

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
университет систем управления и
радиоэлектроники

В. И. Туев, М. В. Андреева, О. Е. Троян

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для
студентов технических направлений подготовки и специальностей

Томск 2022

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.859я73

Т 816

Туев, Василий Иванович

Т 816 Технология производства электронных средств: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов технических направлений подготовки и специальностей/
В.И. Туев, М.В. Андреева, О.Е. Троян. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 36 с.

Представлены методические указания по проведению цикла лабораторных работ. Описания работ включают необходимый теоретический материал, рекомендации по выполнению работы и вопросы для контроля.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов технических направлений подготовки и специальностей

Одобрено на заседании кафедры РЭТЭМ протокол № 78 от 16.02.2022.

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.859я73

© Туев В.И., 2022

© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 «МОНТАЖ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ».....	4
1.1 Теоретическая часть.....	4
1.2 Подготовка к работе.....	13
1.3 Лабораторное задание.....	14
1.4 Оформление результатов работы	15
1.5 Контрольные вопросы	16
2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ПЕЧАТНОГО УЗЛА»..	17
2.1 Теоретическая часть.....	17
2.2 Подготовка к работе.....	19
2.3 Лабораторное задание.....	20
2.4 Оформление результатов работы	21
2.5 Контрольные вопросы	21
Приложение А (обязательное) Схема электрическая принципиальная	22
Приложение Б (обязательное) Перечень элементов.....	23
Приложение В (обязательное) Схема электрическая монтажная (соединений)	24
3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 «КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»	25
.....	25
3.1 Теоретическая часть.....	25
3.2 Подготовка к работе.....	28
3.3 Лабораторное задание.....	28
3.4 Оформление результатов работы	30
3.5 Контрольные вопросы	30
Приложение Г.....	32
Приложение Д.....	33
4 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ	34
4.1 Требования безопасности перед началом и окончанием работы.....	34
4.2 Требования безопасности в аварийных ситуациях	34
4.3 Порядок оформления работ.....	35
Список использованных источников	36

1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 «МОНТАЖ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ»

Целью данной лабораторной работы является закрепление материала, полученного в ходе лекционных занятий по теме «Технология производства электронных средств».

1.1 Теоретическая часть

1.1.1 Общие сведения

Пайка – образование соединения с помощью расплава припоя, при котором создаются межатомные связи после нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, смачивания их припоем, затекания припоя в зазоры и последующей его кристаллизации.

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

В таблице 1.1 приведены наиболее часто применяемые при электромонтаже припои [1]. Пайка возможна только в том случае, если припой смачивает соединяемые детали. Смачивание представляет собой молекулярное взаимодействие жидкости с поверхностью твердого тела. Оно происходит, если силы притяжения между атомами припоя и металла больше, чем между атомами внутри самого припоя. Если капля припоя не смачивает поверхность, то она имеет приблизительно сферическую форму (рис. 1.1, а). Сила сцепления припоя с поверхностью детали в этом случае минимальна, и капля припоя легко стряхивается, не оставляя следов на поверхности.

Таблица 1.1 - Марки припоя и области их применения

Наименование и марка припоя	Температура плавления,	Область применения
Оловянно-свинцовый ПОС18	277	Пайка деталей неответственного назначения из стали, меди, латуни
Оловянно-свинцовый ПОС40	235	Лужение и пайка монтажных деталей, проводов
Оловянно-свинцовый ПОС61	190	Ответственная электромонтажная пайка. Для вторичных паяк, расположенных рядом с пайками, выполненными более тугоплавкими припоями
Оловянно-свинцово-кадмиевый	145	Пайка и лужение ответственных соединений, не допускающих местного перегрева (детали из керамики, стекла и т. д., покрытые серебром)
Сплав Розе (олово, свинец, висмут)	94	Применяется в тех случаях, когда требуется понижение температуры пайки из-за опасности перегрева деталей, а также для вторичных паяк
Сплав Вуда (олово, свинец, висмут, кадмий)	60,5	Применяется в тех случаях, когда требуется понижение температуры пайки из-за опасности перегрева деталей, а также для вторичных паяк

Капля смачивающего припоя в том же объеме имеет большую поверхность соприкосновения с поверхностью детали (рис. 1.1, в); сила ее сцепления больше, и припой нельзя полностью удалить встряхиванием.

Важными свойствами припоя являются также растекаемость и способность затекать в узкие зазоры под действием капиллярных сил.

Затекание припоя в зазор - заполнение расплавленным припоем паяемого зазора.

При наличии загрязнений соединяемых поверхностей растекаемость припоя ухудшается и возможно образование несмачиваемых зон, что снижает качество пайки.

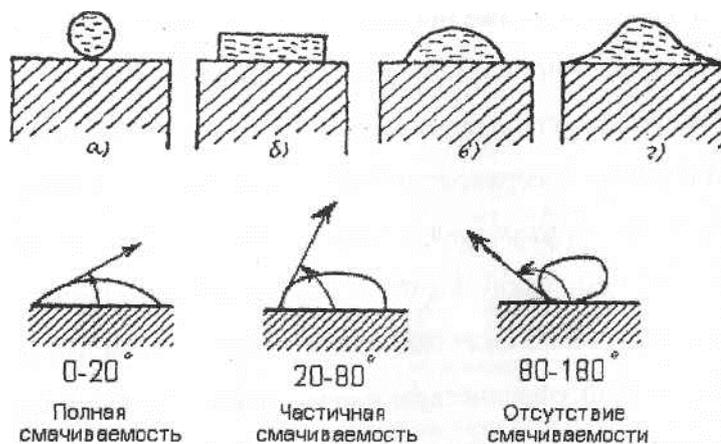


Рисунок 1.1 – Иллюстрация к смачиваемости поверхности металла

Смачиваемость поверхности металла. Подготовка поверхностей деталей, подлежащих пайке, заключается в удалении загрязнений, ржавчины, окисных и жировых пленок. На смачиваемость и растекаемость припоя существенное влияние оказывает форма шероховатостей поверхности. Если неровности образуют сеть пересекающихся канавок, то смачиваемость и растекаемость припоя будет усиливаться капиллярным действием канавок.

Таким образом, способ зачистки может оказать решающее влияние на качество пайки. Зачистку с образованием пересекающихся канавок получают наждачной шкуркой (это дает лучший результат, чем травление). Как правило, соединяемые детали перед пайкой подвергаются лужению. Лужение заключается в покрытии поверхностей соединяемых деталей тонкой пленкой припоя. Горячее лужение выполняют паяльником 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.

Для устранения пленки окислов с поверхностей металлов и припоя при пайке, защиты поверхности металлов и припоя от окисления в процессе пайки и уменьшения сил поверхностного натяжения расплавленного припоя на границе металл-припой служат специальные материалы - флюсы. Правильный выбор флюса обеспечивает качественное соединение и существенно влияет на скорость пайки. Выбранный флюс должен быть химически активен и растворять окислы паяемых элементов, термически стабилен и выдерживать температуру пайки без испарения и разложения, проявляя химическую активность в заданном интервале температур.

1.1.2 Флюсы

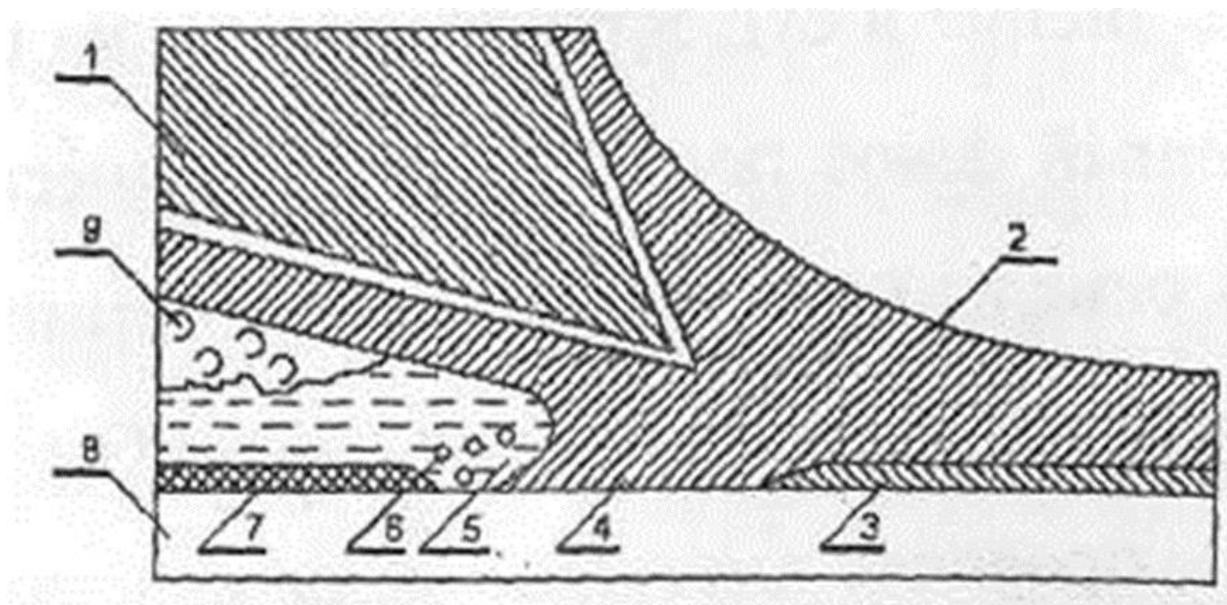
Все флюсы можно разделить на четыре группы:

1. активные или кислотные, применение которых при электрическом монтаже радиоэлектронной аппаратуры запрещено;
2. антикоррозионные;
3. бескислотные – на основе канифоли. Эта группа флюсов нашла наиболее широкое применение при электрическом монтаже. Остатки бескислотных флюсов легко удаляются спиртом. Такой флюс обладает низкой химической активностью, поэтому требует особо хорошей очистки соединяемых поверхностей от окисных пленок перед пайкой;

4. активированные – на основе канифоли, имеющие в своем составе различные катализаторы (вещества, повышающие активность флюса).

Подготовленные поверхности покрывают флюсом непосредственно перед горячим лужением или пайкой.

Схема расположения зоны лужения с помощью паяльника иллюстрируется рисунком 1.2.



1 - наконечник 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

Рисунок 1.2 – Схема зоны лужения с помощью паяльника

Механизм действия флюса (рис. 1.2) заключается в том, что окисные пленки металла и припоя под действием флюса растворяются, разрыхляются и всплывают на его поверхности. Вокруг очищенного металла образуется защитный слой флюса, препятствующий возникновению окисных пленок.

Жидкий припой замещает флюс и взаимодействует с основным металлом. Слой припоя постепенно увеличивается и при прекращении нагрева затвердевает.

Марки флюсов и области их применения приведены в таблице 1.2.

Для улучшения качества пайки и повышения производительности труда при монтаже электрических цепей рекомендуется применять трубчатый припой с канифольным наполнителем. Формы сечения трубчатых припоев показаны на рис. 1.3.

Припой представляет собой трубку из оловянносвинцового сплава, внутри которой помещен канифольный флюс. Измененная форма сердцевинки уменьшает вероятность образования пустот в трубчатом припое и перерывов в подаче флюса в процессе пайки.



Рисунок 1.3 – Трубчатый припой с флюсом

Для пайки в единичном и мелкосерийном производстве применяют паяльники. Два типа электрических паяльников представлены на рис. 1.4.

Для пайки монтажных соединений используют электрические паяльники с нагревательным элементом в виде спирали или петли из нихромовой проволоки. Требуемую мощность паяльника выбирают в зависимости от массы и марки соединяемых деталей.

Таблица 1.2 - Марки флюсов и области их применения

Тип	Марка	Состав	Область применения
Кислотные	Хлористый цинк	Водный раствор хлористого цинка	Детали из черных и цветных металлов, допускающие промывку
Антикоррозионные	ФИМ	Ортофосфорная кислота, спирт, вода	Детали из черных металлов, меди и ее сплавов, допускающие промывку в горячей воде
	ВТС	Вазелин, триэтаноламин, салициловая кислота, спирт	Монтажные соединения, детали из меди и ее сплавов, серебра, платины
Бескислотные КЭ	Канифоль	Канифоль натуральная	Для пайки монтажных соединений, деталей из цветных металлов и их сплавов
Активированные	КЕЦ	Канифоль, хлористый цинк, спирт	Для пайки черных, цветных и драгоценных металлов
	Паста №4	Канифоль, хлористый цинк, вазелин	Для соединений повышенной прочности. Детали из черных и цветных металлов, допускающие тщательную промывку

При монтаже радиоэлектронной аппаратуры припоем ПОС40 применяют паяльники мощностью 50, 75 и 120 Вт с питанием от сети переменного тока напряжением не более 36 В. Паяльники на 75 и 120 Вт используют для пайки соединений со большой массой металла (провода большого сечения, кабельные наконечники, корпусные лепестки и др.). Для пайки припоем ПОС61 применяется паяльник мощностью 35 Вт.

1.1.3 Паяльные пасты

1.1.3.1 Характеристики

Паяльная паста представляет собой однородную массу, состоящую из двух компонентов – припоя в виде порошка и флюса-связки. В автоматизированном производстве такая смесь является наиболее удобной формой применения припоя и флюса для пайки.

Физико-химические свойства припойной смеси определяются процентным содержанием связующих веществ, наличие которых обеспечивает необходимую консистенцию пасты, ее клеящие свойства и адгезию к подложке. К основным характеристикам паяльной пасты относят:

– состав компонентов (свинцовые и бессвинцовые припои, смеси с легирующими добавками и т.п.);

- размер частиц припоя по классификации IIS;
- форма частиц – определяет качество дозирования;
- вязкость – определяет способ нанесения (через трафарет или с помощью дозатора);
- паяемость – зависит от степени окисленности частиц припоя и загрязненности их поверхности.

1.1.3.2 Виды паяльных паст

Паяльные пасты классифицируются по типу флюса, припоя и температуре (рисунок 1.4).

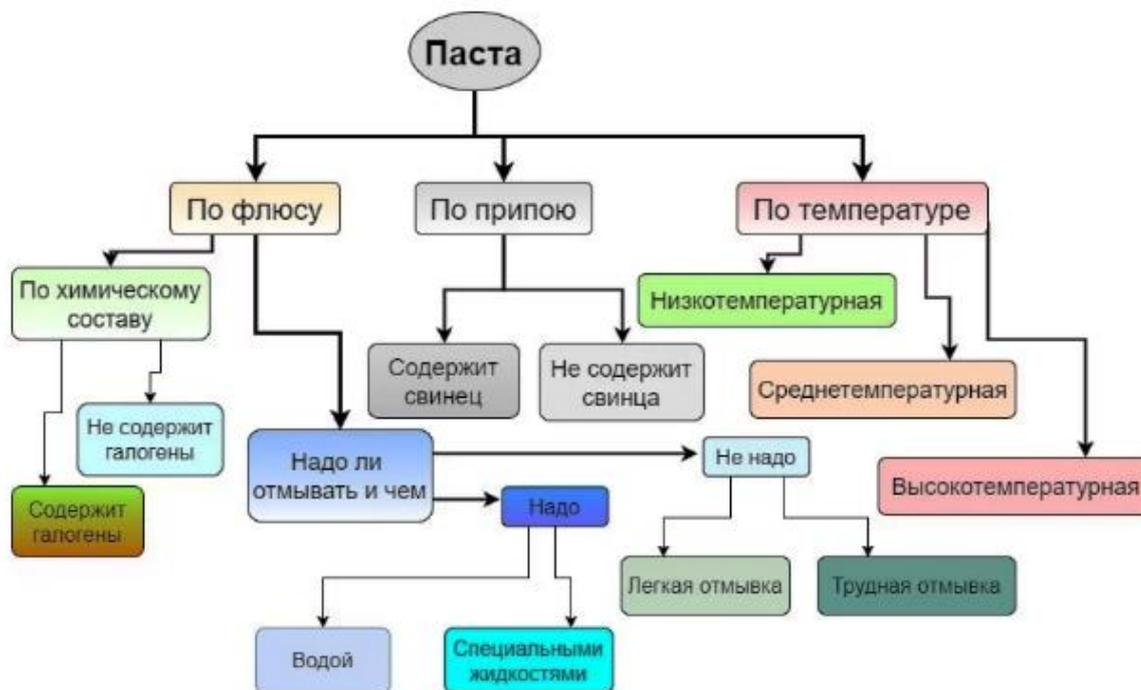


Рисунок 1.4 – Классификация паяльных паст

По типу припоя в настоящее время для изготовления электроники используют три основных разновидности сплавов:

- традиционные;
- без свинца в составе;
- рассчитанные на использование при низких температурах.

К традиционным сплавам относятся преимущественно припой с составом эвтектики олово-свинец или близкие к ним. Для технологии поверхностного монтажа рекомендуется применять паяльные пасты на основе припоя с составом Sn62/Pb32/Ag2. Добавление серебра в этот сплав позволяет сделать паяное соединение более прочным и предотвратить миграцию серебра, применяемого в изготовлении микроэлементов.

Различные виды паст отличаются между собой по активности флюса, что зависит от содержания в его составе галогенов. Активность может быть низкой (0 – 0,5%), средней (0,5 – 2,0%) и высокой (более 2,0%). Наличие в составе галогенов влияет на необходимость отмывки печатных плат после пайки. Так при низкой активности флюса отмывать их необязательно (безотмывные пасты), при средней – рекомендуется, а при высокой – обязательно.

«Водорастворимые» или «водосмываемые» пасты, как правило, содержат в своем составе органические кислоты. Их остатки удаляются с помощью поэтапного очищения поверхности. Для этого используют ультразвук или струйную промывку сначала обычной, затем дистиллированной и деионизованной водой. Безотмывные пасты изготавливаются на основе натуральных и синтетических смол. В случае их применения обязательная отмывка

не требуется, а для удаления остатков пасты можно воспользоваться только дистиллятом при температуре 55-65 градусов.

1.1.3.3 Способы нанесения

В современном производстве электроники наиболее распространены такие способы нанесения паяльной пасты как дозирование и использование трафаретов. В трафаретной печати паяльная паста наносится формовочным способом. При этом отпечатки пасты равномерно формируются на всех контактных площадках платы в один заход.

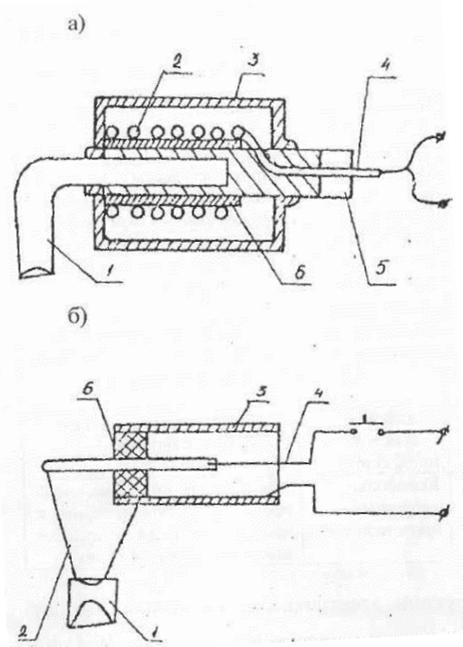
Для мелкосерийного производства электроники изготовление трафарета может быть экономически нецелесообразным. В этом случае более подходящей окажется технология дозирования. Для более удобного применения наносимые методом дозирования паяльные пасты обычно расфасованы в шприцы.

1.1.4 Паяльники и паяльные станции

1.1.4.1 Паяльники

По конструкции электрические паяльники бывают трех типов: молотковые, торцевые и Г-образные (рисунок 1.5). Все они имеют существенные недостатки: большую потерю времени на разогрев жала, окисление жала, так как оно постоянно нагрето, непроизводительный расход электроэнергии.

От этих недостатков свободен импульсный паяльник, жало которого представляет собой V-образный медный теплопровод, нагреваемый петлёй из нихромовой проволоки в течение 0,5...2 секунд, соединённый со вторичной обмоткой понижающего трансформатора.



а) паяльник с внешним обогревом; б) импульсный паяльник; 1 – медный стержень; 2 – нагреватель из нихромовой проволоки; 3 – кожух; 4 – выводы; 5 – корпус; 6 – слюдяная или асбестовая изоляция

Рисунок 1.5 – Типы электрических паяльников.

Конструктивно паяльник оформлен в виде пистолета, в кожухе которого находится трансформатор. При нажатии на курок включается в сеть первичная обмотка трансформатора, а во вторичной обмотке индуцируется ток низкого напряжения в несколько ампер и паяльник нагревается до необходимой температуры.

1.1.4.2 Паяльная станция Quick 967 (969)

На рисунке 1.6 приведен общий вид паяльной станции.



Рисунок 1.6 – Общий вид паяльной станции Quick 967 (969)

Технические характеристики цифровой паяльной станции QUICK 967 приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические характеристики цифровой паяльной станции QUICK 967

Потребляемая мощность	60 Вт
Диапазон температур	200°C-480°C
Стабильность температуры	±1°C (неподвижный воздух, нулевая нагрузка)
Статический потенциал жала	<2 мВ
Сопротивление заземления жала	<2 Ом
Размеры	170 (Д)*120 (Ш)*93 (В) мм
Вес	1,4 кг

Особенности паяльной станции QUICK 967:

- Керамический нагревательный элемент Накко936, пр-ва Японии.
- Микропроцессорная система управления обеспечивает точную установку температуры жала.
- Быстрый нагрев и мгновенная температурная компенсация при пайке.
- Режим блокировки температуры жала для обеспечения высокого качества пайки.
- Широкая номенклатура сменных жал для паяльной станции QUICK 967 ESD.

1.1.4.3 Паяльная станция Proskit SS-969

На рисунке 1.7 приведен общий вид паяльной станции.



Рисунок 1.7 – Общий вид паяльной станции Proskit SS-969

Технические характеристики:

- Температурный диапазон – от 100 до 450°C.
- Воздушный поток до 120 л/мин (вентилятор).
- Автоматическое охлаждение нагревательного элемента по окончании работы.
- Комплектуется тремя насадками типа сопло диаметром 4.5, 7.5 и 11.2 мм.
- Потребляемая мощность до 700 Вт.
- Напряжение питания 220 В.
- Габаритные размеры станции 170x170x140 мм.
- Вес 2,1 кг.

1.1.4.4 Ремонтный паяльный комплекс 2 в 1 UnionTEST UW706 ESD (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 - Ремонтный паяльный комплекс 2 в 1 UnionTEST UW706 ESD

1.1.4.5 Печь оплавления компонентов АПИК 1.0

Групповая пайка компонентов, установленных на плате может проводиться методом оплавления паяльной пасты.

В настоящей лабораторной работе оплавления паяльной пасты осуществляется в печи АПИК 1.0.

На рисунке 1.9 приведен общий вид печи

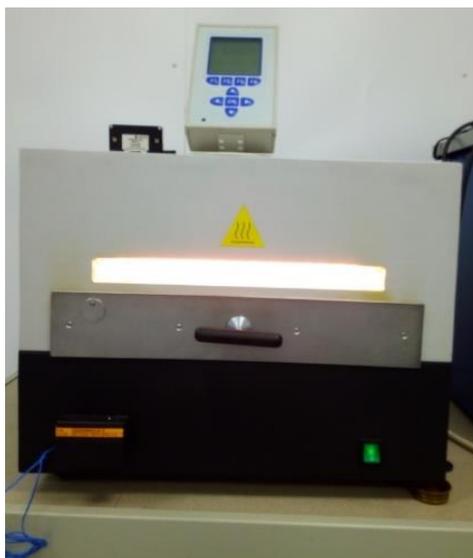


Рисунок 1.9 – ИК-конвекционная печь АПИК 1.0

Для пайки оплавлением в печи используются конвекционный нагрев, который осуществляется горячим воздухом, и ИК-нагрев.

ИК-конвекционная печь АПИК 1.0 относится к группе камерных устройств. В первом случае обработка профиля Процесс пайки осуществляется путем изменения температуры внутри камеры со временем. Как правило, максимальная температура пайки свинцовосодержащего припоя составляет 210...220°C. Плата находится в печи при максимальной температуре в течение нескольких десятков секунд, после чего производится ее охлаждение.

Временной график пайки состоит из четырех участков: предварительного нагрева, стабилизации (зоны температурного выравнивания), пайки (оплавления) и охлаждения (рисунок 1.10) [2].

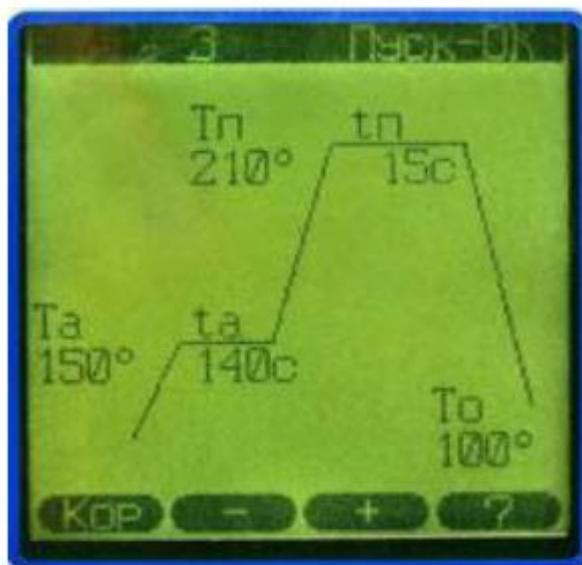


Рисунок 1.10 – Температурный график оплавления

Стадия предварительного нагрева необходима для снижения теплового удара по электронным компонентам и печатным платам. На этой стадии происходит испарение растворителя из паяльной пасты. Температура предварительного нагрева лежит в пределах 95...130° С, а скорость изменения температуры для традиционного профиля пайки составляет 2,0...4,0° С/сек. Высокая скорость предварительного нагрева может приводить к повреждению компонентов, разбрызгиванию шариков припоя, образованию перемычек. Однако если скорость предварительного нагрева низка, то может происходить окисление контактных поверхностей и частиц припоя.

Стадия стабилизации, называемая также стадией «температурного выравнивания», позволяет обеспечить равномерное распределение температур по плате. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно. Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150°C. Рекомендуемое время стабилизации составляет 90...150 сек. (максимальное – 5 мин.). В конце зоны стабилизации температура обычно достигает 150...170°C.

Стадия оплавления. Для исключения чрезмерного роста интерметаллического соединения температура пайки должна не более чем на 30...40°C превышать точку плавления паяльной пасты. Например, для наиболее распространенного свинцовосодержащего сплава ПОС-61 температура пайки должна быть в пределах 215...225°C. Низкая температура пайки обеспечивает слабую смачиваемость, особенно для компонентов с плохой паяемостью. Рекомендуемое время выдержки выше точки плавления составляет 30...60 сек. Для массивных плат время выше точки плавления может быть увеличено до 90...120 сек.

Стадия охлаждения. Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна быть определенной. Высокая скорость охлаждения может вызвать термоудар по электронным компонентам. С другой стороны, медленной охлаждение может приводить к интенсивному росту интерметаллического соединения, таким образом, паяное соединение становится более твердым, но хрупким. Рекомендуется проводить охлаждение со скоростью 3...4°С/сек. До температуры 130°С. Ниже 130°С скорость охлаждения может быть меньше, так как она уже не влияет ни на качество паяных соединений, ни на электронные компоненты.

1.1.5 Рекомендации по пайке

При проведении процесса пайки важно выдерживать необходимую температуру. Пониженная приводит к недостаточной жидкотекучести припоя и плохому смачиванию соединяемых поверхностей. Значительное увеличение температуры вызывает обугливание флюса до активации им поверхностей спая. Необходимая температура пайки T_n зависит от температуры плавления припоя $T_{пл}$ (1.1):

$$T_n = T_{пл} + (40...80)^\circ\text{C}. \quad (1.1)$$

В зависимости от теплоемкости соединения выбирают мощность паяльника. При правильно подобранной мощности падение температуры его рабочего стержня T_c не должно быть более 20...40 °С, т.е. по формуле (1.2):

$$T_c = T_n + (20...40)^\circ\text{C}. \quad (1.2)$$

Для проведения высококачественной пайки температуру рабочего стержня паяльника необходимо контролировать и, при необходимости регулировать. Для этого в промышленности применяют паяльники с автоматическим регулятором температуры или с автоматической подачей припоя.

При правильно выбранной температуре паяльника припой должен быстро плавиться, но не стекать с рабочей части паяльника (жала), а канифоль должна не сгорать мгновенно, а оставаться на жале в виде кипящих капелек.

Качество монтажных соединений во многом зависит от правильности заточки жала паяльника. Наиболее удобной формой жала считается четырехгранная. Поверхность должна быть ровной, без раковин, очищенной от нагара и хорошо облуженной.

Пайка монтажных соединений должна обеспечивать надежность электрического контакта и необходимую механическую прочность. Поверхность деталей, подлежащих пайке, перед монтажом надо подвергнуть горячему лужению предпочтительно припоем, применяемым при пайке. Припой и флюс для пайки должны выбираться в зависимости от подвергаемых пайке материалов, допускаемого нагрева элементов монтажа и рабочих температур. В качестве основных следует применять припои марок ПОС 61 и ПОС 61М. В качестве основного флюса - 30-процентный' раствор канифоли марок А и В в спирте, или кусковую сосновую канифоль марки А и Б. Количество флюса, наносимого на место пайки - минимальное. Обильное смачивание флюсом недопустимо. Время пайки и лужения выводов электрорадиоэлементов не должно превышать значение, указанное в руководящих технических условиях на элементы конкретных типов. При отсутствии таких ограничений длительность процесса пайки или лужения не более 5 с. Поверхность паяных соединений следует очищать тканью из безворсового материала (например, хлопчатобумажной бязью) или кисточкой, смоченной спиртом или спирто-бензиновой смесью. Очищать паяные соединения надо после каждой пайки. В случае применения спирто-бензиновой смеси должны быть приняты меры, исключаяющие возможность воспламенения паров бензина.

1.2 Подготовка к работе

1.2.1. Перед началом работы ознакомится с техникой безопасности, представленной в разделе 4.

1.2.1 Ознакомится с содержанием теоретического раздела 1.1.

- 1.2.2 Ознакомиться с принципом работы паяльной станции Quick 967 (969)
- 1.2.3 Ознакомиться с принципом работы паяльной станции ProsKit SS-969.
- 1.2.4 Ознакомиться с принципом работы паяльной станции UnionTEST UW706 ESD.
- 1.2.4 Ознакомиться с принципом работы печи оплавления компонентов АПИК 1.0

1.3 Лабораторное задание

- 1.3.1 Определение времени разогрева паяльника
 - 1.3.1.1 Очистить жало паяльника от остатков флюса, нагара, следя чтобы они падали на салфетку. Салфетку утилизировать.
 - 1.3.1.2 Разместить паяльник на подставке, так, чтобы было удобно визуально наблюдать жало паяльника.
 - 1.3.1.3 Поместить на жало паяльника навеску припоя.
 - 1.3.1.4 Поместить на жало паяльника с навеской припоя каплю флюса.
 - 1.3.1.5 Включить паяльник в электрическую розетку, запустить секундомер.
 - 1.3.1.6 Наблюдать за жалом паяльника с навеской припоя и каплей флюса.
 - 1.3.1.7 Зафиксировать время испарения легкой фракции флюса. Продолжить наблюдение.
 - 1.3.1.8 Зафиксировать время вспенивания тяжелой фракции флюса. Продолжить наблюдение.
 - 1.3.1.9 Зафиксировать время расплавления навески припоя.
 - 1.3.1.10 Паяльник отключить от электрической сети.
- 1.3.2 Определение температуры расплавления флюса и припоя
 - 1.3.2.1 Очистить жало паяльника станции UnionTEST UW706 ESD от остатков флюса, нагара, следя чтобы они падали на салфетку. Салфетку утилизировать.
 - 1.3.2.2 Разместить паяльник на подставке, так, чтобы было удобно визуально наблюдать жало паяльника.
 - 1.3.2.3 Поместить на жало паяльника навеску припоя.
 - 1.3.2.4 Поместить на жало паяльника с навеской припоя каплю флюса.
 - 1.3.2.5 Включить паяльную станцию, установить температуру 200 град.
 - 1.3.2.6 Наблюдать за жалом паяльника с навеской припоя и каплей флюса.
 - 1.3.2.7 Увеличить значение температуры на 10 градусов.
 - 1.3.2.8 Повторить пункты 1.3.2.6. и 1.3.2.7 многократно.
 - 1.3.2.9 Зафиксировать температуру вспенивания тяжелой фракции флюса. Повторить пункты 1.3.2.6. и 1.3.2.7 многократно.
 - 1.3.2.10 Зафиксировать температуру расплавления навески припоя.
 - 1.3.2.11 Станцию UnionTEST UW706 ESD выключить.
 - 1.3.2.12 Построить график зависимости температуры жала паяльника от времени.
- 1.3.3 Пайка проводников паяльником
 - 1.3.3.1 Включить паяльник в электрическую сеть.
 - 1.3.3.2 Бокорезами освободить два проводника от изоляции на расстоянии 5-6 мм.
 - 1.3.3.3 Вручную сформировать очищенные от изоляции участки проводников в плотную «косичку».
 - 1.3.3.4 Нанести флюс.
 - 1.3.3.5 Визуально убедиться в разогреве жала паяльника.
 - 1.3.3.6 При готовности паяльника залудить выводы проводников прикосновением жала паяльника к проводнику и возвратно-поступательным движением вдоль оси проводника.
 - 1.3.3.7 Разместить проводники параллельно залуженными частями и спаять вместе, используя дополнительную навеску припоя.
 - 1.3.3.8 Через микроскоп визуально проверить качество пайки. Описание паяного шва занести в отчет.

- 1.3.3.9 Паяльник отключить от электрической сети.
- 1.3.4 Пайка проводников паяльной станцией UnionTEST UW706 ESD (фен).
 - 1.3.4.1 Повторить пункты 1.3.3.1 – 1.3.3.6 для второй пары проводников. Паяльник отключить от электрической сети.
 - 1.3.4.2 Включить паяльную станцию UnionTEST UW706 ESD (модуль фен). Задать рабочую температуру на 15 градусов выше значения, определенного в п. 3.2.11.
 - 1.3.4.3 Разместить проводники параллельно залуженными частями.
 - 1.3.4.4 Нанести припойную пасту. Прогреть паяемый шов воздушной струей до расплавления припоя.
 - 1.3.4.5 Через микроскоп визуально проверить качество пайки. Описание паяного шва занести в отчет.
 - 1.3.4.6 Паяльную станцию UnionTEST UW706 ESD отключить от электрической сети.
- 1.3.5 Пайка элементов поверхностного монтажа паяльником
 - 1.3.5.1 Включить паяльник в электрическую сеть.
 - 1.3.5.2 Разместить первый элемент на печатной плате поверхностного монтажа.
 - 1.3.5.3 Удерживая его от смещения пинцетом, нанести флюс на первый вывод элемента.
 - 1.3.5.4 Не убирая пинцет припаять первый вывод.
 - 1.3.5.5 Убрать пинцет, нанести флюс на другой вывод элемента, припаять второй вывод.
 - 1.3.5.6 Через микроскоп визуально проверить качество пайки. Описание паяного соединения занести в отчет.
 - 1.3.5.7 Повторить п.1.3.5.2-1.3.5.6 для других элементов.
 - 1.3.5.8 Паяльник отключить от электрической сети.
- 1.3.6 Групповая пайка элементов поверхностного монтажа в печи
 - 1.3.6.1 Нанести паяльную пасту на две контактные площадки установки первого элемента.
 - 1.3.6.2 Установить первый элемент на плату.
 - 1.3.6.3 Повторить п.1.3.6.1- 1.3.6.2 для других элементов.
 - 1.3.6.4 Задать график нагрева печи в соответствии с рисунком 1.10. Значение температуры оплавления $T_{п}$ задать на 20 градусов больше значения, определенного в п. 1.3.2.11.
 - 1.3.6.5 Поместить плату в печь.
 - 1.3.6.6 Запустить процесс оплавления. Визуально наблюдать за протекающими процессами. Описание процесса внести в отчет.
 - 1.3.6.7 Извлечь плату из печи.
 - 1.3.6.8 Через микроскоп визуально проверить качество пайки. Описание паяного соединения занести в отчет.
 - 1.3.6.9 Печь отключить от электрической сети.

1.4 Оформление результатов работы

- 1.4.1 Отчет о проделанной работе предоставляется преподавателю в бумажном виде, оформленным на листах формата А4.
- 1.4.2 Отчет должен содержать:
 - Титульный лист в соответствии с ОС ТУСУР.
 - 1.4.2.2 Время испарения легкой фракции флюса.
 - 1.4.2.3 Время вспенивания тяжелой фракции флюса.
 - 1.4.2.4 Время расплавления навески припоя.
 - 1.4.2.5 Температуру испарения легкой фракции флюса.
 - 1.4.2.6 Температуру вспенивания тяжелой фракции флюса.

- 1.4.2.7 Температуру расплавления навески припоя.
- 1.4.2.8 График зависимости температуры жала паяльника от времени.
- 1.4.2.9 Описание паяного шва паяльником.
- 1.4.2.10 Описание паяного шва станцией UnionTEST UW706 ESD.
- 1.4.2.11 Описание паяных соединений ручной пайкой.
- 1.4.2.12 График нагрева печи.
- 1.4.2.13 Описание процесса оплавления в печи.
- 1.4.2.14 Описание паяного соединения оплавлением в печи.

1.5 Контрольные вопросы

- 1.5.1 Что входит в понятие "электрический монтаж"?
- 1.5.2. Какие физические явления лежат в основе процесса пайки?
- 1.5.3. Как загрязнения соединяемых поверхностей деталей влияют на качество паяного соединения?
- 1.5.4. Каково назначение флюса? Какие требования предъявляются к флюсу для получения качественного соединения?
- 1.5.5. В чем заключается технологический процесс лужения? Каково его назначение?
- 1.5.6. Какие типы электрических паяльников вы знаете?
- 1.5.7. Для чего необходимо контролировать температуру пайки? Каким образом может осуществляться этот контроль?
- 1.5.8. Какое значение составляет допустимое время пайки и лужения выводов электрорадиоэлементов?
- 1.5.9. Каким образом можно определить качество смачивания поверхности припоем?
- 1.5.10. Что обеспечивает лучшую подготовку поверхности к пайке: механическая очистка поверхности или химическое травление?
- 1.5.11. В чем преимущество импульсного паяльника? Какие флюсы применяются при электрическом монтаже?
- 1.5.12. Что такое припой?
- 1.5.13. Какие характеристики припоя имеют наибольшее значение при пайке?
- 1.5.14. Что такое "трубчатый припой"? В чем его достоинства?
- 1.5.15. Припой какой марки наиболее часто применяется при электромонтажной пайке?
- 1.5.16. Как определяется необходимая температура нагрева паяльника?
- 1.5.17. Как определяется требуемая мощность паяльника?

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ПЕЧАТНОГО УЗЛА»

2.1 Теоретическая часть

2.1.1 Общие сведения

Целью данной лабораторной работы является закрепление материала, полученного в ходе лекционных занятий по темам: «Технология электрических соединений» и «Контроль и испытания электронных средств».

Задачами работы являются:

- разработка схемы электрической монтажной печатного узла;
- изготовление печатного узла;
- расчет значений модуля комплексной передаточной функции цепи и значений напряжений в контрольных точках в диапазоне частот;
- оформление карты режимов по переменному току.

В процессе производства электронных средств (ЭС) после технологических операций монтажа электро- и радиоизделий (ЭРИ) осуществляется контроль и испытания электронных средств. В большинстве случаев реального производства первым шагом осуществляется контроль по постоянному току. Вторым шагом осуществляется контроль значений напряжений по переменному току.

Контроль по переменному току позволяет выявить как брак монтажа (непропай – отсутствие контакта или краткое замыкание соседних проводников), так и пересортицу (установку элемента не соответствующего номинального значения), а также неисправные или пришедшие в негодность в процессе монтажа ЭРИ, которые влияют на режимы работы исключительно по переменному току. Таких элементов немало: интегральные микросхемы, биполярные и полевые транзисторы, резисторы, конденсаторы. На этом этапе контроля устройство подключают к лабораторному генератору сигналов и осуществляют измерение значений напряжения и формы сигналов в контрольных точках с последующим сравнением с заданными значениями.

Заданные значения напряжения в контрольных точках, как правило, определяются по образцовому устройству, в некоторых случаях могут быть определены расчетами.

В настоящей работе заданные значения определяются расчетным методом.

2.1.2 C – R -цепь

C – R -цепь – это устройство из двух элементов, включенных между собой как показано на рисунке 2.1.

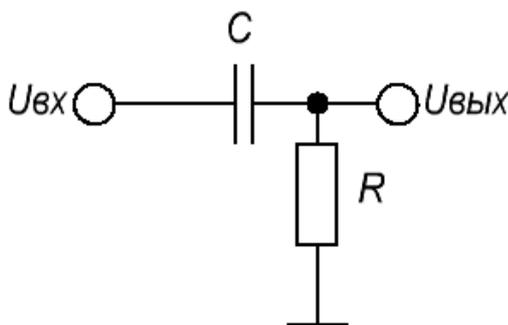


Рисунок 2.1 – C – R -цепь

В реальных устройствах C – R -цепь используется при обеспечении режима работы полупроводниковых элементов по постоянному току и в качестве фильтров верхних частот.

На рисунке 2.2 в схеме усилительного каскада на полевом транзисторе C - R -цепи образованы двумя разделительными конденсаторами C_p . Включение этих элементов в схему необходимо для исключения влияния электрических цепей слева от клеммы «Вх» и справа от клеммы «Вых» на режим работы транзистора по постоянному току. Значение « R » для C - R -цепей в этом случае для левого разделительного конденсатора определяется параллельным соединением R_1 и R_2 , а для правого – сопротивлением нагрузки, которое на рисунке 2.2. условно не показано.

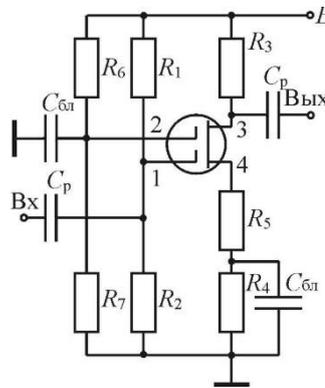


Рисунок 2.2 – Каскад усилителя на полевом транзисторе с двумя затворами

Для расчетного определения напряжения в контрольной точке цепи найдем передаточную функцию цепи, изображенной на рисунке 2.1.

Обозначим ток, протекающий в контуре, I (рисунок 2.3).

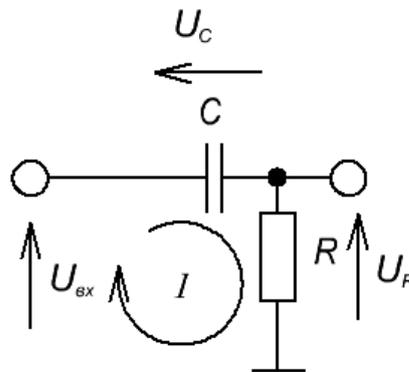


Рисунок 2.3 – Пояснения к расчету передаточной функции C - R -цепи

Падение напряжения на элементах по закону Ома определяются по формулам:

$$U_C = I \frac{1}{j\omega C}, U_R = I \cdot R, \quad (2.1)$$

где $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$;

f – частота входного переменного напряжения $U_{Bx}(t)$.

Учитывая, что $U_{Bых} = U_R$, можно записать:

$$W(j\omega) = \frac{U_{Bых}}{U_{Bх}} = \frac{I \cdot R}{U_{Bх}}. \quad (2.2)$$

Известно, что общее сопротивление цепи из двух последовательно соединенных элементов определяется суммой сопротивлений этих элементов, значение тока может быть рассчитано по формуле:

$$I = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R + \frac{1}{j\omega C}}. \quad (2.3)$$

Подставляя (1.3) в (1.2), получим

$$W(j\omega) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{I \cdot R}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \cdot \frac{R}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}}. \quad (2.4)$$

Умножив числитель и знаменатель на $j\omega C$, выражение (1.4) можно привести к виду:

$$W(j\omega) = \frac{Rj\omega C}{(R + \frac{1}{j\omega C})j\omega C} = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}; \tau = RC, \quad (2.5)$$

где τ – постоянная времени цепи.

Из формулы (2.5) следует, что передаточная функция C – R -цепи не зависит от напряжения $U_{\text{ВХ}}$ и определяется только значениями элементов, что справедливо для линейных электрических цепей.

Предположим, что входное переменное напряжение синусоидальное с амплитудой $U_{M\text{ВХ}}$ и описывается формулой:

$$U_{\text{ВХ}}(t) = U_{M\text{ВХ}} \cos(2\pi \cdot ft). \quad (2.6)$$

В соответствии с операторным методом анализа электрических цепей в данном частном случае – при входном гармоническом воздействии, выходное переменное напряжение также является синусоидальным с частотой f , но с другой амплитудой $U_{M\text{ВЫХ}}$ и дополнительной фазой φ :

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{M\text{ВЫХ}} \cos(2\pi \cdot ft + \varphi). \quad (2.7)$$

Амплитуда выходного сигнала $U_{M\text{ВЫХ}}$ определяется умножением амплитуды входного сигнала $U_{M\text{ВХ}}$ на модуль комплексной передаточной функции (2.5) на частоте f :

$$U_{M\text{ВЫХ}} = U_{M\text{ВХ}} |W(j\omega)| = U_{M\text{ВХ}} \frac{\omega\tau}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} = U_{M\text{ВХ}} \frac{2\pi f\tau}{\sqrt{1 + (2\pi f\tau)^2}}. \quad (2.8)$$

Дополнительная фаза φ (в единицах радиан) определяется аргументом передаточной функции:

$$\varphi = \text{Arg}[W(j\omega)] = \arctg\left(\frac{1}{\omega\tau}\right). \quad (2.9)$$

2.2 Подготовка к работе

2.2.1 Перед началом работы ознакомится с техникой безопасности, представленной в разделе 4.

2.2.2 Ознакомиться с содержанием теоретического раздела 2.1.

2.2.3 Ознакомиться с принципом работы мультиметра, генератора сигналов, осциллографа.

2.2.4 Подготовить листы с таблицами, для записи полученных результатов.

2.3 Лабораторное задание

2.3.1 Работа с мультиметром, генератором и осциллографом

2.3.1.1 Изучить правила и последовательность работы с мультиметром, используя руководство по эксплуатации.

2.3.1.2 Провести измерение среднеквадратического значения напряжения генератора мультиметром.

2.3.1.3 Результат измерения $U_{Изм\ ср}$ представить в виде (2.10).

$$U_{Изм\ ср} = (U_{Пок} \pm \Delta[\%]) \text{Ед.изм} \quad (2.10)$$

где $U_{Пок}$ – показания прибора;

Δ – погрешность в абсолютных либо относительных (%) значениях;

Ед.изм – единица измерения (мкВ, мВ, В, кВ).

2.3.1.4 Провести измерение амплитудного значения напряжения на выходе генератора осциллографом. Результат измерения $U_{Изм\ ам}$ представить в виде (2.11).

$$U_{Изм\ ам} = (U_{Пок} \pm \Delta) \text{Ед.изм} \quad (2.11)$$

где $U_{Пок}$ – показания вольтметра;

Δ – погрешность в абсолютных либо относительных (%) значениях;

Ед.изм – единица измерения (мкВ, мВ, В, кВ).

2.3.2 Заполнение карты режимов (расчет)

2.3.2.1 Используя расчетные формулы (2.8) – (2.9) рассчитать значение модуля комплексной передаточной функции для ряда частот.

2.3.2.2 Для значения $U_{М\ Вх} = 1$ В рассчитать значения напряжения в контрольной точке 2 для выбранного ряда частот. Данные занести в столбец «Расчет» карты режимов (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Карта режимов

Значение частоты f , Гц	Контрольная точка 1		Контрольная точка 2	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
10				
100				
1 000				
10 000				
100 000				

2.3.3 Составление схемы электрической соединений (монтажной) и изготовление печатного узла

2.3.3.1 Используя схему электрическую принципиальную (приложение А) и комплектующие, выданные преподавателем согласно перечня элементов (приложение Б), разработать схему электрическую соединений (монтажную) в соответствии с ГОСТ 2.701-2008 (приложение В).

2.3.3.2 На черновике отобразить схему соединений.

2.3.3.3 Подтвердить правильность у преподавателя.

2.3.3.4 Начертить на листе, выданном преподавателем, конечный вариант схемы соединений.

2.3.3.5 Изготовить печатный узел в соответствии со схемой электрической соединений.

- 2.3.4 Заполнение карты режимов (эксперимент)
- 2.3.4.1 Подключить печатный узел к генератору сигналов.
- 2.3.4.2 Задать на генераторе сигналов напряжение 1 В, частоту первой строки из таблицы 2.1.
- 2.3.4.3 Мультиметром измерить значения напряжения в контрольных точках КТ1 и КТ2.
- 2.3.4.4 Результаты измерений занести в таблицу 2.1.
- 2.3.4.5 Повторить пп. 2.3.4.2 – 2.3.4.4 для остальных значений частоты из таблицы 2.1.
- 2.3.4.6 Сравнить результаты расчета с экспериментом.

2.4 Оформление результатов работы

- 2.4.1 Отчет о проделанной работе предоставляется преподавателю в бумажном виде, оформленным на листах формата А4.
- 2.4.2 Отчет должен содержать:
 - 2.4.2.1 Титульный лист в соответствии с ОС ТУСУР.
 - 2.4.2.2 Результат измерения среднеквадратического значения напряжения генератора мультиметром.
 - 2.4.2.3 Результат измерения амплитудного значения напряжения на выходе генератора осциллографом.
 - 2.4.2.4 Схему электрическую соединений (монтажную) в соответствии с ГОСТ 2.701-2008.
 - 2.4.2.5 Карту режимов (таблица 2.1).

2.5 Контрольные вопросы

- 2.5.1 Какие конденсаторы в приведенной ниже схеме усилительного каскада на полевом транзисторе в схеме с общим затвором образуют $C-R$ -цепи (рисунок 2.4)?

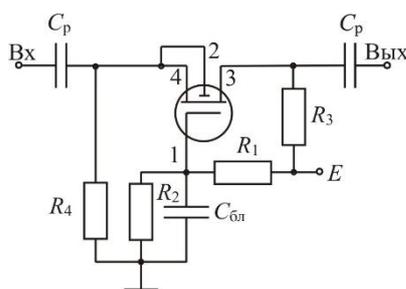


Рисунок 2.4 – Схема усилительного каскада на полевом транзисторе

- 2.5.2 Операторный метод анализа электрических цепей в частотной области. Порядок действий.
- 2.5.3 Сформулируйте закон Ома.
- 2.5.4 На сколько отличаются амплитудное и среднеквадратическое значения синусоидального переменного напряжения.

Приложение А

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная

Перв. примен.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">РЭТЭМ.хххххххххххххххх ЭЭ</div>								
Спроб. №									
Подп. и дата									
Инв. № дубл.									
Взам. инв. №									
Подп. и дата	РЭТЭМ.хххххххххххх ЭЭ								
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	RC-фильтр Схема электрическая принципиальная	Лит.	Масса	Масштаб
	Разраб.						Э		
	Проб.		Юлаева Ю.В.				Лист	Листов	1
	Т.контр.						ТУСУР		
	Н.контр.								
	Утв.								

Приложение В

(обязательное)

Схема электрическая монтажная (соединений)

Перв. примен.	7E XXXXXXXXXXWEIEd						
Справ. №							
Подп. и дата							
Инв. № дубл.							
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	РЭТЭМ.хххххх.ххх Э4		
Разраб.							
Проб.	Юлаева Ю.В.				Лит.	Масса	Масштаб
Т.контр.					3		
Схема электрическая соединений					Лист	Листов 1	
Н.контр.					ТУСУР		
Утв.							

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 «КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

3.1 Теоретическая часть

3.1.1 Общие сведения

Целью данной лабораторной работы является закрепление материала, полученного в ходе лекционных занятий по теме «Контроль и испытания электронных средств».

Задачами работы являются:

- построение и оформление схемы электрической принципиальной печатного узла;
- определение значений сопротивления резисторов по цветовой маркировке;
- измерение значений сопротивлений резисторов;
- расчет значений коэффициента передачи делителя напряжения и значений напряжений в контрольных точках;
- оформление карты режимов по постоянному току.

В процессе производства электронных средств (ЭС) после технологических операций монтажа электро- и радиоизделий (ЭРИ) осуществляется контроль и испытания электронных средств. В большинстве случаев реального производства первым шагом осуществляется контроль по постоянному току.

Контроль по постоянному току позволяет выявить как брак монтажа (непропай – отсутствие контакта или краткое замыкание соседних проводников), так и пересортицу (установку элемента не соответствующего номинального значения), а также неисправные или пришедшие в негодность в процессе монтажа ЭРИ, однако только те, которые влияют на режимы работы по постоянному току. Таких элементов немало: интегральные микросхемы, биполярные и полевые транзисторы, интегральные стабилизаторы напряжения, резисторы, диоды, стабилитроны, стабисторы. На этом этапе контроля устройство подключают к лабораторному источнику питания и осуществляют измерение значений напряжения в контрольных точках с последующим сравнением с заданными значениями. Учитывая возможные короткие замыкания в печатном узле, лабораторный блок питания устанавливается в режим стабилизации тока с численным значением, на 50-60% превышающим рабочее значение тока устройства.

Заданные значения напряжения в контрольных точках, как правило, определяются по образцовому устройству, в некоторых случаях могут быть определены расчетами.

В настоящей работе заданные значения определяются расчетным методом.

3.1.2 Резистивный делитель напряжения

Делитель напряжения – это устройство из двух резисторов R_1 и R_2 , включенных между собой как показано на рисунке 3.1.

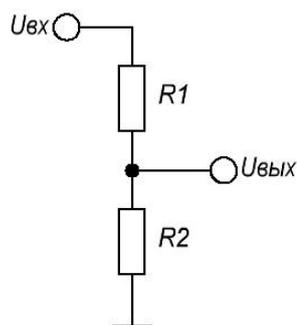


Рисунок 3.1 – Резистивный делитель напряжения

Название вытекает из функции такой цепи – делить напряжение, имеющееся на входе $U_{вх}$ в фиксированное значение раз. То есть отношение выходного напряжения $U_{вых}$ к входному $U_{вх}$, определяющее значение коэффициента передачи $K_{П}$, в этой цепи неизменно, но всегда меньше единицы:

$$K_{П} < 1 . \quad (3.1)$$

В реальных устройствах задача получения значения постоянного напряжения в фиксированное значение раз меньше исходного возникает, в частности, при обеспечении режима работы полупроводниковых элементов по постоянному току. На рисунке 3.2 в схеме усилительного каскада на полевом транзисторе напряжения постоянного тока на затворах (выводы 1 и 2) относительно общего провода обеспечиваются двумя резистивными делителями: на первом затворе – резисторами $R1$ и $R2$; на втором – резисторами $R6$ и $R7$ [3].

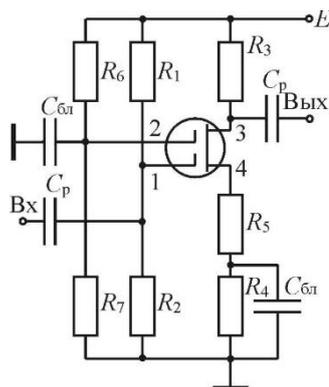


Рисунок 3.2 – Каскад усилителя на полевом транзисторе с двумя затворами

Ярким примером резистивного делителя является потенциометрический регулятор громкости, широко применяемый в бытовой звуковоспроизводящей аппаратуре (рисунок 3.3).

Меняя положение движка переменного резистора, изменяют значения верхнего $R1'$ и нижнего $R2'$ эквивалентных сопротивлений делителя. Чем ниже (по схеме) положение движка переменного резистора, тем меньше коэффициент передачи делителя и тише звук в устройстве.

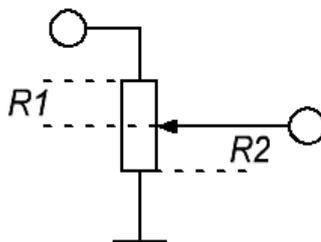


Рисунок 3.3 – Регулятор громкости с использованием переменного резистора

Для расчетного определения напряжения в контрольных точках цепи найдем передаточную функцию цепи. В данном конкретном случае цепь не содержит реактивных элементов (конденсаторы, катушки индуктивности) и доступно упрощение: вместо частотно зависимой передаточной функции $W(p)$ будет определен частотно-независимый коэффициент передачи $K_{П}$.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа алгебраическая сумма ЭДС, действующих в контуре равна алгебраической сумме падений напряжения в ветвях контура.

Обозначим ток, протекающий в контуре, I (рисунок 3.4), зададим полярность внешнего источника питания «плюсом» вверх (по схеме рисунка 3.4). и, соответственно, направление тока по часовой стрелке.

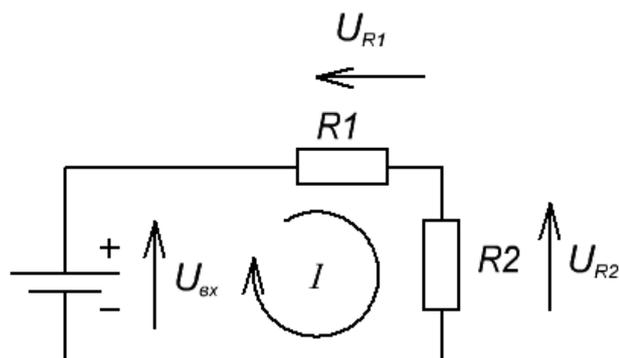


Рисунок 3.4 – Пояснения к расчету коэффициента передачи резистивного делителя

По второму закону Кирхгофа

$$U_{\text{вх}} = -U_{R1} - U_{R2} \quad (3.2)$$

Знаки напряжения внешнего источника и падений напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ определяются совпадением с направлением тока для $U_{\text{вх}}$ (в формуле 3.2 с «плюсом») и не совпадением для напряжения на резисторах $R1$ и $R2$, которые взяты с «минусом».

Падение напряжения на резисторах по закону Ома определяются по формулам:

$$U_{R1} = I \cdot R1, U_{R2} = I \cdot R2 \quad (3.3)$$

Учитывая, что $U_{\text{вых}} = U_{R2}$, можно записать:

$$K_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ввых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{I \cdot R2}{U_{\text{вх}}} \quad (3.4)$$

Известно, что общее сопротивление цепи из двух последовательно соединенных резисторов определяется суммой сопротивлений резисторов, и при параллельном соединении – суммой проводимостей. Значение тока может быть рассчитано по формуле:

$$I = \frac{U_{\text{вх}}}{R1 + R2} \quad (3.5)$$

Подставляя (3.5) в (3.4), получим

$$K_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ввых}}}{U_{\text{вх}}} = I \cdot \frac{R2}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вх}}}{R1 + R2} \cdot \frac{R2}{U_{\text{вх}}} = \frac{R2}{R1 + R2} \quad (3.6)$$

Из формулы (3.6) следует, что коэффициент передачи резистивного делителя не зависит от напряжения $U_{\text{вх}}$ и определяется только значениями сопротивлений резисторов. На практике максимальное значение $U_{\text{вх}}$ ограничено сверху и определяется мощностью, рассеиваемой на резисторах.

Действительно, при протекании тока I в схеме на рисунке 3.4 на резисторах $R1$ и $R2$ рассеивается электрическая мощность $P1$ и $P2$. Значения мощности рассчитываются по формулам:

$$P1 = I^2 R1 = \frac{U_{R1}^2}{R1}, P2 = I^2 R2 = \frac{U_{R2}^2}{R2} \quad (3.7)$$

Максимальное значение $U_{\text{вх}}$ определяется мощностью, рассеиваемой на резисторах $R1$ и $R2$. Значения мощности не должны превышать допустимую мощность рассеивания используемых резисторов.

3.2 Подготовка к работе

3.2.1 Перед началом работы ознакомиться с техникой безопасности, представленной в разделе 4.

3.2.2 Ознакомиться с содержанием теоретического раздела 3.1.

3.2.3 Ознакомиться с принципом работы мультиметра и лабораторного блока питания.

3.2.4 Подготовить листы с таблицами для записи полученных результатов.

3.3 Лабораторное задание

3.3.1 Работа с мультиметром

Изучить правила и последовательность работы с мультиметром, используя руководство по эксплуатации.

3.3.2 Провести измерение сопротивления образцового резистора, выданного преподавателем. Результат измерения $R_{изм}$ представить в виде (3.8)

$$R_{изм} = (R_{пок} \pm \Delta) \text{Ед.изм} \quad (3.8)$$

где $R_{пок}$ – показания омметра;

Δ – погрешность в абсолютных либо относительных (%) значениях;

Ед.изм – единица измерения (МОм, Ом, кОм, Мом).

3.3.3 Провести измерение. Результат измерения $U_{изм}$ представить в виде (3.9)

$$U_{изм} = (U_{пок} \pm \Delta) \text{Ед.изм} \quad (3.9)$$

где $U_{пок}$ – показания вольтметра;

$\Delta[\%]$ – погрешность в абсолютных либо относительных (%) значениях;

Ед.изм – единица измерения (мкВ, мВ, В, кВ, МВ).

3.3.4 Составление схемы электрической принципиальной и перечня элементов

3.3.4.1 Используя мультиметр и визуально оценивая расположение выводов определить цепи соединения элементов печатного узла, выданного преподавателем. На черновике отобразить схему соединений. Подтвердить правильность у преподавателя.

3.3.4.2 Разработать схему электрическую принципиальную предоставленного печатного узла в соответствии с ГОСТ 2.701-2008, ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.728-74 и ГОСТ 2.710-81 [4-7] (приложение Г).

3.3.5 Определение номинальных значений резисторов

3.3.5.1 Определить номинальные значения резисторов, размещенных на плате (рисунок 3.5), используя цветовую маркировку и обозначения.

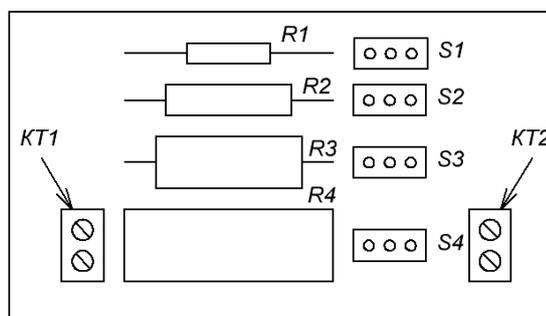


Рисунок 3.5 – Печатный узел

3.3.5.2 Значения внести в верхнюю строку таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Значения сопротивления резисторов

	$R1$	$R2$	$R3$	$R4$
Номинальное значение сопротивления				
Фактическое значение сопротивления				

3.3.5.3 Разъединив цепи печатного узла и используя омметр, определить фактические значения сопротивления резисторов, занести в нижнюю строку таблицы 3.1, сопоставить измеренные и номинальные значения. Значения номинальной мощности резисторов занести в таблицу 3.3.

3.3.5.4 Отобразить на черновике номинальные значения резисторов, установленных на печатной плате.

3.3.5.5 Составить перечень элементов предоставленного печатного узла в соответствии с ГОСТ 2.701-2008 (приложение Д).

3.3.6 Заполнение карты режимов (расчет).

3.3.6.1 Используя расчетные формулы (3.1) – (3.6) рассчитать значения коэффициента передачи делителя для трех вариантов:

- $S1, S4$ замкнуты; $S2, S3$ разомкнуты;
- $S1, S2, S4$ замкнуты; $S3$ разомкнут;
- $S1, S2, S3, S4$ замкнуты.

3.3.6.2 Для значения $U_{ex} = 5$ В рассчитать значения напряжения в контрольной точке 2 для вариантов, указанных в подразделе 3.3.6.1. Данные занести в карту режимов (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Карта режимов

	Контрольная точка 1		Контрольная точка 2	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
$S1, S4$ замкнуты; $S2, S3$ разомкнуты				
$S1, S2, S4$ замкнуты; $S3$ разомкнут				
$S1, S2, S3, S4$ замкнуты				

3.3.6.3 Рассчитать мощность, рассеиваемую на каждом резисторе, внести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Мощность, рассеиваемая элементом

	$R1$	$R2$	$R3$	$R4$
Значения номинальной мощности резисторов				
Фактическое значение рассеиваемой мощности				
$S1, S4$ замкнуты; $S2, S3$ разомкнуты				
$S1, S2, S4$ замкнуты; $S3$ разомкнут				
$S1, S2, S3, S4$ замкнуты				

- 3.3.6.4 Сопоставить значения рассеиваемой мощности с номинальными значениями.
- 3.3.7 Заполнение карты режимов (эксперимент).
- 3.3.7.1 Подключить печатный узел к источнику питания.
- 3.3.7.2 Задать на лабораторном источнике питания напряжение 5 В.
- 3.3.7.3 Мультиметром измерить значения напряжения в контрольных точках КТ1 и КТ2 (рисунок 4.1) для комбинаций переключателей, указанных в таблице 3.3.
- 3.3.7.4 Результаты измерений занести в таблицу 3.2.
- 3.3.7.5 Сравнить результаты расчета с экспериментом.

3.4 Оформление результатов работы

- 3.4.1 Отчет о проделанной работе предоставляется преподавателю в печатном виде, оформленным на листах формата А4.
- 3.4.2 Отчет должен содержать:
- 3.4.3 Титульный лист в соответствии с ОС ТУСУР.
- 3.4.4 Результат измерения сопротивления образцового резистора.
- 3.4.5 Результат измерения напряжения на выходе блока питания
- 3.4.6 Схему электрическую принципиальную предоставленного печатного узла.
- 3.4.7 Таблицу 1 – Значения сопротивления резисторов
- 3.4.8 Перечень элементов предоставленного печатного узла в соответствии с ГОСТ 2.701-2008.
- 3.4.9 Таблицу 2 – Карта режимов
- 3.4.10 Таблицу 3 – Мощность, рассеиваемая элементом
- 3.4.11 Выводы

3.5 Контрольные вопросы

- 3.5.1 Какие резисторы в приведенной ниже схеме усилительного каскада на полевом транзисторе в схеме с общим затвором образуют резистивный делитель напряжения?

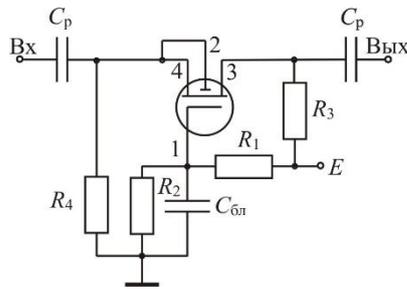


Рисунок 3.6 – Схема усилительного каскада на полевом транзисторе

3.5.2 Сформулируйте второй закон Кирхгофа.

3.5.3 Сформулируйте закон Ома.

3.5.4 Чем отличаются понятия номинальное и фактическое значения сопротивления резистора.

3.5.5 Чем отличаются понятия номинальное и фактическое значения рассеиваемой мощности резистора.

3.5.6 Определите максимальное значение напряжения $U_{\text{вх}}$ для устройства, предоставленного на рисунке 4.1.

Приложение Д
(обязательное)
Перечень элементов

	<i>Поз. обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>						
<i>Перв. примен.</i>										
<i>Справ. №</i>										
<i>Подп. и дата</i>										
<i>Инд. № изд.</i>										
<i>Взам. инв. №</i>										
<i>Подп. и дата</i>										
		<i>РЭТЭМ.ххххххх.ххх ПЭЗ</i>								
	<i>Изм. Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>						
<i>Инд. № табл.</i>	<i>Разраб.</i>									
	<i>Проб.</i>									
	<i>Н.контр.</i>									
	<i>Утв.</i>									
		<i>Перечень элементов</i>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><i>Лит.</i></td> <td style="width: 33%;"><i>Лист</i></td> <td style="width: 33%;"><i>Листов</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Э</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	Э		1
<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>								
Э		1								
		<i>Копиробал</i>		<i>ТУСУР</i>						
				<i>Формат А4</i>						

4 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Перед началом лабораторных работ студенты должны получить инструктаж по технике безопасности в лаборатории и ознакомиться с правилами эксплуатации приборов и другого оборудования, используемого при выполнении работ. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия. После проведения инструктажа студент расписывается в регистрационном журнале о том, что он ознакомлен с правилами безопасной работы в лаборатории и обязуется их выполнять. Студенты, не прошедшие инструктаж к работе не допускаются. Студенты, замеченные в нарушении настоящих правил, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

4.1 Требования безопасности перед началом и окончанием работы

Каждый студент должен:

- Знать расположение щита электропитания напряжением 220 В, частотой 50 Гц для того, чтобы в случае необходимости быстро отключить питание от лабораторных установок.
- Изучить описание лабораторной работы и инструкции к используемым приборам.
- Ознакомиться с макетом установки.
- Проверить наличие заземления на каждом приборе, подлежащем заземлению. В случае отсутствия заземления сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией;

Запрещается:

- Включать в сеть приборы, вращать ручки настройки без разрешения преподавателя.
- Переставлять приборы из установки;
- Разбирать схемы, вскрывать приборы и т.д.
- Начинать проведение эксперимента без разрешения преподавателя.
- Загромождать рабочее место и установку одеждой, сумками и др. посторонними предметами.

Перед началом эксперимента получить допуск у преподавателя.

В присутствии преподавателя включить приборы, входящие в установку, в соответствии с инструкциями к приборам и описанием лабораторной работы. Если приборы не работают, сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.

При нарушении нормальной работы прибора (сильное зашкаливание, характерный запах горелого и т.п.) немедленно отключить прибор и сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.

Запрещается:

- Работать с незаземленными и неисправными приборами.
- Самим проводить устранение неисправностей.
- Оставлять без наблюдения включенные приборы.

Если работа выполнена полностью и правильно, то по указанию преподавателя выключить приборы в соответствии с инструкцией и привести в порядок рабочее место.

4.2 Требования безопасности в аварийных ситуациях

При появлении запаха гари, дыма или возгорания принять меры по обнаружению источника возгорания и его ликвидации;

В случае пожара обесточить помещение, вызвать по телефону 01 пожарную охрану, произвести эвакуацию людей, сообщить администрации о случившемся и приступить к тушению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения;

В случае поражения человека электрическим током, необходимо быстро освободить пострадавшего от действия тока. Вызвать врача. Если пострадавший находится без сознания, то нужно привести его в сознание, давая нюхать нашатырный спирт, если пострадавший плохо дышит, начать делать искусственное дыхание и массажсердца и продолжать их делать до прибытия врача;

В случае затопления помещения водой необходимо обесточить помещение, вызвать сантехника, вынести ценное оборудование и при необходимости сообщить администрации о случившемся.

4.3 Порядок оформления работ

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен наблюдать за ходом эксперимента, отмечая все его особенности: изменение цвета, тепловые эффекты, выделение газа и т.д. Результаты наблюдений записывают в протокол, придерживаясь определенной последовательности:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- краткая теория;
- результаты эксперимента;
- оценка погрешности измерений;
- выводы по результатам работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Христюков, В. Г. «Основы технология РЭС», «Технология РЭС», «Технология поверхностного монтажа», «Технологические процессы и производства», «Технология ЭВС-2»: Практикум [Электронный ресурс] / В. Г. Христюков. — Томск: ТУСУР, 2012. – 177 с.
2. Исследование процесса конвекционной пайки ЧИП-компонентов свинецсодержащими и бессвинцовыми материалами [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – сост. А. В. Архипов, Б. Н. Березков, Электрон. текстовые и граф. дан. (0,53 Мбайт). - Самара, 2011.
3. Проектирование радиоэлектронных средств по критериям нелинейности: учеб. / В.И. Туев. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2019. – 119 с. ISBN 978-5-86889-851-8
4. ГОСТ 2.701-2008 Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. М.: Стандартиформ, 2009. – 14 с.
5. ГОСТ 2.755-87 Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. М.: Стандартиформ, 2004. – 11 с.
6. ГОСТ 2.710-81 Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. М.: Стандартиформ, 1981. – 11 с.
7. ГОСТ 2.728-74 Обозначения условные графические в электрических схемах. Резисторы, конденсаторы. М.: Стандартиформ, 1974. – 12 с.