

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)»

К.П. Пчелинцев, Д.А. Соловьев, Е.В. Куимов

Учебно-технологический практикум

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМОНТАЖА

Часть 1

Учебно-методическое пособие

Москва
Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана
2026

УДК 621.3.061+621.316.312

ББК 34.96

*Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Технологии приборостроения»*

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебно-методического пособия*

Авторы:

К.П. Пчелинцев, Д.А. Соловьев, Е.В. Куимов

Рецензент:

д-р техн. наук, проф., В.С. Кондратенко

Основы электромонтажа. Часть 1: учебно-методическое пособие / [К.П. Пчелинцев и др.]. – Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026. – 65 с.: ил.

Первая часть учебно-методического пособия по дисциплине «Учебно-технологический практикум» для студентов первого курса МГТУ им. Н.Э. Баумана знакомит обучающихся с теоретическими основами технологических процессов электромонтажа. Полученные знания закрепляются в ходе выполнения лабораторных работ, описанных в данном издании.

УДК 621.3.061+621.316.312

ББК 34.96

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ студентами первых курсов по дисциплине «Учебно-технологический практикум».

В издании последовательно излагаются физико-химические основы пайки и лужения, классификация и свойства припоев и флюсов, техники подготовки и формовки выводов, различные способы монтажа компонентов. Рассматриваются критерии внешнего контроля качества паяного соединения, типовые дефекты и методы их предупреждения. Студенты изучают оборудование, процессы подготовки поверхностей к пайке. В ходе выполнения лабораторных работ студенты приобретают практические навыки базовых электромонтажных работ, а именно: пайки и лужения, монтажа элементов на платы, а также базовые навыки работы с измерительным оборудованием.

Учебно-методическое пособие состоит из двух лабораторных работ («Основы пайки», «Сквозной монтаж электрорадиоэлементов на печатной плате»). Каждая из лабораторных работ содержит в себе теоретические материалы, основные определения и термины, используемые материалы и оборудование. В краткой, но исчерпывающей форме описана последовательность действий для выполнения практических работ, включая методические рекомендации и критерии оценки качества выполнения работы. Представлены требования к структуре, содержанию и оформлению отчетов по лабораторным работам. Контрольные вопросы, приведенные в конце каждой лабораторной работы, помогают подготовиться к её защите.

Кроме того, пособие содержит справочные приложения, необходимые для выполнения лабораторных работ и оформления отчетов. В Приложении 1 приведена буквенно-цифровая маркировка резисторов, используемая для определения их основных параметров. В Приложении 2

представлена маркировка резисторов цветными полосами, позволяющая определять номинальное сопротивление, допуск и другие характеристики элементов. В Приложении 3 приведены нормативные документы, регламентирующие требования к выполнению электромонтажных работ и качеству паяных соединений.

Цель настоящего учебного пособия — сформировать у обучающихся понимание физических основ технологических процессов, процессов, ограничений, накладываемых при их реализации, практических навыков выполнения технологических операций, а также критериев оценки качества получаемого результата, что является фундаментом профессиональной деятельности в области производства и обслуживания электронной аппаратуры.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие электронной аппаратуры можно представить как последовательность качественных переходов, на каждом из которых изменения в технологии изготовления отдельных элементов влекли за собой принципиальные сдвиги в методах сборки и монтажа устройств в целом.

Первый этап характеризовался применением дискретных компонентов: резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, электровакуумных, а позднее — полупроводниковых компонентов. Каждый элемент представлял собой конструктивно завершённую деталь, закрепляемую при помощи опорных приспособлений, а электрические соединения выполнялись отдельными проводниками методом пайки. Впоследствии такой подход получил название навесного монтажа.

Следующим шагом стало появление технологий производства печатных и монтажных плат, позволивших существенно сократить габариты устройств и повысить их надёжность за счёт использования как навесных, так и поверхностных компонентов, а также замены объёмного навесного монтажа проводящим рисунком на диэлектрическом основании.

Третий этап развития электронной аппаратуры связан с созданием интегральных микросхем, открывших перед радиоэлектроникой качественно новые возможности. Технология их изготовления эволюционировала по пути наращивания сложности и степени интеграции, в результате чего последовательно появились большие и сверхбольшие интегральные схемы. Дальнейшее развитие этого направления привело к формированию схмотехники на базе нанотехнологий, что обеспечило резкое увеличение функциональной насыщенности и многоэлементности устройств.

Принципиально важно, что каждый последующий технологический уклад не отменял и не вытеснял предшествующий, а дополнял и обогащал его, обеспечивая качественно новый уровень разработки, производства и эксплуатации аппаратуры. Именно поэтому наряду с интегральными микросхемами в современных разработках по-прежнему находят применение транзисторы, мощные полупроводниковые приборы и электронные лампы. Выбор элементной базы и соответствующей ей технологии сборки и монтажа компонентов при решении конкретной инженерной задачи осуществляется на основе комплекса критериев, среди которых — уровень передаваемой мощности, рабочий диапазон частот, требуемое быстродействие, надёжность, условия эксплуатации и другие.

Независимо от избранного поколения элементной базы, надёжность любого электронного устройства в решающей степени определяется качеством электрических соединений. Среди всех известных способов их получения пайка сохраняет позиции доминирующей технологии, поскольку именно она сочетает высокую электропроводность и достаточную для большинства задач механическую прочность.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПАЯЛЬНЫХ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ

Работы по электромонтажу связаны с использованием оборудования и реагентов, потенциально представляющих опасность для здоровья. Поэтому перед началом выполнения лабораторной работы необходимо ознакомиться и в дальнейшем следовать следующим правилам:

- 1) Во время работы необходимо соблюдать правила пожарной безопасности и требования электробезопасности.
- 2) Запрещается приступать к работе при плохом самочувствии.
- 3) Проводить работы с паяльным оборудованием следует при включённой вытяжке и дымоуловителе.
- 4) Запрещается приступать к работе на неисправном оборудовании. Перед началом работ необходимо проверить исправность рабочего инструмента и приспособлений: кусачки, плоскогубцы, пинцеты – ручки не должны быть повреждены, шнур паяльника должен быть без повреждений и надёжно закреплён в рукоятке, шнур питания паяльной станции должен быть исправен.
- 5) Запрещается оставлять включённый паяльник без присмотра. Во время пауз в работе паяльник необходимо разместить в подставке, в случае перерыва более 10 минут – паяльную станцию следует выключить.
- 6) При выполнении практической части лабораторных работ следует надеть средство индивидуальной защиты. Также рекомендуется длинные волосы прибрать с помощью специализированных средств или предметов одежды.
- 7) Не прикасаться к нагреваемым частям паяльника, не размахивать паяльником, не подносить его близко к лицу.
- 8) В процессе работы с паяльником удерживать деталь или компоненты пинцетом для предотвращения получения ожогов.

- 9) Избегать попадания капель расплавленного припоя и флюса на открытые участки тела, одежду, провода и легковоспламеняющиеся материалы.
- 10) При электромонтаже компонентов соблюдать полярность и температурный режим.
- 11) Не применять легковоспламеняющиеся жидкости для очистки платы или инструмента вблизи включённого паяльника.
- 12) В рамках выполнения практической части лабораторных работ все действия с паяльником следует проводить на термостойком силиконовом коврикe.
- 13) Не отвлекаться от работы и внимательно слушать преподавателя!
- 14) В случае аварийной ситуации по возможности немедленно отключить паяльник от сети и следовать дальнейшим указаниям преподавателя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ОСНОВЫ ПАЙКИ

Цель работы – получение теоретических знаний и практических навыков выполнения базовых технологических операций процесса пайки и лужения.

Теоретическая часть

В приборостроении и смежных отраслях техники широко применяются неразъемные соединения, так как данный тип соединения обеспечивает механическую прочность, надежность и долговечность соединения. К основным видам неразъемных соединений относятся сварные, клеевые, клепаные и паяные соединения. Паяные соединения получили наибольшее распространение в приборостроении. Согласно нормативно-технической документации:

Пайка — образование неразъемного соединения с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, их смачивания припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации.

Таким образом, процесс пайки включает нагрев припоя до температуры его плавления, расплавление, смачивание расплавом припоя соединяемых поверхностей, затекание припоя в зазоры и последующую его кристаллизацию, в результате формируется прочное неразъемное соединение посредством припоя.

Припой — материал для пайки и лужения с температурой плавления ниже температуры плавления паяемых материалов.

Ключевое отличие пайки от сварки заключается в том, что соединение происходит при температурах значительно ниже температуры плавления соединяемых деталей, которые при этом остаются в твёрдом состоянии. Соединение образуется за счёт адгезионного и диффузионного взаимодействия припоя с их поверхностями. От клеевого соединения пайка отличается тем, что паяное соединение обладает свойством электропроводности, так как в процессе пайки происходит образование межатомных связей между припоем и соединяемыми материалами.

В общем случае по температуре плавления различают два вида припоев:

Тугоплавкие припои — температура плавления выше 300 °С. Они содержат значительные доли меди, цинка и серебра. В радиоэлектронике используются редко, главным образом для пайки массивных шин заземления, волноводов и высокотемпературных датчиков.

Легкоплавкие припои — температура плавления ниже 300 °С. Благодаря этому они применяются в подавляющем большинстве операций по монтажу электронных компонентов, так как позволяют паять без риска термического разрушения электрорадиоэлементов. В свою очередь данная группа разделяется на оловянно-свинцовые и бессвинцовые припои.

Оловянно-свинцовые припои. Наиболее известный сплав этой группы — ПОС-61 (61 % олова, остальное — свинец, температура плавления 183 °С). Данный припой отличается очень коротким интервалом кристаллизации, благодаря которому формируется блестящее и механически прочное паяное соединение. Однако из-за токсичности свинца работа с такими припоями требует специально оборудованного рабочего места, оснащённого вентиляционной установкой.

Бессвинцовые припои. Наиболее распространены сплавы олова с медью (температура плавления порядка 227 °С) и олова с серебром и медью (температура плавления порядка 217–220 °С). Современные бессвинцовые припои обладают меньшей текучестью и соответственно

смачивающей способностью по сравнению с оловянно-свинцовыми, и характеристики паяного соединения при их использовании зачастую уступают аналогичным показателям свинцовосодержащих припоев.

Пайка возможна лишь при условии, что припой смачивает соединяемые поверхности.

Смачивание — физико-химическое взаимодействие расплавленного припоя с паемым материалом, проявляющееся в растекании припоя по поверхности обрабатываемой детали.

Смачивание происходит, если силы притяжения между атомами припоя и металла больше, чем между атомами внутри самого припоя. Если капля припоя не смачивает поверхность, то она принимает близкую к сферической форму (рис. 1).

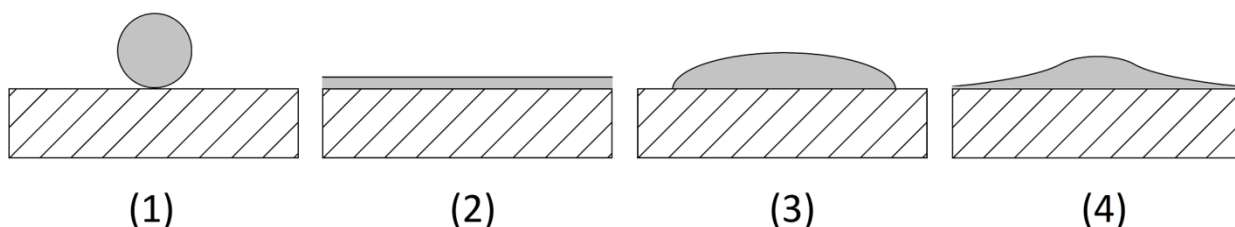


Рис. 1. Смачиваемость поверхности металла припоем: 1 - отсутствие смачиваемости; 2 - полное смачивание; 3 - частичное смачивание; 4 - хорошее смачивание

Стоит отметить, что достичь качественного растекания припоя по неподготовленной поверхности детали практически невозможно, так как этому препятствуют оксидные пленки и загрязнения на поверхности.

Подготовка поверхностей деталей, подлежащих пайке, заключается в удалении загрязнений, оксидных и жировых пленок, а также изоляционных материалов. Подготовка поверхности можно выполнять механическим или химическим способом. Химический способ очистки не

повреждает поверхность детали, а при механическом происходит удаление части материала с поверхности обрабатываемой детали. В результате удаления материала образуются неровности, которые оказывают существенное влияние на смачиваемость и растекаемость припоя. Если на поверхности образуется сеть пересекающихся канавок, то смачиваемость и растекаемость припоя будут усиливаться капиллярным действием канавок. Поверхность с образованием пересекающихся канавок получают при механической обработке наждачной бумагой (шлифовальной шкуркой).

Следующим после очистки этапом подготовки поверхности перед пайкой является лужение деталей.

Лужение — образование на поверхности материала металлического слоя путем плавления припоя, смачивания припоем поверхности и последующей его кристаллизации.

Горячее лужение выполняют паяльником, паяльной станцией, или путем погружения в ванну с расплавленным припоем. При лужении припой покрывает основной металл, поэтому при пайке луженых поверхностей соединение происходит при более низкой температуре.

Лужение является обязательным подготовительным этапом, предшествующим непосредственно пайке. Оно решает главную задачу: создает на поверхности детали промежуточный слой, который обладает отличной адгезией к основному металлу и при этом идеально смачивается припоем при последующем соединении. Если деталь плохо залужена или не залужена вовсе, припой соберется в шарик и/или скатится с нее, не образовав механически прочного и электропроводящего контакта.

Стоит учитывать, что при нагреве металла скорость его окисления при взаимодействии с кислородом многократно возрастает. Даже если поверхность была идеально зачищена механически, через несколько секунд она начнёт покрываться тонкой, но прочной пленкой оксида, и этот

процесс значительно ускоряется при нагревании. Для очистки поверхностей металлов от оксидных пленок используют флюсы.

Флюс — вспомогательный материал, применяемый для удаления окислов с поверхности паяемого материала и припоя, и предотвращения их образования.

Важно усвоить как аксиому следующее правило: невозможно гарантировать высокое качество паяного соединения при выполнении пайки без использования или при неправильно подобранном флюсе.

Процесс лужения с использованием флюса (рис. 2) заключается в том, что оксидные пленки металла и припоя под действием флюса и температуры растворяются, разрыхляются и всплывают на его поверхность. Вокруг очищенного металла образуется защитный слой флюса, препятствующий возникновению оксидных пленок. Жидкий припой замещает флюс, вытесняя его на поверхность, и напрямую взаимодействует с основным металлом. Слой припоя постепенно увеличивается и при прекращении нагрева затвердевает, образуя соединение с металлической поверхностью. Следует контролировать объем наносимого флюса – чрезмерный объем приведет к образованию нагара на поверхности облуженной детали.

Нагар — продукт термического разложения флюса (канифоли, активаторов) после пайки, представляющий собой трудноудаляемый белый налет или коричневые пятна

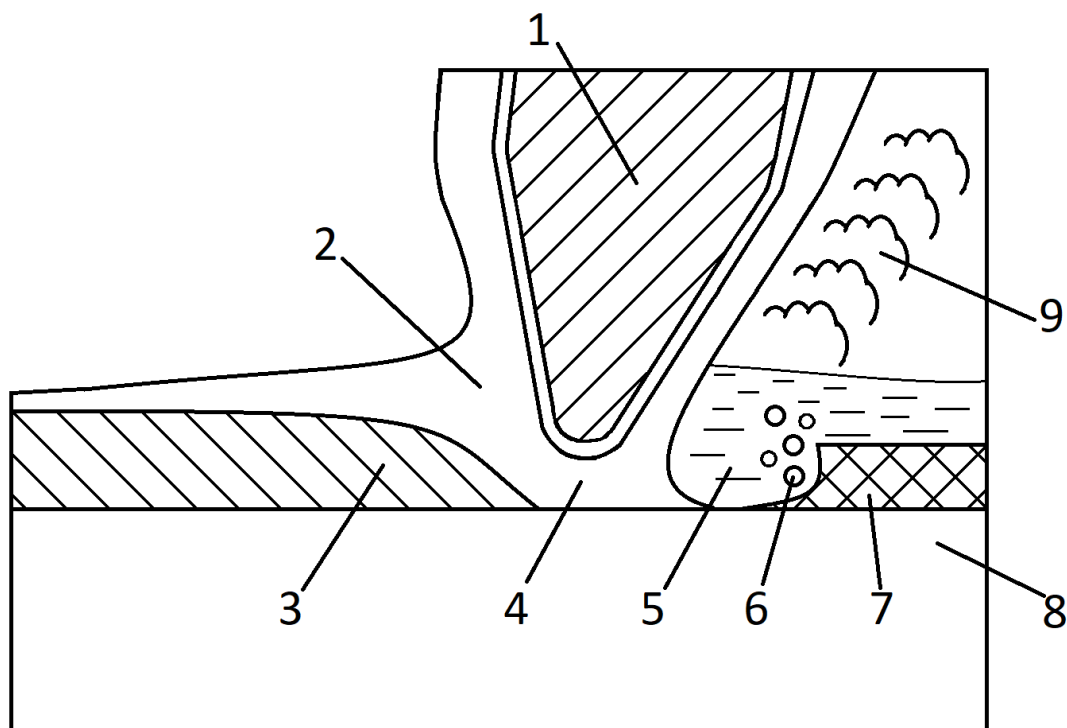


Рис. 2. Схема зоны лужения с помощью жала паяльника; 1 - жало паяльника; 2 - припой; 3 - сплав припоя с основным металлом; 4 - зона взаимодействия припоя с основным металлом; 5 - флюс; 6 - растворенный окисел; 7 - окисел на поверхности основного металла; 8 - основной металл; 9 - газообразный флюс

В настоящее время используется следующая классификация флюсов по химической активности (от нейтральных канифольных до агрессивных кислотных):

Канифольные флюсы. Их основу составляет натуральная или модифицированная канифоль, вещество смолистого вида, получаемое из живицы сосны. Флюсы данного типа обладают слабой химической активностью, для работы требуют высоких температур пайки. В процессе остывания канифоль полимеризуется и превращается в твёрдый диэлектрик, который не проводит ток и не вызывает коррозии меди. Остатки флюса можно не смывать, хотя в промышленности и для ответственных узлов рекомендуется очистка спиртом или специальным растворителем.

Безотмывочные флюсы. Синтетические смолы с точно дозированным количеством слабых органических активаторов. Активность проявляется только в узком диапазоне температур пайки. После остывания образуют прозрачную, твёрдую и химически нейтральную плёнку, которая не требует удаления. Являются промышленным стандартом для автоматизированного монтажа, а также удобны для ответственной ручной пайки, где отмывка затруднена.

Активированные и кислотные флюсы. Канифольная основа (или синтетические смолы) с добавлением сильных активаторов — органических кислот, аминов или галогенидов. Остатки такого флюса после пайки остаются химически активными и гигроскопичными. Они притягивают влагу из воздуха, образуя электролит, который запускает процесс электрохимической коррозии медных проводящих дорожек и выводов электрорадиоэлементов. Применение таких флюсов в электронике требует обязательной и тщательной отмывки платы в ультразвуковой ванне или специальными растворителями сразу после монтажа.

Разогрев зоны соединения до температуры плавления припоя при пайке и лужении осуществляется паяльником.

Паяльник — прибор, используемый для нагрева паяльного стержня (жала) в течение всего времени подключения электропаяльника в электросеть.

В простейшем случае (рис. 3) паяльник состоит из нагревательного элемента, металлического жала и рукоятки.

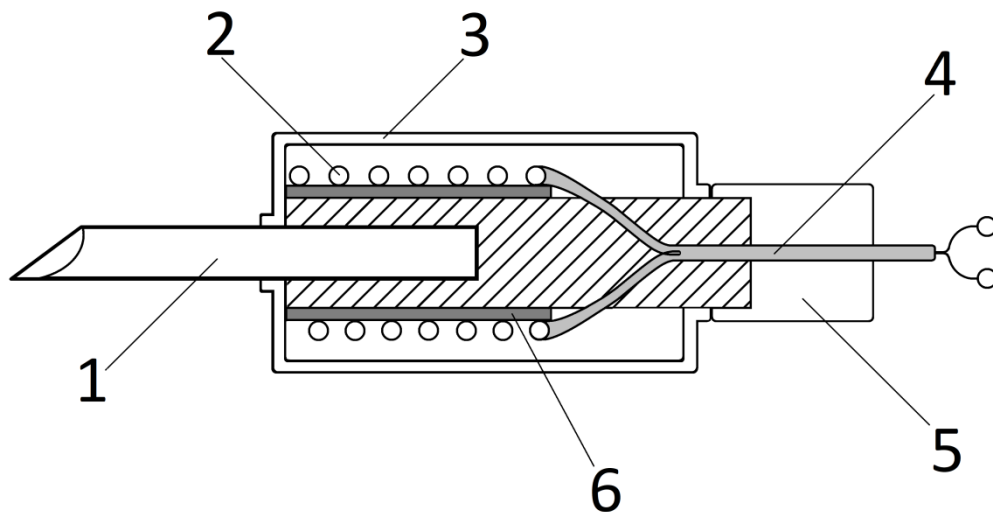


Рис. 3. Схема паяльника: 1 - медный стержень (жало паяльника); 2 - нагреватель из нихромовой проволоки; 3 - кожух; 4 - выводы; 5 - корпус; 6 - слюдяная или асбестовая изоляция;

Главный недостаток описанного паяльника — отсутствие контроля температуры. При проведении пайки важно выдерживать необходимую температуру. Пониженная температура приводит к плохой текучести припоя и плохому смачиванию соединяемых поверхностей (дефект холодной пайки). Значительное превышение температуры вызывает обугливание флюса до активации им химической реакции. Оптимальная температура пайки T_n зависит от температуры плавления припоя $T_{пл}$:

$$T_n = T_{пл} + (40...80) ^\circ\text{C}.$$

В зависимости от теплоемкости соединения выбирают мощность паяльной станции. При правильно подобранной мощности значение отклонения рабочей температуры жала от температуры пайки, должно лежать в интервале от 20 до 40 $^\circ\text{C}$:

$$T_c = T_n + (20...40) ^\circ\text{C}.$$

Логическим развитием электропаяльника с постоянным нагревом стала паяльная станция (рис. 4). В отличие от паяльника, паяльная станция представляет собой комплекс, состоящий из блока управления

(контроллера) и непосредственно паяльника, оснащенного термодатчиком в области жала.

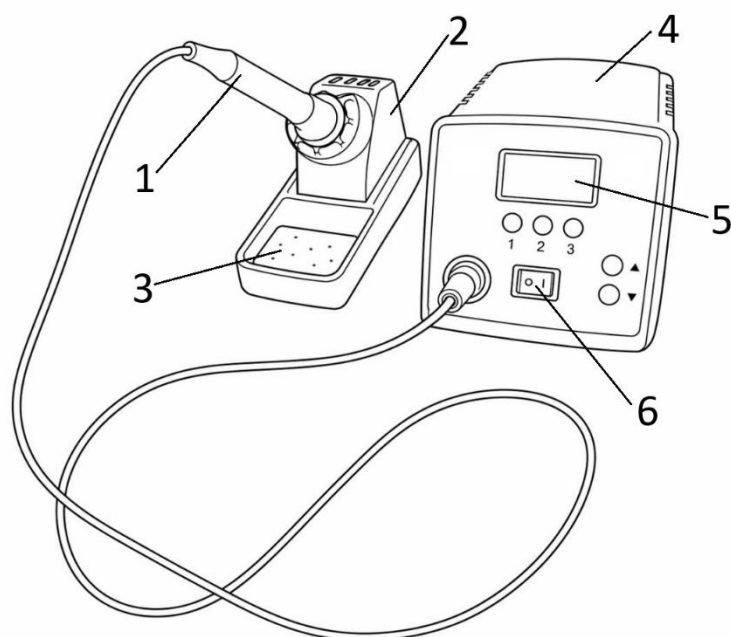


Рис. 4. Паяльная станция: 1 - паяльник; 2 – подставка для паяльника; 3 – место для губки для очистки жала паяльника; 4 – блок управления; 5 – экран для отображения температуры; 6 – кнопка включения;

Исторически по конструкции жала электрических паяльников или паяльных станций выделяли три основных типа: молотковые, торцевые и Г-образные. В настоящее время наиболее распространенной конструкцией жала являются торцевые.

Геометрия рабочей части жала определяет, насколько эффективно тепло будет передано в зону пайки, и насколько удобно будет выполнять конкретную монтажную операцию. Универсальной формы рабочей части жала не существует. Наиболее часто в настоящее время в приборостроении применяются следующие формы жала:

Клиновидное жало. Наиболее часто используемый тип жала, как среди начинающих, так и для большинства стандартных радиомонтажных работ. Наконечник цилиндрического стержня сплюснен и заточен в форме плоской лопатки с прямым рабочим торцом (рис. 5-1). Назначение данного

типа жала — работа с выводными компонентами (резисторы, конденсаторы, транзисторы), проводами среднего и крупного сечения, а также для пайки массивных контактов и разъемов. Данный вид жала обладает эффективной теплопередачей благодаря большой плоской поверхности контакта. Позволяет работать как плоскостью (для быстрого прогрева), так и ребром (для точечного касания).

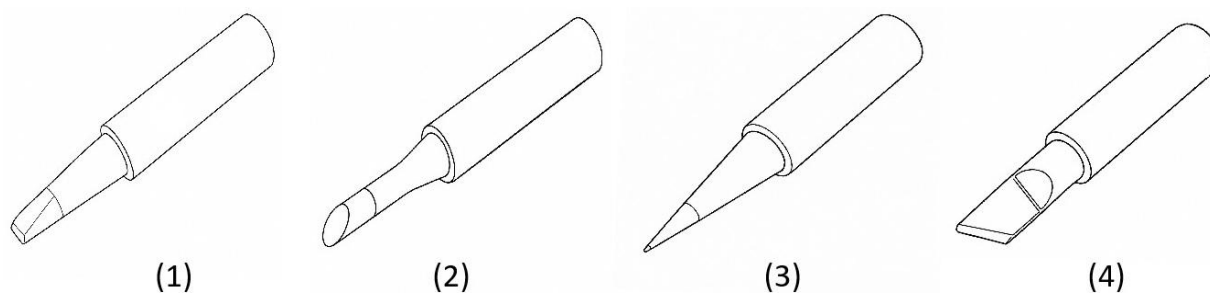


Рис. 5. Различные формы геометрий рабочей части жала паяльника:

1 - клиновидное жало; 2 - косой срез жала; 3 - конусное жало; 4 - жало-нож.

Жало с косым срезом представляет собой цилиндрический или конический стержень, заканчивающийся плоской площадкой, срезанной под углом (рис. 5-2). Назначение данного типа жала - пайка выводных компонентов, лужение проводов среднего сечения. Благодаря плоской грани обеспечивается значительная площадь теплового контакта. Косой срез дополнительно позволяет работать как остриём, так и плоскостью.

Конусное жало (коническое). Классическая форма с круглым сечением, сходящим на конус к острию. Угол заточки может быть разным: от очень острого до притупленного (рис. 5-3). Назначение данного типа жала - точечная пайка компонентов малых типоразмеров, работа с микросхемами в корпусах с очень мелким шагом выводов, исправление локальных дефектов в труднодоступных местах. Из-за малой площади контакта с деталью обладает низкой теплоёмкостью и плохой теплопередачей. Попытка прогреть конусным жалом массивный полигон или вывод разъёма приводит к локальному перегреву кончика жала и

быстрому выгоранию флюса, в то время как сама деталь остаётся холодной. Поэтому для большинства силовых и выводных монтажей данная форма непригодна.

Жало-нож – наконечник, расплющенный и заточенный в виде лезвия ножа (рис. 5-4). Назначение данного типа жала - прогрев ряда контактов одновременно, удаление излишков припоя методом снятия «лишнего» олова движением лезвия. Также применяется для коррекции «перемычек» припоя между соседними выводами микросхем.

После выполнения всех технологических операций пайки необходимо провести контроль соединения. Наиболее доступным, быстрым, информативным и при этом неразрушающим методом контроля паяного соединения является визуальный осмотр.

Визуальный осмотр — неразрушающий метод контроля качества паяного соединения, который заключается в осмотре паяного соединения невооружённым глазом или с использованием оптических средств увеличения.

Целью визуального осмотра является выявление отклонений формы паяного соединения и дефектов смачивания. Визуальный осмотр должен осуществляться со всех сторон паяного соединения. В общем случае к критериям качественного паяного соединения, которые можно оценить с помощью визуального осмотра, можно отнести:

- **Пайка должна быть скелетной**, то есть под припоем должен быть виден контур паяных выводов и проводов.
- **Отсутствие холодной пайки.** При дефекте холодной пайки поверхность паяного соединения рыхлая, тусклая, зернистая, часто с трещинами. Причина — смещение детали в момент застывания припоя, недостаточная температура нагрева или отсутствие флюса.

- **Характер поверхности и блеск.** Для сплавов с содержанием свинца поверхность должна быть гладкой, блестящей, зеркальной.
- **Наличие галтели и ее форма в месте паяного соединения.** На месте паяного соединения припой должен образовать галтель (рис. 6).

Галтель — это часть паяного соединения, которая образуется припоем на наружных поверхностях паяемых элементов, соединяя их. Она формирует плавный переход от детали к контактной площадке или другой детали, обеспечивая механическую прочность и надежность соединения.

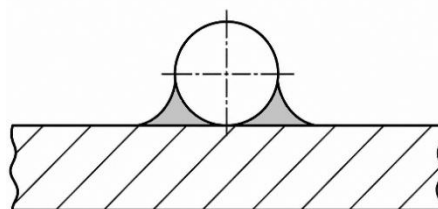


Рис. 6. Форма галтели

Выпуклая форма галтели свидетельствует о недостаточном прогреве или плохом смачивании поверхности обрабатываемой детали припоем.

Таким образом, технологические процессы пайки и лужения являются неотъемлемой частью современного приборостроения. Пайка обеспечивает надежное неразъемное соединение с высокими электрическими и механическими характеристиками, при этом важно понимать, что эффективность и качество паяного соединения во многом определяется правильностью выбора расходных материалов и качеством выполнения этапов предварительной подготовки. Изложенные выше теоретические сведения являются основой для получения базовых практических навыков выполнения технологических операций пайки и лужения.

Практическая часть

Используемые материалы и инструменты:

Инструменты:

Цифровая паяльная станция, кусачки, набор пинцетов, термостойкий силиконовый коврик, линейка, монтажная рамка.

Материалы:

Припой марки ПОС-61 Ø 1,5мм, активированный флюс марки ЛТИ-120, шлифовальная шкурка, монтажный провод, универсальный растворитель.

Задание на выполнение лабораторной работы:

Изучить теоретическую часть лабораторной работы. В результате выполнения всех операций необходимо получить изделие в форме сетки по эскизу, представленному на рисунке 7.

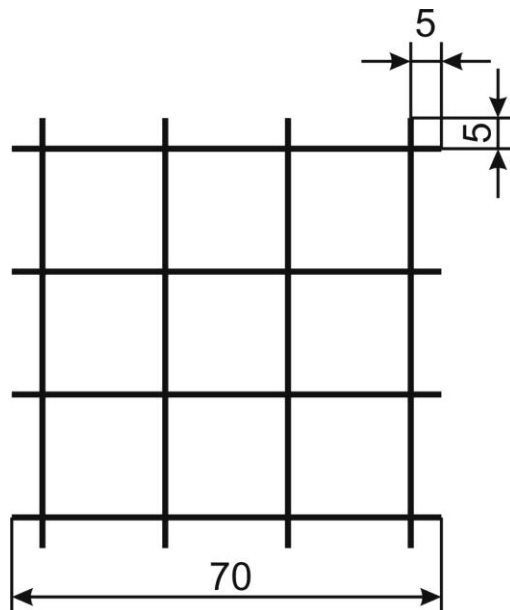


Рис. 7. Эскиз паяного изделия — сетки.

Порядок выполнения лабораторной работы:

Этап 1. Подготовка рабочего места и расходных материалов

Цель этапа:

Организовать безопасное, удобное пространство и подготовить проводники к дальнейшей обработке, исключив влияние загрязнений и изоляции на качество пайки

Последовательность действий:

- 1) Изучить теоретический раздел данной работы.
- 2) Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности и охраны труда при проведении паяльных работ.
- 3) Подготовить монтажный провод необходимой длины: 560 мм + 10 мм (запас).
- 4) Зачистить провод от изоляции наждачной бумагой по всей длине.
- 5) С помощью линейки и кусачек выполнить восемь заготовок деталей из монтажного провода длиной 70 мм каждая.
- 6) Подготовить рабочее место к проведению паяльных работ.

Контроль качества:

Убедиться, что все инструменты лежат в зоне досягаемости, длина заготовок равна 70 ± 2 мм, заготовки ровные, без изгибов. Поверхность зачищенных проводов блестящая, без тёмных оксидных пятен и остатков лака/изоляции.

Пояснения и комментарии:

- При разделении длинного провода на заготовки не стоит складывать провод несколько раз, так как в случае ошибки при измерении это приведет к тому, что отдельные или все полученные заготовки могут оказаться некорректной длины — используйте измерительные инструменты.

- При очистке поверхности следует использовать наждачную бумагу с высокой зернистостью Р600–Р800, так как наждачная бумага со слишком низкой зернистостью может оставить глубокие царапины, тем самым сильно повредив провод.

- В рамках подготовки рабочего места необходимо убедиться, что рабочая область освещена, а инструмент и расходные материалы в

наличии, при этом инструмент в работоспособном состоянии, после чего включить дымоуловитель.

Этап 2. Лужение заготовок

Цель этапа:

Нанести на подготовленные провода тонкий, равномерный слой припоя, обеспечив надёжный электрический контакт и защиту от окисления при последующей пайке.

Последовательность действий:

- 1) Включить паяльную станцию
- 2) Зафиксировать провод с помощью пинцета с одного края (рис. 8).

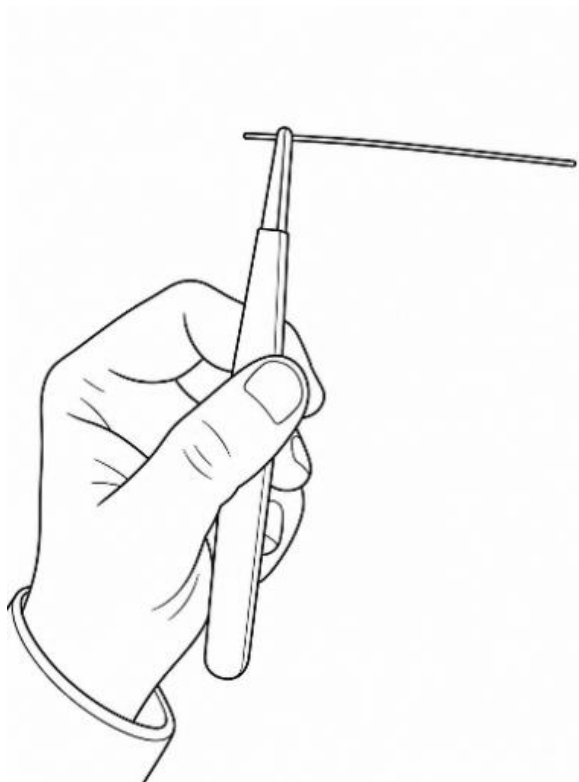


Рис. 8. Предлагаемый способ фиксации провода

- 3) Нанести флюс на поверхность провода.
- 4) Взять на жало паяльника небольшую каплю припоя (в случае его отсутствия).
- 5) Слегка прикоснуться к проводу, подождать краткое время, пока провод прогреется и начнется активное протекание химической реакции флюса

с оксидной пленкой на поверхности провода. Химическая реакция в зависимости от вида используемого флюса может проявляться по-разному, например, при использовании канифоли начинается интенсивное выделение дыма. Следует помнить, что при лужении не следует задерживать жало на одном месте дольше 3 секунд.

- 6) Продолжая касаться провода, плавно переместить жало паяльника вдоль провода, тем самым осуществив лужение.
- 7) Для дальнейшего лужения всех проводов со всех сторон повторять представленные выше (пункты 2-6). Следует периодически проверять равномерность нанесения припоя на поверхность провода со всех сторон.

Контроль качества:

Поверхность залуженного участка – ровная, блестящая, серебристая. Нет излишков припоя («сосулек», наплывов), нет тёмных пор и нелужёных «проплешин».

Пояснения и комментарии:

- После включения электропаяльника или паяльной станции необходимо убедиться, что установлена рабочая температура 300°C. Далее следует осуществить визуальный контроль состояния жала, при наличии темного нагара очистить жало влажной термостойкой губкой или латунной стружкой.

- Причины, по которым припой может не покрывать тонким слоем поверхность детали:

- отсутствие припоя на жале паяльника;
- отсутствие или малое количество флюса на поверхности;
- наличие изоляционного покрытия на поверхности детали;
- слишком высокая скорость движения жала паяльника или прерывистые движения, разрывающие контакт жала паяльника и обрабатываемой детали.

Этап 3. Пайка

Цель этапа:

Выполнить пайку проводов, то есть создать неразъёмное механическое и электрическое соединение проводников.

Последовательность действий:

- 1) При необходимости выпрямить заготовки для придания им правильной формы в соответствии с эскизом задания (рис. 7) с помощью круглогубцев.

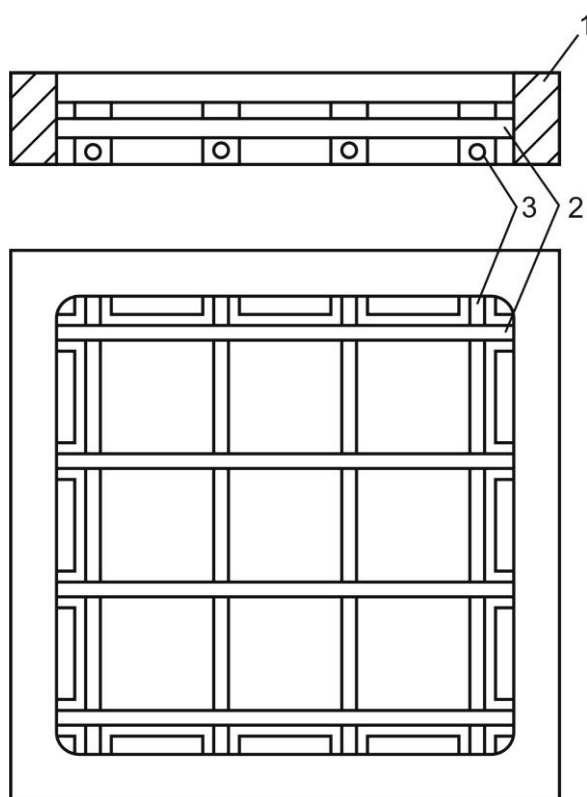


Рис. 9. Эскиз раскладки проводов сетки в монтажной рамке.

1 – монтажная рамка; 2 – горизонтальные элементы сетки; 3 – вертикальные элементы сетки

- 2) Используя монтажную рамку, произвести раскладку провода. Для этого следует поместить монтажную рамку на силиконовый коврик, таким образом, чтобы в пазы монтажной рамки можно было разместить облуженные провода в соответствии с эскизом на рисунке 9. При необходимости осуществить подрезку проводов с помощью кусачек.

- 3) Пинцетом оказать прижимное воздействие рядом с точкой пересечения проводов (рис. 10).
- 4) Нанести флюс на место пересечения проводов.
- 5) С помощью жала паяльника взять небольшую каплю припоя.

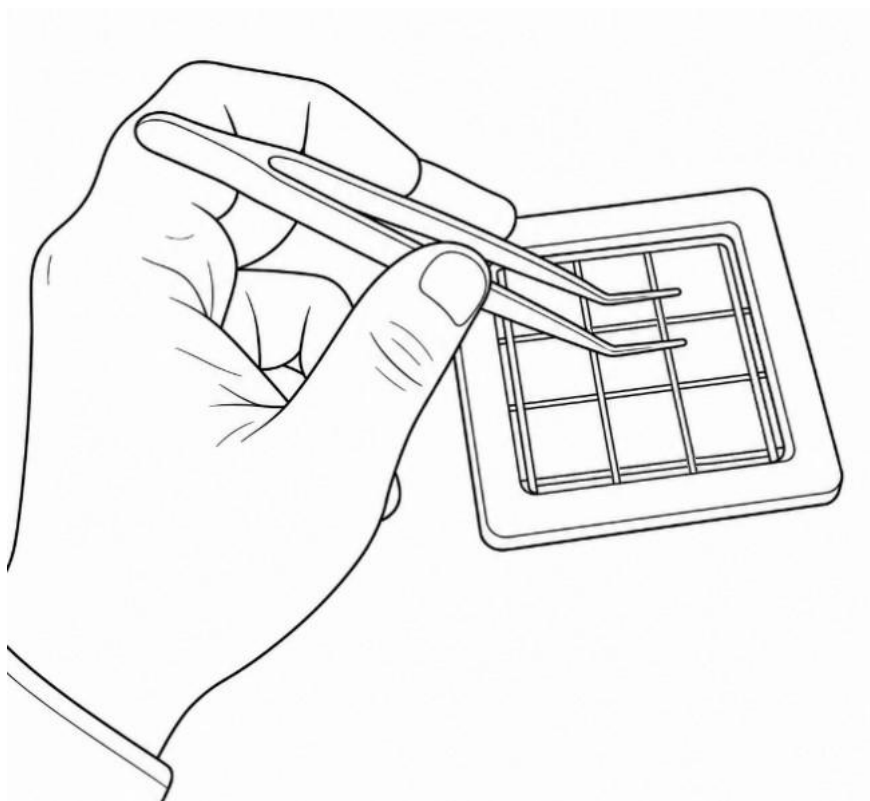


Рис. 10. Предлагаемый способ фиксации проводов при пайке

- 6) Кратковременно прикоснуться жалом паяльника к месту соединения таким образом, чтобы припой затек в зазор между проводами.
- 7) Убрать жало паяльника от точки пересечения, продолжая удерживать провода неподвижно до полной кристаллизации припоя (поверхность из зеркальной становится матовой).
- 8) Для дальнейшей пайки повторять представленные выше пункты 3-7.

Контроль качества:

Визуальный контроль выполненного изделия должен быть осуществлен со всех сторон. Контур проволок читается под тонким слоем припоя, галтель имеет вогнутую форму (угол смачивания менее 90°).

Поверхность паяного соединения гладкая, блестящая, без пор, трещин, «сосулек» и включений флюса.

Пайка должна обеспечивать надежность электрического контакта и необходимую механическую прочность, то есть провода не должны смещаться относительно друг друга при физическом воздействии.

Пояснения и комментарии:

- Количество флюса, наносимого на место пайки должно быть минимальное, обильное смачивание флюсом недопустимо.
- Пайка должна быть скелетной.
- Поверхность паяных соединений от остатков флюса следует очищать тканью из безворсового материала (например, хлопчатобумажной бязью) или кисточкой, смоченной спиртом или спирто-бензиновой смесью. Очищать паяные соединения следует после пайки.
- Если необходимо убрать избыток припоя с детали или паяного соединения, следует включить паяльную станцию, очистить жало паяльника от избытков припоя (мокрой губкой или латунной стружкой), нанести флюс на обрабатываемое место или на жало паяльника (например, погрузить в канифоль) и снять избыток припоя в узлах пайки. Выключить паяльную станцию.
- Правильная пайка не должна быть похожа на круглый бугристый шарик – избыток припоя так же опасен, как и его недостаток (скрывает «холодную» пайку).

Этап 4. Завершение лабораторной работы и уборка рабочего места

Цель этапа:

Привести оборудование, инструмент и рабочее место в исходное состояние, обеспечить их сохранность для последующих занятий.

Последовательность выполнения:

- 1) Отключить паяльную станцию от сети питания.
- 2) Закрыть емкости с используемыми в рамках лабораторной работы расходными материалами.

- 3) Выключить дымоуловитель.
- 4) Убрать рабочее место с использование щетки от обрезков проводов, грязи и пыли.
- 5) Протереть ветошью термостойкий коврик и поверхность стола от остатков флюса, предварительно нанести на место очистки растворитель.
- 6) Разместить рабочий инструмент и расходные материалы в установленных для них местах.
- 7) Выключить индивидуальное освещение рабочего места.

Контроль качества:

После завершения лабораторной работы рабочая область должна быть полностью очищена от обрезков выводов, остатков припоя, пыли, загрязнений и использованных расходных материалов. На поверхности стола, термостойком коврике и собранно изделии не должно оставаться видимых пятен флюса.

Рабочий инструмент должен быть размещён в соответствующих местах хранения. Паяльная станция, дымоуловитель и индивидуальное освещение должны быть выключены.

Пояснения и комментарии:

- Флюс, особенно активированный, может обладать гигроскопичностью и химической активностью. Поэтому пятна флюса не следует оставлять ни на собранном изделии, ни на рабочем столе.
- Растворители следует применять осторожно, избегая их попадания на кожу, в глаза, а также на нагретые поверхности.
- Уборка рабочего места является не вспомогательной, а обязательной частью лабораторной работы и учитывается при оценивании результатов выполнения практического задания.

Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы

Критерии оценки результатов лабораторной работы

Итоговая оценка за выполнение лабораторной работы формируется на основе:

- 1) Оценки правильности и качества выполнения практического задания лабораторной работы.
- 2) Оценки правильности и качества оформления отчета.
- 3) Результатов защиты лабораторной работы.

Требования к оформлению отчета

Отчет оформляется каждым студентом самостоятельно в рукописном формате, качество составления и полнота информации, изложенной в отчете, оценивается преподавателем. Все рисунки в отчете должны быть подписаны, при необходимости даны пояснения в тексте отчета. Отчет по лабораторной работе в обязательном порядке должен содержать:

Теоретическую часть, которая содержит название и цель работы, краткие теоретические сведения, которые формируются на основе материала методических указаний и должны содержать основные термины, определения, классификации, поясняющие рисунки, а также минимальный по усмотрению студента набор сведений, необходимых для понимания технологических процессов, изучаемых в рамках лабораторной работы. Обязательными к перенесению в отчет из методических указаний являются рисунки: Смачиваемость поверхности металла припоем, Схема зоны лужения с помощью жала паяльника, Форма галтели.

Практическую часть, которая состоит из двух этапов, первый выполняется студентами в рамках самостоятельной работы при подготовке к лабораторной работе и содержит используемые материалы и инструменты, описание решения практической задачи (порядок выполнения лабораторной работы), формулы и схемы, необходимые для решения. Второй содержит описание результатов, полученных в процессе

выполнения практического задания, и оформляется студентами после выполнения лабораторной работы. Рисунок эскиза паяного изделия (сетки) является заданием на выполнение лабораторной работы № 1, поэтому приводится в разделе отчета «Порядок выполнения».

Заключение, в котором должны быть представлены краткие индивидуальные выводы по результатам лабораторной работы.

Сброшюрованный отчет по лабораторной работе необходимо сдать преподавателю. Оформленный отчет является допуском к защите лабораторных работ после их выполнения.

Защита лабораторной работы

Защита лабораторной работы может проводиться в следующих форматах по усмотрению преподавателя:

- Устное собеседование с ответом на теоретические вопросы по теме лабораторной работы.
- Выполнение отдельной задачи в рамках практической части лабораторной работы.
- Письменное выполнение тестовых заданий.

При подготовке к защите лабораторной работы студенты могут опираться на контрольные вопросы к лабораторной работе.

Контрольные вопросы

- 1) Какие физические явления лежат в основе процесса пайки?
- 2) Что такое припой?
- 3) Какие виды припоев Вам известны?
- 4) Какие характеристики припоя наиболее важны при пайке?
- 5) Назовите состав припоя ПОС-61 и температуру его плавления.
- 6) Каким образом можно определить качество смачивания поверхности припоем?
- 7) В чем заключается технологический процесс лужения?
- 8) Каково назначение лужения?
- 9) Что такое флюс и какое у него назначение?

- 10) Какие виды флюсов вы знаете?
- 11) Как качество и состояние соединяемых поверхностей деталей влияет на качество паяного соединения?
- 12) Что обеспечивает лучшую подготовку поверхности к пайке: механическая очистка поверхности или химическое травление?
- 13) Что такое галтель паяного шва?
- 14) Какие разновидности жал паяльных станций вы знаете?
- 15) Для чего необходимо контролировать температуру пайки?
- 16) Какие дефекты паяного соединения Вам известны?
- 17) Каким методом контроля можно оценить качество паяного соединения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. СКВОЗНОЙ МОНТАЖ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Цель работы – получение практических навыков проведения электромонтажных работ, а именно: формовки выводов и выводного монтажа электрорадиоэлементов на плате, навыков работы с измерительным оборудованием, а также чтения и разработки базовой конструкторско-технологической документации.

2.1 Теоретическая часть

Современная электронная аппаратура представляет собой не только систему компонентов, обеспечивающих выполнение заданных функций, но и определённую конструкцию, в которой каждый элемент занимает заданное место и соединён с другими элементами в соответствии с конструкторской документацией.

В настоящее время в процессе создания современных электронных устройств можно выделить следующие взаимосвязанные этапы:

- разработка конструкторско-технологической документации (различные электрические схемы, схемы топологии печатных плат);
- монтаж элементов на месте эксплуатации;
- выполнение электрических соединений;
- контроль качества монтажа и проверка работоспособности изделия.

Конструкторская документация является основным средством передачи технической информации от разработчика к изготовителю, монтажнику, контролёру и пользователю изделия.

В соответствии с Единой Системы Конструкторской Документации (ЕСКД), конструкторская документация включает графические и текстовые документы, которые определяют состав изделия, его устройство, принцип действия, размеры, материалы, технические

требования, порядок сборки и другие сведения, необходимые для изготовления и эксплуатации. ЕСКД обеспечивает единообразие технической документации, что особенно важно в инженерной деятельности, так как без документации невозможно обеспечить повторяемость изготовления, корректную сборку, контроль качества и последующий ремонт изделия.

Виды и комплектность конструкторских документов на стадиях разработки конструкторской документации устанавливает ГОСТ Р 2.102–2023. Любая схема является графическим конструкторским документом, на котором с помощью условных изображений или обозначений отображаются составные части изделия и связи между ними.

Согласно нормативно-технической документации по видам элементов схемы могут быть электрическими, гидравлическими, пневматическими, кинематическими, оптическими и другими. В данной лабораторной работе рассматриваются электрические схемы. В свою очередь по назначению электрические схемы подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные, схемы соединений, схемы подключения, общие схемы, схемы расположения и другие.

Принципиальная электрическая схема (полная электрическая схема) — документ, определяющий полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представление о принципах работы изделия (установки).

Принципиальная электрическая схема (рис. 11) показывает элементы и электрические связи между ними, но не обязана отражать их реальное расположение на плате. Полная электрическая схема отображает принцип работы устройства, соединения между элементами, и используется для расчёта параметров цепей и поиска неисправностей.

На принципиальной схеме элементы изображаются условными графическими обозначениями, установленными стандартами ЕСКД. Каждый элемент получает буквенно-цифровое обозначение. Для обозначения резисторов используется буква R, для конденсаторов — C, для диодов — VD, для транзисторов — VT, для микросхем — DD или DA в зависимости от назначения.

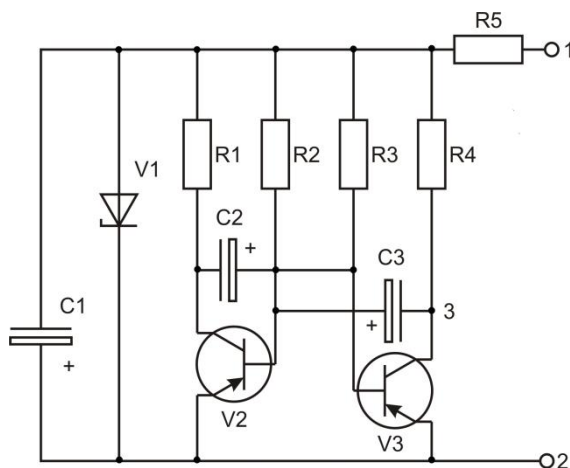


Рис. 11. Пример принципиальной электрической схемы устройства

Принципиальная схема не предназначена для выполнения монтажа, так как она не показывает фактическое расположение элементов на плате, способы их соединений и геометрию платы. Монтаж электрических соединений выполняют, опираясь на монтажную схему.

Монтажная схема (схема электрических соединений) — документ, показывающий соединения составных частей изделия (установки) и определяющий провода, жгуты или кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода.

Другими словами, монтажная схема отображает фактическое расположение элементов на плате, а также способ их соединения с помощью проводов. Соответственно, монтажная схема помогает монтажнику определить, куда установить компонент, к какой точке подключить его вывод, как расположить проводник или перемычку.

При выполнении сборки устройства необходимо постоянно связывать между собой три уровня представления устройства:

- принципиальную электрическую схему, показывающую электрические связи;
- спецификацию (перечень элементов), содержащий сведения о типах и номиналах компонентов;
- монтажную электрическую схему, плату или эскиз топологии платы, показывающие реальное расположение элементов и соединений.

В настоящее время для изготовления электронного устройства могут использоваться как специально изготовленные печатные платы, так и универсальные монтажные платы.

Монтажная плата — изделие, которое имеет набор отверстий и контактных площадок, но не содержит заранее сформированные соединения под конкретную схему.

Примерами монтажных плат могут быть беспаячная плата или плата с металлизированными отверстиями для прототипирования (рис. 12). Соединения в свою очередь могут выполняться перемычками, проводниками, участками пайки.

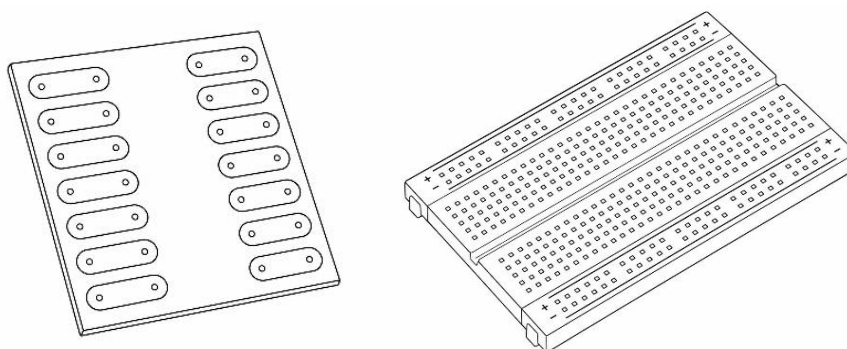


Рис. 12. Образцы монтажных плат

Печатная плата — изделие, содержащее один или несколько проводящих рисунков, расположенных на поверхности или в объёме и

соединённых между собой в соответствии с электрической схемой печатного узла.

Печатная плата представляет собой диэлектрическое основание с проводящими дорожками и контактными площадками, на котором размещаются компоненты электронного устройства. Она одновременно выполняет роль механического основания и системы электрических соединений. Использование печатных плат позволяет уменьшить количество монтажных проводов, повысить повторяемость изделия, снизить вероятность ошибок, упростить контроль и обеспечить компактность конструкции.

Печатная плата состоит из нескольких основных конструктивных элементов:

- **Диэлектрическое основание** является механической основой платы. Чаще всего для основания платы применяется стеклотекстолит или гетинакс.
- **Проводящий рисунок** представляет собой совокупность проводящих элементов платы, обеспечивающих электрические соединения. К нему относятся печатные проводники (токопроводящие дорожки), контактные площадки и монтажные отверстия. Последние используются для установки компонентов и их соединения с проводящим рисунком.
- **Паяльная маска** — защитное покрытие платы, предотвращающее случайное растекание припоя и образование перемычек между проводниками.
- **Маркировочные надписи**, которые помогают определить расположение элементов, их позиционные обозначения, полярность и другую вспомогательную информацию.

Важным этапом при проектировании печатной платы является разработка ее топологии.

Топология печатной платы — это взаимное расположение компонентов, контактных площадок и проводящих соединений. Она определяет, где будут находиться элементы и каким образом между ними будут проложены электрические связи.

Разработка топологии начинается с анализа принципиальной схемы: необходимо определить, какие выводы элементов должны быть соединены между собой, какие узлы являются общими, где находятся входные и выходные точки, какие элементы целесообразно расположить рядом.

При построении эскиза топологии следует придерживаться нескольких важных правил:

- размещать элементы так, чтобы соединения были как можно короче;
- избегать пересечений проводников;
- обеспечивать удобство установки и пайки компонентов;
- оставлять достаточное расстояние между элементами, учитывая размеры их корпусов и расстояние между выводами;
- сохранять читаемость и логичность расположения.

После размещения компонентов и соединений между контактными площадками проверяется соответствие эскиза исходной принципиальной схеме. На этом этапе важно убедиться, что ни одно соединение не пропущено и не добавлено ошибочно.

Построение эскиза топологии завершает этап подготовки конструкции. Следующий этап связан с размещением элементов на плате. Эти элементы согласно нормативно-технологической документации называются электрорадиоэлементами.

Электрорадиоэлемент (ЭРЭ) — это неделимый компонент радиоэлектронной или электронной аппаратуры, выполняющий определенную функцию и не поддающийся дальнейшему разбору без разрушения конструкции.

К ЭРЭ относятся резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, катушки индуктивности, микросхемы и другие элементы. В данной лабораторной работе подробно рассматриваются выводные элементы.

Выводные элементы — это электронные компоненты, предназначенные для монтажа в сквозные металлизированные отверстия печатной платы.

Конструкция выводного элемента обычно включает корпус, один или несколько выводов, маркировку и защитное покрытие. Корпус элемента защищает внутреннюю структуру от механических повреждений и воздействия внешней среды. Выводы служат для включения элемента в электрическую цепь. Маркировка позволяет определить тип элемента, его номинальные параметры, полярность или другие необходимые сведения.

Выводы компонента выполняют двойную функцию. С одной стороны, они являются проводниками электрического тока. С другой стороны, они участвуют в механическом креплении элемента на плате. Поэтому при монтаже недопустимо чрезмерно изгибать выводы, создавать натяжение между корпусом и отверстиями платы или повреждать место выхода вывода из корпуса. По типу выводов различают осевые и радиальные ЭРЭ (рис. 13).

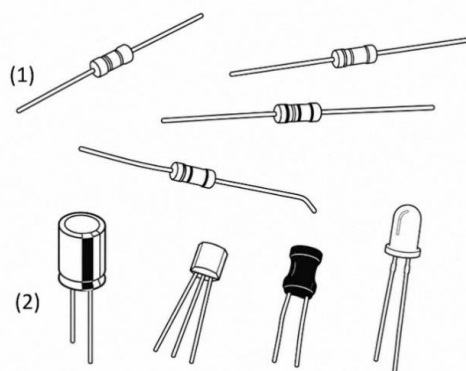


Рис. 13. Примеры различных ЭРЭ: 1 - осевые ЭРЭ; 2 - радиальные ЭРЭ.

Выводные компоненты могут быть пассивными и активными. Пассивные элементы не усиливают сигнал и не являются источниками энергии. К ним относятся резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, предохранители и некоторые виды датчиков. Активные элементы способны управлять током, усиливать сигнал или выполнять логические функции. К ним относятся диоды, транзисторы, тиристоры, интегральные микросхемы и другие полупроводниковые приборы. В рамках данной работы рассмотрим подробно простейший пассивный элемент – резистор.

Резистор — пассивный элемент, предназначенный для создания заданного сопротивления в электрической цепи.

В электрических цепях резисторы применяются для ограничения тока, деления напряжения, задания рабочих режимов активных элементов, формирования временных цепей совместно с конденсаторами, согласования нагрузок и выполнения других функций. Основными параметрами резисторов являются номинальное сопротивление, мощность рассеяния и допуск.

В настоящее время применяется чёткая, стандартизованная система маркировка резисторов. Она избавляет от догадок и ошибок, упрощает автоматическую сборку, контроль качества и обслуживание, особенно при ремонте. В маркировке должна отображаться ключевая информация – номинал и точность. Исторически использовались буквенно-цифровые коды: цифры обозначали номинал, а литеры — множитель и допуск (подробное описание в Приложении 1).

Однако с развитием монтажа и миниатюризации компонентов буквенно-цифровые коды стали неудобными для считывания, как человеком, так и системами машинного зрения. Поэтому в настоящее время широкое распространение получила цветовая маркировка. Наиболее

распространена четырёхполосная цветовая маркировка. В ней первая и вторая полосы обозначают значащие цифры, третья полоса — множитель, четвёртая полоса — допуск. Для пятиполосной маркировки используется большее количество значащих цифр, и может дополнительно указываться допуск и температурный коэффициент. При определении номинала необходимо правильно выбрать направление считывания полос. Обычно полоса допуска располагается ближе к одному из краёв корпуса и может быть золотой или серебристой. Считывание маркировки начинают с противоположного от полосы допуска края (подробное описание в Приложении 2).

Независимо от назначения электронного устройства и использованных ЭРЭ, важнейшим этапом его изготовления является выполнение монтажных и электромонтажных работ.

Монтаж — совокупность операций по установке изделий или их составных частей на месте эксплуатации или в составе другого изделия.

Электромонтаж — совокупность технологических операций для выполнения электрического соединения электрорадиоэлементов (ЭРЭ) или составных частей изделия, имеющих токоведущие элементы в радиоэлектронном устройстве.

Результатом электромонтажа является собранная электрическая цепь. В процессе электромонтажа для получения контактного соединения чаще всего применяют пайку. Качество выполнения электромонтажа оказывает непосредственное влияние на надёжность, работоспособность и долговечность электронного устройства. Ошибки, допущенные при электромонтаже, могут приводить к нарушению электрических соединений, нестабильности параметров устройства, возникновению

паразитных сопротивлений и ухудшению эксплуатационных характеристик приборов.

В приборостроении в зависимости от способа размещения и соединения компонентов различают несколько основных видов монтажа:

Навесной монтаж – способ соединения элементов, при котором компоненты соединяются непосредственно между собой с помощью проводников без использования печатной платы.

Навесной монтаж (рис. 14) широко применялся на ранних этапах развития радиоэлектроники. Основные преимущества навесного монтажа заключаются в его простоте и наглядности, для его выполнения не требуются какие-либо дополнительные материалы, иногда даже провода, возможность оперативно внести изменения в схему и отсутствие необходимости изготовления печатной платы. К недостаткам относятся низкая механическая прочность, зачастую большие габариты конструкции, повышенная вероятность ошибок при монтаже.

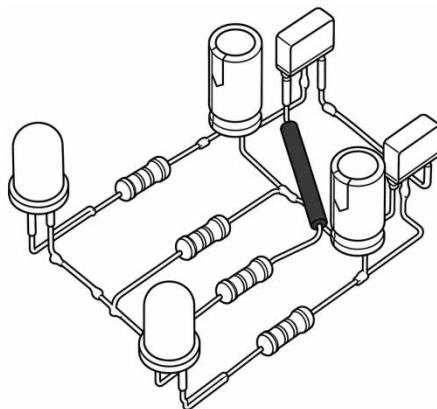


Рис. 14. Пример устройства, собранного с помощью навесного монтажа

Печатный монтаж — способ монтажа, при котором электрические соединения между компонентами выполняются с помощью проводящих дорожек, сформированных на поверхности печатной платы.

Основными преимуществами печатного монтажа являются уменьшение габаритов, повышение повторяемости конструкции, снижение трудоёмкости сборки, возможность автоматизации и повышение надёжности электрических соединений.

Печатный монтаж может реализовываться разными способами. Наиболее распространены монтаж в сквозные отверстия (выводной) и поверхностный монтаж.

Поверхностный монтаж — способ монтажа, при котором электронные компоненты припаиваются непосредственно на контактные площадки, расположенные на поверхности платы, а не вставляются в сквозные отверстия.

Компоненты для поверхностного монтажа обозначают аббревиатурой SMD (surface mounted device). Они имеют малые размеры и предназначены преимущественно для автоматизированной установки. Преимуществами поверхностного монтажа являются высокая плотность монтажа (больше компонентов на единицу площади платы), и, как следствие, миниатюризация устройств, автоматизация производства и высокая производительность сборки. Недостатками поверхностного монтажа являются низкая механическая прочность паяного соединения, а также сложность ручного монтажа.

Выводной (сквозной) монтаж — способ монтажа, при котором выводы компонентов устанавливаются в сквозные отверстия печатной платы и фиксируются пайкой.

К преимуществам выводного монтажа (рис. 15) относят, во-первых, высокую механическую прочность соединения, так как вывод компонента проходит через плату и фиксируется паяным соединением. Во-вторых,

удобство для ручной сборки и ремонта. Наконец, возможность применять компоненты, рассчитанные на значительные токи, механические нагрузки или тепловые воздействия.

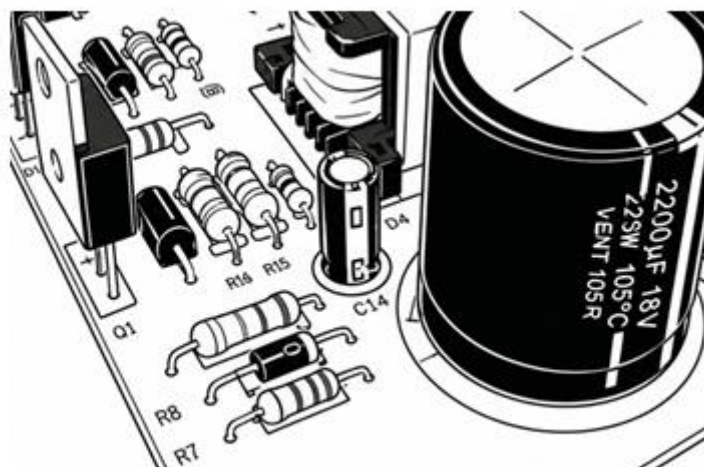


Рис. 15. Пример элементов, установленных на плате с использованием сквозного монтажа

К недостаткам выводного монтажа относятся сравнительно большие габариты компонентов, меньшая плотность размещения, вследствие больших размеров ЭРЭ.

Важно понимать, что перед установкой на плату ЭРЭ должны быть подготовлены. Обычно подготовка включает проверку номинала, внешний осмотр, определение положения элемента на плате и формовку выводов.

Формовка выводов — технологическая операция изменения формы выводов электрорадиоэлемента для установки на плату.

Цель формовки состоит в том, чтобы элемент был установлен без механического напряжения, его корпус занимал устойчивое положение, а выводы проходили через отверстия платы свободно и без деформации. Типовые примеры формовки выводов ЭРЭ представлены на рис. 16.

При формовке важно соблюдать следующие правила:

- не изгибать вывод непосредственно у корпуса элемента (рекомендуется минимальное расстояние – не менее 5 мм от корпуса);
- не допускать многократного перегибания одного и того же участка;
- соблюдать расстояние между выводами в соответствии с отверстиями платы;
- не повреждать защитное покрытие и корпус элемента.

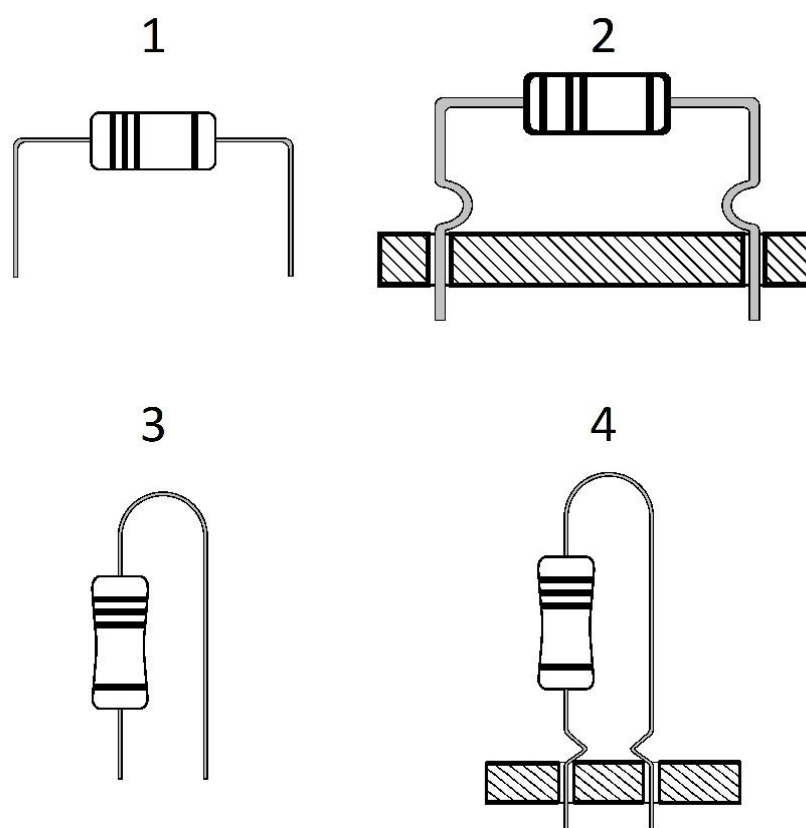


Рис. 16. Примеры формовки выводов ЭРЭ: 1- загиб на 90 градусов или «U-формовка»,
2 - пружинная формовка или зиг-замок, 3 - формовка «фонтан»,
4 - «фонтан» с зиг-замком

После выполнения монтажа элементов на плату необходимо убедиться, что собранная цепь соответствует электрической схеме. Для этого помимо визуального осмотра может применяться электрический контроль, например, с использованием мультиметра.

Мультиметр — универсальный электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения различных электрических величин.

В зависимости от модели мультиметр может измерять постоянное и переменное напряжение, силу тока, сопротивление, выполнять проверку целостности цепи, измерять параметры диодов и другие величины. В данной лабораторной работе мультиметр (рис. 17) используется главным образом для измерения сопротивления. Это позволяет проверить правильность выбора резисторов, качество электрических соединений и соответствие собранной цепи ожидаемому результату.

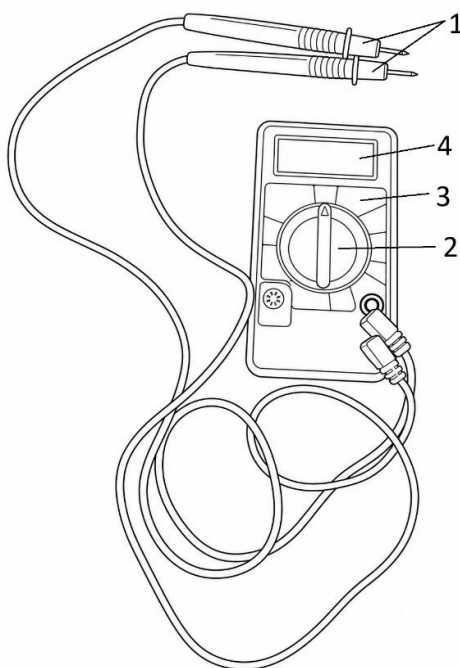


Рис. 17. Схематическое изображение мультиметра: 1- щупы мультиметра, 2- переключатель режимов измерения, 3- области выбора режима измерения, 4 – цифровой индикатор

При измерении сопротивления мультиметр следует установить в режим омметра. Внутренний источник прибора подаёт на исследуемый участок цепи небольшой измерительный ток, в результате прибор

определяет сопротивление на этом участке цепи и отображает его на цифровом индикаторе.

Перед измерением необходимо выбрать соответствующий диапазон измерения, так как при слишком малом выбранном пределе прибор может показывать перегрузку, а при слишком большом пределе точность измерения может быть низкой.

При измерении общего сопротивления цепи мультиметр подключают к двум контрольным точкам, между которыми необходимо определить сопротивление. Если показание значительно отличается от ожидаемого, это может свидетельствовать об ошибке монтажа.

- Если мультиметр показывает бесконечно большое сопротивление или перегрузку, это может означать обрыв цепи. Причиной может быть непропаяный вывод, повреждённая дорожка, пропущенная перемычка или неправильное соединение.

- Если сопротивление значительно меньше ожидаемого, возможно короткое замыкание, перемычка между соседними контактными площадками, неправильное соединение выводов или установка резистора не в ту позицию.

- Если сопротивление близко к ожидаемому, но нестабильно изменяется при лёгком касании платы или элемента, это может указывать на плохой контакт или механически ненадёжное соединение.

Таким образом, монтаж является важным этапом изготовления радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивающим переход от электрической схемы к физически выполненному устройству. Рассмотрены основные виды монтажа: навесной, печатный, выводной и поверхностный. Изучены выводные электрорадиоэлементы и их конструктивные особенности. Основное внимание уделено резисторам как базовым пассивным элементам. Приведены требования к формовке выводов, установке компонентов на плату и типичные дефекты, возникающие при монтаже выводных элементов. Рассмотрены базовые

виды конструкторской документации, используемые при выполнении монтажа. Показано различие между принципиальной электрической и монтажной схемой. Описан порядок контроля качества монтажа с помощью мультиметра. Полученные теоретические сведения необходимы для выполнения практической части лабораторной работы, в ходе которой студенты приобретают базовые навыки чтения схем, подготовки ЭРЭ, выполнения сквозного монтажа и проверки качества собранной цепи.

Практическая часть

Используемые материалы и инструменты:

Инструменты:

Цифровая паяльная станция, круглогубцы, набор пинцетов, термостойкий силиконовый коврик, мультиметр.

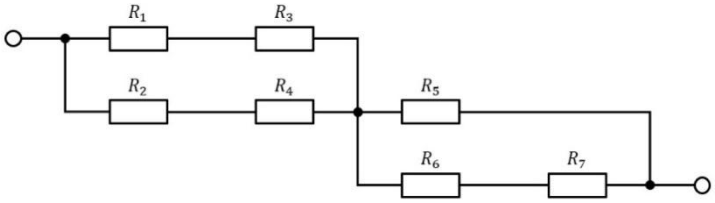
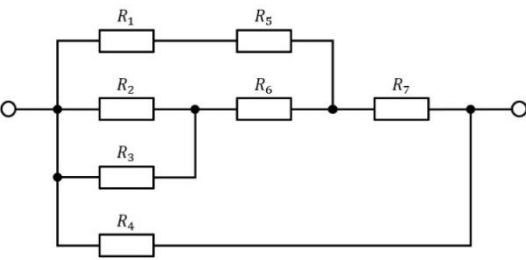
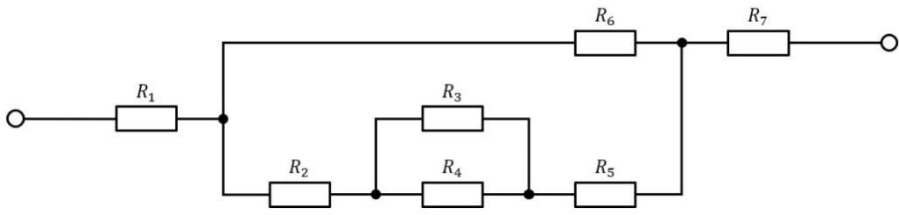
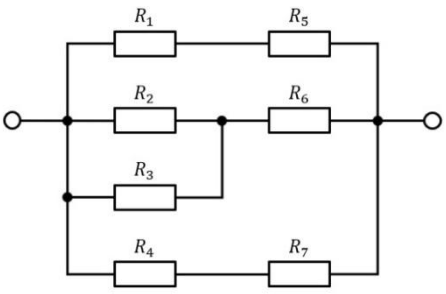
Материалы:

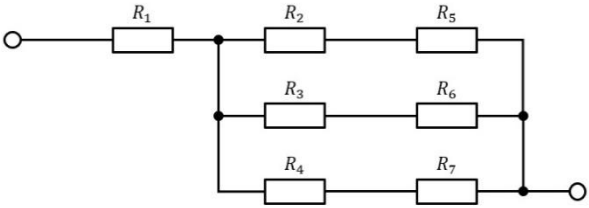
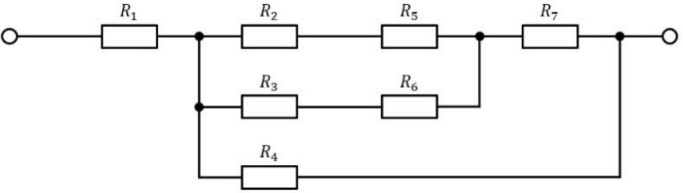
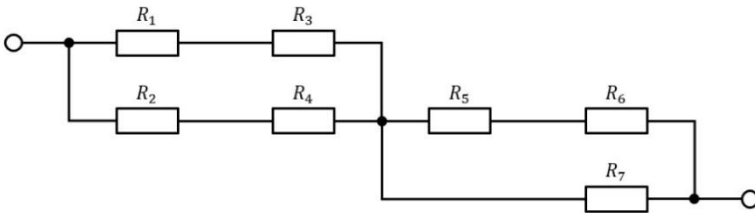
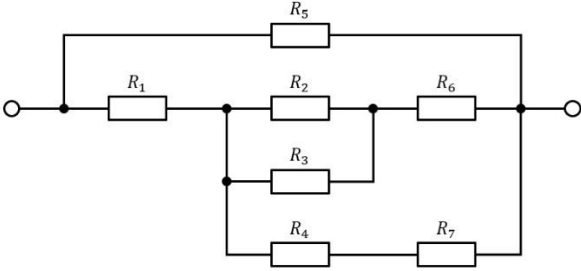
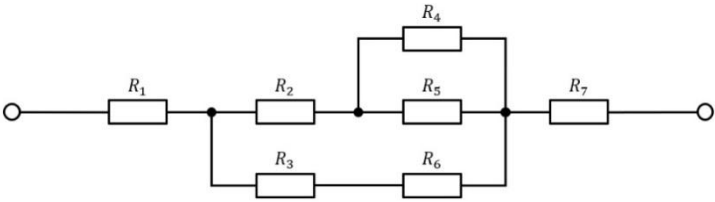
Трубчатый припой марки ПОС-61 Ø 1 мм с канифолью, индикаторный активированный флюс, медная оплетка, набор резисторов, печатная плата, универсальный растворитель.

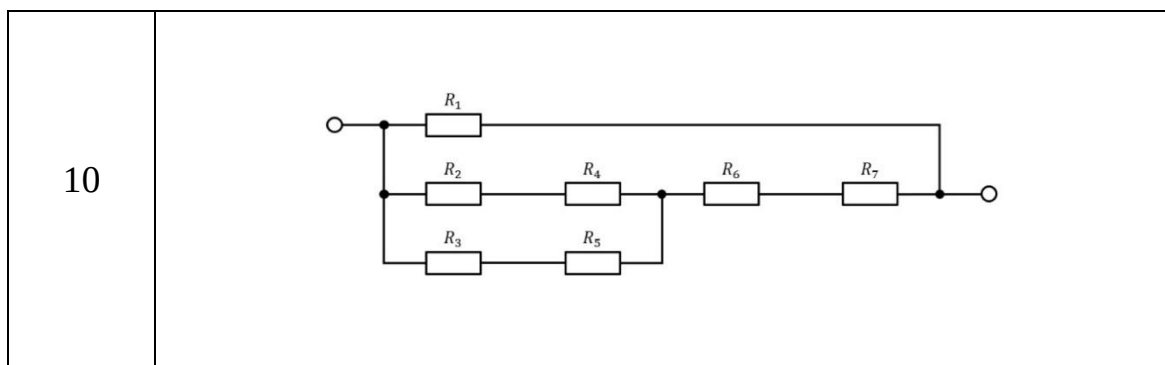
Задание на выполнение лабораторной работы:

Изучить теоретическую часть лабораторной работы. Далее по заданному преподавателем варианту принципиальной электрической схемы (табл. 1) необходимо разработать эскиз топологии печатной платы, выполнить сквозной монтаж резисторов на печатную плату, провести контроль качества монтажа, а затем выполнить демонтаж элемента с последующей очисткой выводов и контактных площадок.

Таблица 1. Варианты принципиальных электрических схем.

№	Электрическая принципиальная схема
1	
2	
3	
4	

5	
6	
7	
8	
9	



Порядок выполнения лабораторной работы:

Этап 1. Подготовка рабочего места и расходных материалов

Цель этапа:

Организовать безопасное, удобное пространство, изучить и построить необходимые конструкторские документы, подготовить ЭРЭ к дальнейшей обработке.

Последовательность действий:

- 1) Изучить теоретический раздел данной лабораторной работы.
- 2) Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности и охраны труда при проведении паяльных работ.
- 3) Составить эскиз топологии печатной платы, соответствующий принципиальной электрической схеме по варианту, заданному преподавателем.
- 4) По маркировке на корпусе определить номинал резистора в наборе с использованием справочных данных, приведённых в приложениях 1 и 2, перенести в отчет эскиз выбранного резистора с расшифровкой номинала.
- 5) Проверить фактическое значение сопротивления резисторов с использованием мультиметра.
- 6) Подготовить рабочее место к выполнению паяльных работ.
- 7) Проверить исправность используемого инструмента и убедиться в наличии свободного доступа к рабочей зоне.

Контроль качества:

Необходимо убедиться, что рабочее место организовано рационально: инструменты и материалы находятся в зоне досягаемости, провода питания не мешают выполнению работы, рабочая поверхность очищена от посторонних предметов.

Номиналы резисторов, определённые по маркировке, должны соответствовать значениям, измеренным мультиметром, с учётом допуска, указанного производителем.

Пояснения и комментарии:

- Подготовительный этап часто оказывает существенное влияние на качество последующего монтажа, например, неправильное размещение инструмента или неаккуратная организация рабочего места могут привести к ошибкам при сборке схемы или повреждению.

- При измерении сопротивления резистора мультиметром необходимо выбирать соответствующий предел измерения.

- Во время измерения нельзя касаться пальцами одновременно обоих выводов резистора, так как сопротивление тела человека может оказать влияние на точность измерения, особенно при работе с резисторами большого номинала.

Этап 2. Сквозной монтаж ЭРЭ на печатную плату

Цель этапа:

Выполнить подготовку выводных ЭРЭ к установке, произвести их монтаж на печатную плату и сформировать качественные паяные соединения в соответствии с построенной схемой.

Последовательность действий:

- 1) При необходимости осуществить очистку выводов резисторов от загрязнений и окисной плёнки с помощью мелкозернистой шлифовальной шкурки.
- 2) Включить паяльную станцию
- 3) При необходимости осуществить лужение выводов ЭРЭ.

- 4) Произвести формовку выводов ЭРЭ с помощью круглогубцев в соответствии с выданным вариантом формовки и с учетом расположения отверстий на печатной плате.
- 5) Установить и закрепить выводные ЭРЭ на печатной плате в соответствии с эскизом на рис. 18.

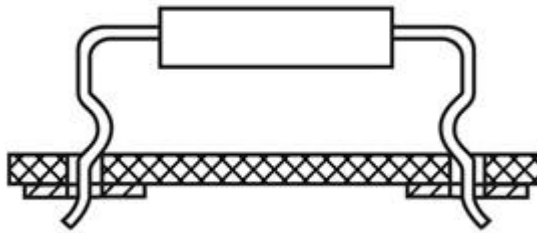


Рис. 18. Эскиз механического крепления выводов навесных ЭРЭ.

- 6) Выполнить пайку выводов резистора. Для этого необходимо одновременно прогреть контактную площадку и вывод элемента, после чего подать припой в зону соединения.
- 7) После растекания припоя прекратить подачу припоя, затем убрать жало паяльника от места пайки.
- 8) Выключить паяльную станцию
- 9) Осуществить визуальный контроль качества пайки.
- 10) Измерить с помощью мультиметра фактическое значение сопротивления смонтированной схемы и сравнить его с расчётным значением.

Контроль качества:

Качественное паяное соединение должно иметь однородную поверхность, обеспечивать полное смачивание вывода элемента и контактной площадки. Внешний вид паяного соединения должен соответствовать эскизу на рис. 19

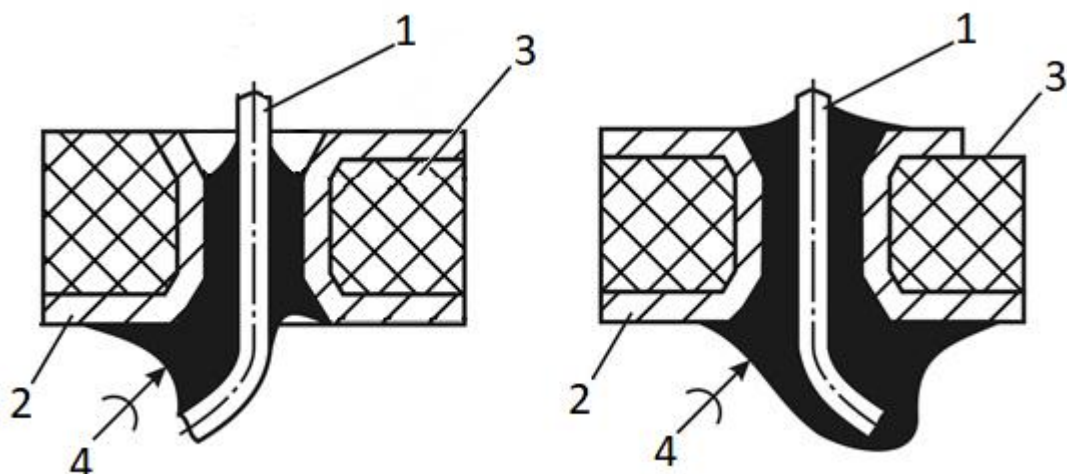


Рис. 19. Эскиз рекомендуемых форм паяных соединений на печатных платах с металлизированными отверстиями: 1 - вывод электрорадиоэлемента; 2 - печатный проводник, 3 - основание печатной платы; 4 - галтель припоя.

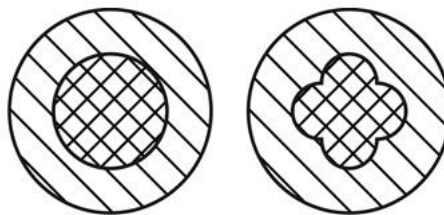
Резистор должен быть установлен в соответствии с эскизом (рис. 18). Корпус элемента не должен иметь следов перегрева, повреждений или деформации.

Выводы не должны создавать чрезмерного механического напряжения в местах пайки.

Фактическое значение сопротивления смонтированной схемы должно соответствовать расчётному значению с учётом допуска применяемых резисторов и погрешности измерительного прибора.

Пояснения и комментарии:

- При выполнении пайки в данной лабораторной работе используется **трубчатый припой**. Трубчатый припой представляет собой проволоочный припой, внутри которого расположен флюс (рис. 20). Применение трубчатого припоя удобно при ручном монтаже выводных электрорадиоэлементов, так как позволяет одновременно подавать в зону пайки и припой, и необходимое количество флюса, что упрощает технологический процесс, снижает вероятность недостаточного смачивания поверхностей и способствует формированию более равномерного паяного соединения.



-
- Рис. 20. Трубчатый припой с флюсом.

- При формовке выводов необходимо соблюдать аккуратность. Изгиб следует выполнять на расстоянии от корпуса резистора, чтобы исключить повреждение внутреннего соединения вывода с элементом.

- Не следует допускать многократного сгибание и разгибание выводов в одном и том же месте, так как это может привести к их механическому разрушению.

- При пайке важно обеспечить одновременный прогрев вывода и контактной площадки. В противном случае соединение может получиться непрочным, с недостаточным смачиванием поверхностей, такое соединение является ненадёжным.

- Не следует использовать чрезмерное количество припоя. Избыток припоя затрудняет визуальный контроль соединения, может образовывать перемычки между соседними площадками и усложняет последующий демонтаж элемента.

Этап 3. Демонтаж ЭРЭ с печатной платы.

Цель этапа:

Освоить последовательность безопасного демонтажа выводного электрорадиоэлемента с печатной платы, удалить остатки припоя с выводов и контактных площадок, а также сохранить пригодность платы и элемента для последующего использования

Последовательность действий:

- 1) Включить паяльную станцию

- 2) Расположить плату в удобном положении, обеспечивающем доступ к паяным соединениям и выводам демонтируемого резистора.
- 3) Нанести небольшое количество индикаторного флюса на паяные соединения, подлежащие демонтажу.
- 4) Прогреть одно паяное соединение до полного расплавления припоя.
- 5) Удалить расплавленный припой с контактной площадки с помощью медной оплетки.
 1. Для этого необходимо приложить оплетку к месту пайки (рис. 21).
 2. Прикоснуться жалом паяльника к оплетке и дождаться впитывания припоя (рис. 22).
 3. Если поверхность оплетки полностью покрыта слоем припоя, необходимо вытянуть из корпуса дополнительный участок оплетки, а покрытый припоем отделить с помощью кусачек.

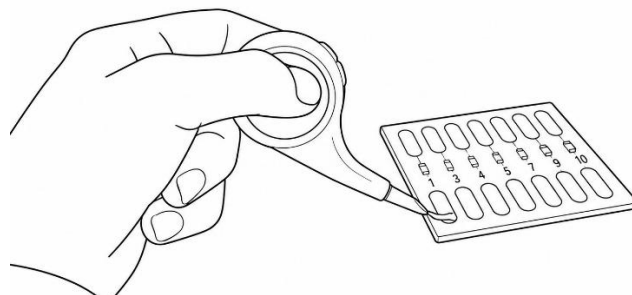


Рис. 21. Предлагаемый способ удержания оплетки.

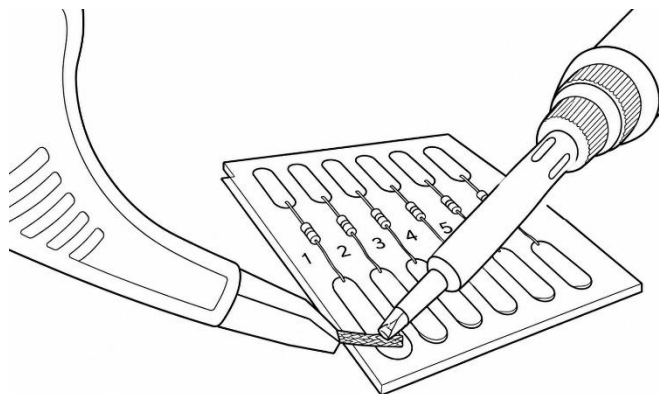


Рис. 22. Предлагаемый способ работы с оплеткой.

- 6) Повторить операцию удаления припоя для второго вывода резистора.
- 7) Аккуратно извлечь резистор из отверстий печатной платы, не прикладывая чрезмерного механического усилия.
- 8) Выровнять выводы демонтированного резистора с помощью плоскогубцев или круглогубцев.
- 9) Повторить пункты 3-8 для остальных ЭРЭ.
- 10) Удалить остатки припоя с контактных площадок и монтажных отверстий печатной платы с помощью медной оплётки и активированного гель-флюса либо другим способом, рекомендуемым преподавателем.
- 11) Выключить паяльную станцию
- 12) Провести визуальный контроль качества демонтажа, состояния выводов резистора, контактных площадок и монтажных отверстий.

Контроль качества:

После демонтажа резистор должен быть извлечён без повреждения корпуса и выводов. Выводы должны быть очищены от избыточного припоя и по возможности выровнены.

Контактные площадки печатной платы должны сохранять целостность. Не допускается отслоение фольги, повреждение металлизации отверстий, перегрев основания платы или разрыва дорожек.

Монтажные отверстия должны быть достаточно очищены от припоя для повторной установки элементов.

Пояснения и комментарии:

- При демонтаже резистора с печатной платы используется **индикаторный гель-флюс**. Гель-флюс представляет собой флюс с повышенной вязкостью, благодаря чему он хорошо удерживается в зоне пайки и не растекается по поверхности платы. Особенностью индикаторного гель-флюса является наличие индикаторной добавки, позволяющей визуально контролировать его состояние: изменение его

окраски указывает на протекание процесса активации флюса и его взаимодействие с зоной пайки.

- При демонтаже не следует прикладывать значительное механическое усилие, так как попытка извлечь элемент до полного расплавления или удаления припоя приведет к повреждению контактных площадок или дорожек.

- Если припой удаляется плохо, не следует увеличивать давление жалом паяльника на плату. Следует повторно нанести небольшого количества флюса, очистить жало паяльника и повторно осуществить прогрев соединения в течение ограниченного времени.

- Оплётка используется для удаления припоя за счёт капиллярного эффекта. Для повышения эффективности работы оплётки рекомендуется использовать флюс.

- Важно избегать длительного перегрева контактной площадки, так как это может вызвать её отслоение от диэлектрического основания платы.

Этап 4. Завершение лабораторной работы и уборка рабочего места

Цель этапа:

Привести оборудование, инструмент и рабочее место в исходное состояние, обеспечить их сохранность для последующих занятий.

Последовательность выполнения:

- 1) Отключить паяльную станцию от сети питания.
- 2) Закрыть емкости с используемыми в рамках лабораторной работы расходными материалами.
- 3) Выключить дымоуловитель.
- 4) Убрать рабочее место с использование щетки от обрезков проводов, грязи и пыли.
- 5) Удалить остатки флюса и загрязнения с платы, используя ветошь и растворитель

- 6) Протереть ветошью термостойкий коврик и поверхность стола от остатков флюса, предварительно нанести на место очистки растворитель.
- 7) Разместить рабочий инструмент и расходные материалы в установленных для них местах.
- 8) Выключить индивидуальное освещение рабочего места.
- 9) Сдать плату и набор резисторов преподавателю для проверки.

Контроль качества:

После завершения лабораторной работы рабочая область должна быть полностью очищена от обрезков выводов, остатков припоя, пыли, загрязнений и использованных расходных материалов. На поверхности стола, термостойком коврике и плате не должно оставаться видимых пятен флюса.

Рабочий инструмент должен быть размещён в соответствующих местах хранения. Паяльная станция, дымоуловитель и индивидуальное освещение должны быть выключены. Плата и резисторы должны быть переданы преподавателю в состоянии, пригодном для контроля результатов работы.

Пояснения и комментарии:

- Флюс, особенно активированный, может обладать гигроскопичностью и химической активностью. Остатки такого флюса способны вызывать коррозию металлических поверхностей, ухудшать электрические характеристики соединений и снижать надёжность печатного узла. Поэтому пятна флюса не следует оставлять ни на плате, ни на рабочем столе.

- При очистке платы и рабочего места необходимо использовать только разрешённые преподавателем средства. Растворитель следует применять осторожно, избегая попадания его на кожу, в глаза, а также на нагретые поверхности.

- Удаление излишков припоя с контактных площадок и выводов электрорадиоэлементов является обязательной операцией, так как остатки припоя затрудняют повторный монтаж и могут привести к образованию нежелательных электрических соединений.

- Уборка рабочего места является не вспомогательной, а обязательной частью лабораторной работы и учитывается при оценивании результатов выполнения практического задания.

Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы

Критерии оценки результатов лабораторной работы

Итоговая оценка за выполнение лабораторной работы формируется на основе:

- 1) Оценки правильности и качества выполнения практического задания лабораторной работы.
- 2) Оценки правильности и качества оформления отчета.
- 3) Результатов защиты лабораторной работы.

Требования к оформлению отчета

Отчет оформляется каждым студентом самостоятельно в рукописном формате, качество составления и полнота информации, изложенной в отчете, оценивается преподавателем. Все рисунки в отчете должны быть подписаны, при необходимости даны пояснения в тексте отчета. Отчет по лабораторной работе в обязательном порядке должен содержать:

Теоретическую часть, которая содержит название и цель работы, краткие теоретические сведения, которые формируются на основе материала методических указаний и должны содержать основные термины, определения, классификации, поясняющие рисунки, а также минимальный по усмотрению студента набор сведений, необходимых для понимания технологических процессов, изучаемых в рамках лабораторной работы. Обязательными к перенесению в отчет из методических указаний являются рисунки: Примеры формовки выводов ЭРЭ, Эскиз механического крепления выводов навесных ЭРЭ, Эскиз рекомендуемых форм паяных соединений на печатных платах с металлизированными отверстиями, Трубчатый припой с флюсом, а также принципиальная схема и построенный эскиз топологии печатной платы.

Практическую часть, которая состоит из двух этапов, первый выполняется студентами в рамках самостоятельной работы при подготовке к лабораторной работе и содержит используемые материалы и инструменты, описание решения практической задачи (порядок

выполнения лабораторной работы), формулы и схемы, необходимые для решения. Второй содержит описание результатов, полученных в процессе выполнения практического задания, и оформляется студентами после выполнения лабораторной работы.

Заключение, в котором должны быть представлены краткие индивидуальные выводы по результатам лабораторной работы.

Сброшюрованный отчет по лабораторной работе необходимо сдать преподавателю. Оформленный отчет является допуском к защите лабораторных работ после их выполнения.

Защита лабораторной работы

Защита лабораторной работы может проводиться в следующих форматах по усмотрению преподавателя:

- Устное собеседование с ответом на теоретические вопросы по теме лабораторной работы.
- Выполнение отдельной задачи в рамках практической части лабораторной работы.
- Письменное выполнение тестовых заданий.

При подготовке к защите лабораторной работы студенты могут опираться на контрольные вопросы к лабораторной работе.

Контрольные вопросы

- 1) Чем отличается принципиальная электрическая схема от монтажной схемы?
- 2) Какие существуют методы контроля качества соединений при проведении электромонтажных работ?
- 3) В чём состоит операция формовки выводов, с какой целью она выполняется?
- 4) Какие существуют виды монтажа? Каковы их преимущества и недостатки?
- 5) Что такое мультиметр? Опишите кратко порядок работы с мультиметром.

- 6) Что будет показывать мультиметр в режиме омметра при измерении сопротивления участка цепи, смонтированного с ошибками?
- 7) Чем отличаются выводные элементы от SMD?
- 8) Опишите типичную конструкцию печатной платы. В чём состоят функции печатных плат?
- 9) Перечислите типы выводов у электрорадиоэлементов.
- 10) Чем отличается монтажная плата от печатной?
- 11) Какие функции выполняет резистор в электрических схемах?
- 12) Что такое сопротивление? Как меняется сопротивление при последовательном и параллельном включении?
- 13) Что такое электромонтаж? Чем электромонтаж отличается от других видов монтажных работ?
- 14) Перечислите уровни представления устройства, которые связываются между собой в процессе монтажа?
- 15) Каково назначение конструкторской документации?
- 16) Перечислите основные этапы создания электронных устройств.
- 17) Чем активные компоненты отличаются от пассивных? Приведите примеры тех и других.

ЛИТЕРАТУРА

Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учебник для вузов / Билибин К. И., Власов А. И., Журавлева Л. В. [и др.] ; ред. Шахнов В. А. – 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 563 с. Режим доступа: <https://press.bmstu.ru/catalog/item/3407/>

Лазутин Ю. Д. Технология электронных средств: учебник / Ю. Д. Лазутин, В. П. Корячко, В. В. Сускин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. — 286 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – БУКВЕННО-ЦИФРОВАЯ МАРКИРОВКА РЕЗИСТОРОВ

символов номинала
бывает три или четыре

множитель стоит на
месте запятой

номинал

+

множитель

погрешность

XXXXXX

Символ	E	L	R	P	U	A	B	C	D	F	G	J	K	M	N
Погрешность, ±X%	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2	5	10	20	30

Символ	R	E	K	M	G	Г	T
Множитель	1	1	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ⁹	10 ¹²

0,33 Ом ±20%

E33M

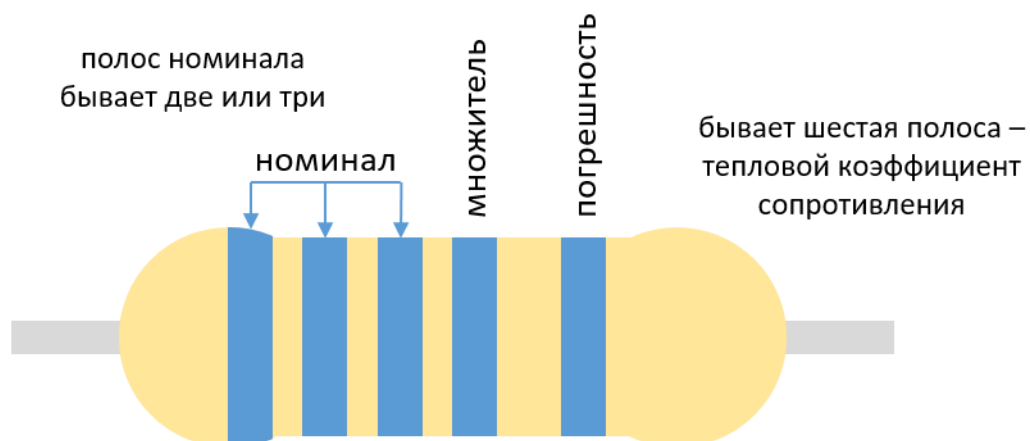
4,7 Ом ±1%

4R7F

220 МОм ±30%

220MN

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – ЦВЕТОВАЯ МАРКИРОВКА РЕЗИСТОРОВ



чёрный	0	1			
коричневый	1	10	± 1 %		
красный	2	100	± 2 %		10 кОм ± 1 %
оранжевый	3	1к			
жёлтый	4	10к			
зелёный	5	100к	$\pm 0,5$ %		220 кОм ± 1 %
синий	6	1М	$\pm 0,25$ %		
фиолетовый	7	10М	$\pm 0,1$ %		
серый	8		$\pm 0,05$ %		4,7 кОм ± 1 %
белый	9				
золотой		0,1	± 5 %		
серебряный		0,01	± 10 %		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

ГОСТ 17325-79. Пайка и лужение. Основные термины и определения: Государственный стандарт Союза ССР: дата введения 1981-01-01 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Изд. официальное. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 22 с.

ГОСТ 23887-79. Сборка. Термины и определения. Государственный стандарт Союза ССР : дата введения 1981-01-01 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Изд. официальное. – Москва : Издательство стандартов, 1986. – 19 с.

ГОСТ 24715-81. Соединения паяные. Методы контроля качества. Государственный стандарт Союза ССР: дата введения 1983-01-01 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Изд. официальное. – Москва : Издательство стандартов, 1986. – 12 с.

ГОСТ 29137-91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Межгосударственный стандарт : дата введения 1993-01-01 / Комитет стандартизации и метрологии СССР. – Изд. официальное. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 31 с.

ГОСТ 23592-96. Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Общие требования к объемному монтажу изделий электронной техники и электротехнических: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации: дата введения 2001-07-01 / Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии. – Изд. официальное. – Минск: Издательство стандартов, 2001. – 19 с.

Содержание

Предисловие.....	3
Введение.....	5
Инструкция по технике безопасности при проведении паяльных работ в лаборатории	7
Лабораторная работа № 1. Основы пайки	9
Лабораторная работа № 2. Сквозной монтаж электрорадиоэлементов на печатной плате.....	32
Литература	63
Приложение 1 – Буквенно-цифровая маркировка резисторов	64
Приложение 2 – Цветовая маркировка резисторов	65
Приложение 3 – Нормативные документы, регламентирующие выполнение электромонтажных работ	66