первых, тем, что комплектующие детали могут иметь пониженную надежность, обусловленную частичным нарушением технологического процесса и недостаточным контролем на выходе; во-вторых, возможным продолжительным хранением готовых изделий на складе и, следовательно, ухудшением качественных показателей. Кроме того, не исключена возможность повреждения радиодеталей и узлов в процессе транспортировки.

Входной контроль проводится согласно инструкции, утвержденной на предприятии, которая устанавливает его порядок.

Входному контролю подлежат все радиодетали и узлы, поступающие от поставщиков с сопроводительными документами. Они подвергаются как визуальной, так и электрической проверке.

При визуальной проверке обращается внимание на наличие на радиодеталях и узлах обозначений типа, номинала, допуска, технических условий или ГОСТа. Кроме того, проверяются изделия на отсутствие царапин, сколов, трещин, вмятин, коррозии в соответствии с требованиями ТУ.

При электрической проверке обращают внимание на соответствие электрических параметров радиодеталей и узлов данным, указанным в пунктах требований и методик технических условий или ГОСТов. Перечень деталей, подлежащих электрической проверке при входном контроле, определяется инструкцией.

Входной контроль электрорадиоэлементов может быть как 100%-ный, так и выборочный. Если при выборочной проверке окажутся бракованные изделия, проверке подлежит удвоенное количество изделий; в случае выявления при проверке удвоенного количества хотя бы одного бракованного изделия проверке подвергаются все изделия полученной партии.

Электрорадиоэлементы, прошедшие входной контроль, дополнительно маркируются: на изделие наносят треугольное или прямоугольное клеймо с цифрой внутри (на конденсаторы переменной емкости, электронные лампы, реле и автоматы, стрелочные приборы, трансформаторы и дроссели) и точки белого или малинового цвета (на полупроводниковые диоды и триоды, ферритовые сердечники, электролитические конденсаторы и построечные конденсаторы).

4.7. Пооперационный контроль монтажа и пайки элементов радиосхем

Технический контроль осуществляется по технологическим картам контроля, если их нет – по описанию контроля в технологических картах монтажа.

Контролируя изделие, нужно соблюдать осторожность, чтобы не нарушить электрическую и механическую прочность, внешний вид и чистоту монтажа.

Контроль монтажа выполняют несколько раз: после подготовки проводов, кабелей и выводов радиодеталей, заготовки жгутов, монтажа узлов и приборов в целом.

Проверку монтажа радиоаппаратуры выполняют по следующим показателям: качество заделки монтажных проводов, их маркировка, отсутствие надразов и надломов токопроводящих жил, повреждений и загрязнений изоляции; правильность раскладки проводов в жгутах, ответвления, качество вязки жгута; соответствие навесных деталей типу, номиналу, маркировке и форме изгиба выводов; отсутствие механических повреждений деталей и контактных лепестков, на которых выполнен монтаж, и нарушение их крепления; отсутствие соприкосновения неизолированных элементов монтажа между собой или корпусом (за исключением голых перемычек, подключенных к корпусному лепестку); отсутствие соприкосновений хлопчатобумажной изоляции проводов или ниток заделки их концов с неизолированными элементами монтажа; аккуратность укладки проводов и расположения навесных деталей; отсутствие ожогов изоляции, чистота монтажа (отсутствие брызг припоя, остатков флюса, обрезков жил монтажных проводов); качество монтажных соединений; правильность схемы монтажа; сопротивление изоляции монтажа; электропрочность монтажа.

Надежность пайки соединений проверяется путем внешнего осмотра с применением лупы с 2–10-кратным увеличением, специальной переносной лампы и зеркала.

Механическая прочность соединений при сечении медного провода от 0,10 до 0,15 мм² проверяется приложением усилия 0,2 кг, направленного вдоль оси припаянного провода, при сечении провода от 0,15 до 0,2 мм² – путем натягивания провода с усилием около 0,5 кг.

На губки пинцета или захватов необходимо надевать полихлорвиниловые трубки. При контроле качества электромонтажа не допускается перегиб проводов в зоне пайки.

При осмотре паек следят, чтобы изоляция проводов подходила вплотную к контакту. Особо следует проверять качество изоляции проводов в местах закрепления жгутов скобами, а также чтобы не было пропуска паек и фальшивых (ложных) паек. Дефектом пайки часто является так называемая фальшивая (ложная) пайка, когда соединяемые поверхности плохо залужены и припой не заполняет пространство между деталями и проводниками. Такое соединение обладает большим электрическим сопротивлением, вызывает появление шумов и тем нарушает работу схемы. Фальшивую пайку можно обнаружить, если немного расшатать проводник, так как механическая прочность ее мала. Пропуск паек опасен тем, что прибор с механически закрепленными проводниками проходит весь цикл регулировок и проверок. Незапаенный контакт и проводник покрываются окисной пленкой, в этом узле резко возрастает переходное сопротивление или совершенно обрывается цепь, что приводит к отказу аппаратуры.

4.8. Выходной контроль радиоаппаратуры

Выходной контроль является завершающей операцией технологического процесса и служит для окончательного определения годности продукции.

При проведении выходного контроля проверке подвергаются: монтаж по картам и таблицам сопротивлений; монтаж по картам и таблицам напряжений; сопротивление изоляции монтажа.

Выходной контроль бывает сплошным и выборочным.

При сплошном контроле проверке подвергается каждая единица партии, а при выборочном – часть продукции и по полученным результатам судят о годности всей предъявляемой партии.

Выбор метода выходного контроля определяется, главным образом, характером причин, приводящих к браку, тщательностью мер по профилактике брака и др.

Основные этапы простейшего выборочного контроля: извлечение выборки из партии; проверка изделий, входящих в выборку; принятие решения о качестве партии. После проведения выборочного контроля возможны три вида решений: принять партию, продолжить контроль (извлечь одну или еще несколько выборок), забраковать партию. Если партия изделий забракована, она может

быть подвергнута либо сплошной проверке, либо полностью изъята или возвращена исполнителю для разбраковки и исправления.

Важным обстоятельством при выборочном контроле является установление числа изделий, подлежащих контролю, а также правил, на основе которых принимается решение о годности партии. При принятом решении сопоставляют число обнаруженных в выборке или же в нескольких выборках изделий с некоторым предельным числом, установленным на основе предварительного расчета, которое называется браковочным числом C , т. е. партия считается годной, если в выборке обнаружено C или менее дефектных изделий. Когда количество дефектных изделий равно $C+1$ или более, партию бракуют.

Выходное качество отдельной партии оценивают либо числом Y дефектных изделий, либо долей дефектности q .

$$q = Y/N$$

где N – объем партии, шт.

Выходное качество совокупности принятых партий может быть охарактеризовано при помощи функции $f(N)$ распределения числа дефектных изделий в принятых партиях. Среднюю долю дефектности $\bar{q}$ в принятых партиях называют средним выходным качеством.

Наибольшую возможность при заданном контроле среднюю долю дефектности в принятой партии называют предельным средним выходным качеством.

Технический контроль осуществляют работники ОТК по технологическим картам контроля, если не имеется карт, то по описанию контроля в технологических картах монтажа.

4.9. Особенности монтажа радиоэлектронного оборудования различных диапазонов волн

Монтаж радиоустройств различных диапазонов имеет свои особенности.

Высокочастотные устройства. К устройствам высокочастотного диапазона ($f = 50 \text{ кГц} \div 50 \text{ МГц}$) относятся: резонансные усилители, автогенераторы, импульсные схемы, широкополосные усилители. В этом диапазоне частот существенное значение играют паразитные параметры и связи между деталями и цепями. На частотах более 10 МГц кроме паразитной емкости монтажа сказывается еще индуктивное сопротивление монтажных проводов. Поэтому при монтаже необходимо определить те монтажные провода и цепи высокой частоты, связь между которыми особенно недопустима.

К таким цепям относятся преимущественно базовые (затворные, сеточные) и катодные (стоковые, анодные) цепи. Паразитные связи между этими цепями тем сильнее, чем выше рабочая частота и длиннее монтажные проводники, через которые осуществляется связь, и чем больше коэффициент усиления и количество каскадов устройства. Поэтому при монтаже эти цепи необходимо максимально разнести, а монтажные проводники их сделать короче и располо-

жить на максимальных расстояниях от шасси, стенок и кожухов. Если эти требования невозможно выполнить, то монтажные проводники цепей высокой частоты, длина которых более 40 - 50 мм, заменяют отрезками коаксиальных кабелей.

Паразитные связи в высокочастотных устройствах можно устранить также с помощью экранирования деталей, вокруг которых создаются интенсивные электрические, магнитные или электромагнитные поля.

Монтажные провода, не находящиеся под напряжением высокой частоты, не следует делать очень короткими, так как при этом получается сжатый монтаж, который характеризуется большими паразитными связями. Монтажные провода цепей питания постоянным и переменным током

низкого напряжения, свитые попарно (цепи накала), а также экранированные провода низкой частоты следует объединять и укладывать в жгуты. Гасящие резисторы в цепях экранирующих сеток, резисторы цепей развязки следует монтировать на некотором расстоянии от ламповой панели. Шунтирующие конденсаторы экранирующих сеток, резисторы анодных нагрузок и сеточные резисторы необходимо крепить одним выводом непосредственно к соответствующим лепесткам ламповых панелей, конденсаторы цепей развязки – выводом к выводу резистора анодной нагрузки.

Детали цепей развязки между каскадами по цепям накала и переходных цепей необходимо крепить своими выводами к соответствующим контактным лепесткам ламповых панелей. При этом максимально короткими получаются монтажные провода указанных цепей, а их индуктивное сопротивление имеет минимальное значение.

Для уменьшения паразитных параметров не следует выбирать детали с большим запасом по мощности, напряжению и номинальному значению.

Широкополосные усилители высокой и промежуточной частоты (десятки мегагерц), вследствие возникновения поверхностных токов в шасси могут возбуждаться или может искажаться их частотная характеристика.

В усилителях, работающих на частотах, измеряемых килогерцами и единицами мегагерц, паразитными связями через шасси практически можно пренебречь. Для монтажа высокочастотных схем чаще всего применяется беспланный монтаж.

Низкочастотные устройства. В устройствах, работающих в диапазоне низких частот ($f < 20$ кГц), паразитные связи между деталями и цепями проявляются меньше.

При монтаже низкочастотных устройств больше внимания можно уделять удобству монтажа и размещению деталей. Но при монтаже многокаскадных усилителей низкой частоты с большим усилением необходимо обращать особое внимание на разнесение входных и выходных цепей.

В этом диапазоне частот шире применяют монтаж навесных деталей на распивочных платах и вязку монтажных проводов в жгуты.

Устройства сверхвысоких частот. Монтаж радиоаппаратуры СВЧ ($f = 3000 \div 30000$ МГц) существенно отличается от монтажа радиоаппаратуры

более низких частот. В радиоаппаратуре СВЧ детали и узлы представляют собой устройства с распределенными параметрами, вследствие чего они конструктивно отличаются от соответствующих деталей и узлов: высоких частот, например, в качестве колебательных систем применяют не обычные колебательные контуры, а объемные резонаторы; генераторы представляют собой конструктивно совмещенную систему, состоящую из электронной лампы и колебательной системы (магнетрон, клистрон), а энергию СВЧ передают по коаксиальным линиям и волноводам.

Так как основные детали и узлы на СВЧ представляют собой механические конструкции, обычные радиомонтажные работы заменяются сборочными работами, монтажные схемы – сборочными чертежами.

К монтажу антенн и устройств сверхвысоких частот транспортного радиоэлектронного оборудования предъявляются следующие требования:

1. Монтаж необходимо выполнять в строгом соответствии с монтажными схемами, сборочными чертежами и технологическими инструкциями.
2. Нельзя нарушать экранировку отдельных узлов и блоков.
3. Монтаж должен быть жестким и механически прочным. Особое внимание следует уделять механическому креплению монтажных проводов и припайке их к контактным лепесткам.
4. Электрические разъемы и контакты высокочастотных кабелей, сочленения волноводов, заземления экранирующих оболочек должны быть надежными. Монтаж волноводной системы необходимо выполнять так, чтобы исключить искривления и перекосы при сочленении отдельных звеньев. Не должно быть зазоров между фланцами, сами фланцы должны быть надежно скреплены.
5. В высоковольтных цепях, работающих при напряжениях нескольких десятков киловольт, должна быть обеспечена высокая электрическая прочность изоляции. Провода необходимо укладывать так, чтобы не было пробоя как между отдельными проводами, так и между проводами и другими элементами устройства.

В большинстве случаев устройства СВЧ конструктивно выполняют в виде отдельных блоков, в которых любой элемент представляет законченную конструкцию и может быть быстро заменен новым. Это очень важно,

так как отдельные узлы и детали устройства СВЧ трудно поддаются ремонту и регулировке в условиях эксплуатации. Монтаж СВЧ аппаратуры требует от монтажника специфических навыков.

Основы технологии электрического монтажа радиоаппаратуры

Технологический процесс электрического монтажа можно разделить на два этапа: 1) подготовительные работы, состоящие из проверки радиодеталей, подготовки их выводов, подбора и обработки монтажных проводов; 2) выполнение электрического монтажа (собственно электрический монтаж).

Отобранные и проверенные детали и монтажные провода обрабатывают для подготовки их к пайке. Эта обработка заключается в зачистке, лужении и заделке концов монтажных проводов, выпрямлении и облуживании выводов деталей.