

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии

ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ

Методическое пособие
к практическим занятиям
для студентов специальностей
1-36-04-01 «Электронно-оптические системы и технологии»,
1-39-02-02 «Проектирование и производство РЭС»,
1-39-02-03 «Медицинская электроника»
всех форм обучения

Минск БГУИР 2010

УДК 621.396.69(076.5)

ББК 32.844-04я73

Л22

Авторы:

В. Л. Ланин, Н. С. Собчук, А. М. Русецкий, Г. М. Пипко

Рецензент:

профессор кафедры микро- и наноэлектроники БГУИР

Б. С. Колосницын

Л22

Электромонтажные работы : метод. пособие к практ. занятиям для студ. спец. 1-36-04-01 «Электронно-оптические системы и технологии», 1-39-02-02 «Проектирование и производство РЭС», 1-39-02-03 «Медицинская электроника» всех форм обучения / В. Л. Ланин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2010. – 64 с.

ISBN 978-985-488-563-6.

Включает теоретический материал для ознакомления с конструкциями и параметрами электронных компонентов: резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и интегральных микросхем, а также практические рекомендации по освоению навыков сборки и монтажа электронных модулей.

УДК 621.396.69(076.5)

ББК 32.844-04я73

ISBN 978-985-488-563-6

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2010

Содержание

Практическое занятие №1 Резисторы. Освоение монтажных операций сборки каскадов на резисторах.....	4
Практическое занятие №2 Конденсаторы. Освоение монтажных операций изготовления каскадов на конденсаторах.....	16
Практическое занятие №3 Диоды. Освоение монтажных операций изготовления модулей на диодах.....	26
Практическое занятие №4 Транзисторы и устройства на транзисторах	36
Практическое занятие №5 Интегральные микросхемы и устройства на интегральных микросхемах.....	45
Практическое занятие №6 Паяльники и паяльные станции	55
Литература	64

Практическое занятие №1

РЕЗИСТОРЫ. ОСВОЕНИЕ МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ СБОРКИ КАСКАДОВ НА РЕЗИСТОРАХ

Цель работы: изучение классификации резисторов, их типов, обозначения, маркировки, параметров, области применения и получение практических навыков их использования в радиоэлектронных цепях.

1.1. Теоретические сведения

Для выбора и применения резисторов в конструкциях радиоэлектронных приборов их классифицируют по характеру изменения сопротивления, назначению и материалу резистивного элемента (рис. 1.1).

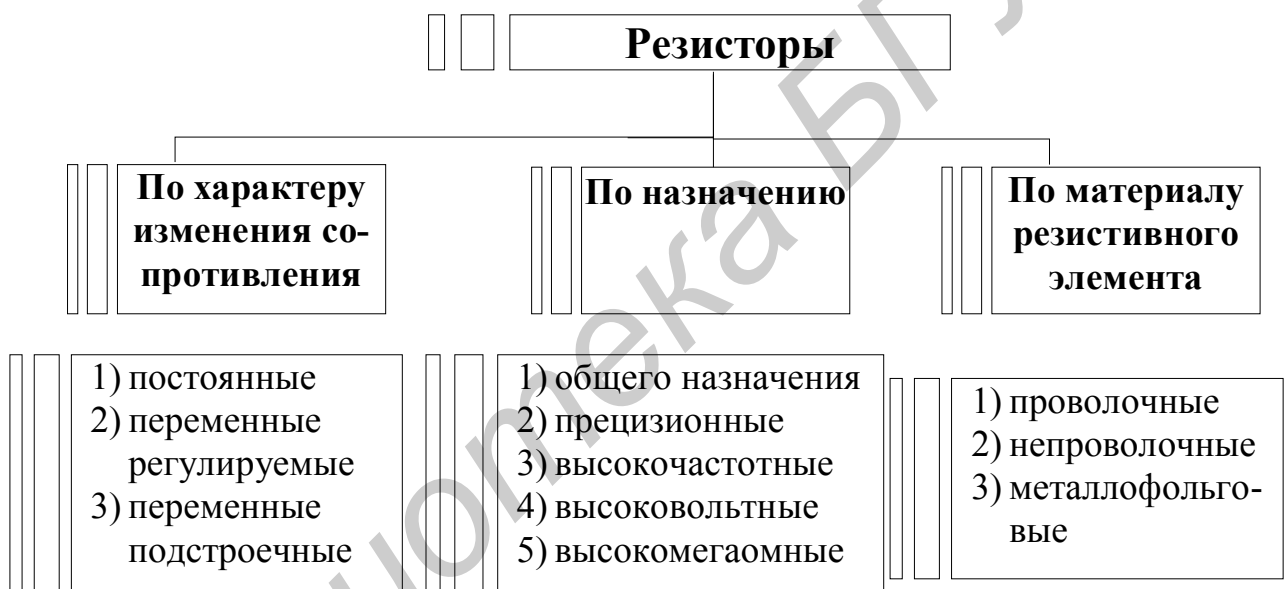


Рис. 1.1. Классификация резисторов

Непроволочные резисторы в зависимости от токопроводящего слоя в свою очередь подразделяются на металлодиэлектрические, металлоокисные, металлизированные, углеродистые, бороуглеродистые, лакопленочные, керметные, на проводящей пластмассе.

В соответствии с ГОСТ сокращенное обозначение резисторов состоит из трех элементов (табл. 1.1). Полное условное обозначение резисторов состоит из сокращенного, после которого для постоянных резисторов указывают номинальную мощность рассеяния, номинальное сопротивление, допустимое отклонение сопротивления в процентах, группу по уровню шумов (для непроволочных резисторов), группу по температурному коэффициенту сопротивления, обозначение климатического исполнения.

Система условных обозначений резисторов

Элемент			Пример обозначения
первый	второй	третий	
Р – резисторы постоянные	1 – непроволочные 2 – проволочные	Порядковый номер разработки конкретного типа транзистора	Р1-26 (постоянный непроволочный резистор с порядковым номером разработки 26)
РП – резисторы переменные	металлофольговые		
ТР – терморезисторы с отрицательным ТКС	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	ТР-7 (терморезистор с отрицательным номером разработки 7)
ТРП – терморезисторы с положительным ТКС			
ВР – варисторы постоянные			
ВРП – варисторы переменные			

Например, постоянный непроволочный резистор с регистрационным номером 4, номинальной мощностью рассеяния 0,5 Вт, номинальным сопротивлением 10 кОм, допуском 1 %, группой по уровню шумов А по ТКС-Б климатического исполнения В обозначается Р1-4-0,5-10 кОм 1 % А-Б-В ОЖО.467.157 ТУ.

Для переменных резисторов указывают мощность рассеяния, номинальное сопротивление, допустимое отклонение сопротивления в процентах, функциональную характеристику (для непроволочных), обозначение конца вала и длины выступающей части вала (ВС-1 характеризует сплошной гладкий вал, ВС-2 – сплошной со шлицем, ВС-3 – сплошной с лыской, ВС-4 – сплошной с двумя лысками, ВП – полный гладкий, ВП-2 – полный с лыской). Например, переменный непроволочный счетверенный резистор с регистрационным номером 33, варианта конструктивного исполнения Д с параметрами и характеристиками в указанной выше последовательности, видом конца вала ВП-1, длиной выступающей части вала 32 мм обозначается РП1-33Д 0,124-3,3 кОм 20 % А ВП-1-32 ОЖО.468...ТУ.

Однако на практике еще используются резисторы, выпущенные до 1980 г. Они имели следующую систему обозначений:

1. МЛТ (ОМЛТ) – металлопленочные лакированные теплостойкие; МОН – металлоокисные низкоомные.
2. УЛМ – углеродистые лакированные малогабаритные.
3. МТ – металлизированные теплостойкие.
4. ВС – углеродистые влагостойкие.
5. КИМ – композиционные изолированные малогабаритные.
6. КММ – композиционные мегаомные малогабаритные.
7. КВМ – композиционные вакуумные мегаомные.
8. ПКВ – проволочные керамические влагостойкие.

9. ППВ – проволочные переменные бескаркасные.

10. СПО – резисторы переменные объемные.

11. ЮС – юстированные и т. д.

В старой системе первый элемент обозначался так: С – резисторы постоянные; СП – резисторы переменные; СТ – терморезисторы; СН – варисторы. Второй элемент, как и в новой системе, был цифровой, но с более подробной детализацией по виду материала резистивного элемента: 1 – углеродистые и бороуглеродистые; 2 – металлодиэлектрические и металлоокисные; 3 – композиционные пленочные; 4 – композиционные объемные; 5 – проволочные.

Параметры резисторов

Под **номинальной мощностью** (P_H) понимается наибольшая мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы (наработки) при сохранении параметров в установленных пределах. Мощность зависит от конструкции резисторов, физических свойств материалов и температуры окружающей среды (рис. 1.2), по которой выбирается электрическая нагрузка.

Конкретные значения номинальных мощностей рассеяния в ваттах устанавливаются согласно ГОСТ 10318 – 80 и выбираются из ряда 0,01; 0,025; 0,05; 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 160; 250; 500.

Рабочее напряжение резистора находится из выражения

$$U \leq (P_H \cdot R_H)^{1/2}, \quad (1.1)$$

где P_H и R_H – соответственно номинальные мощность и сопротивление резистора.

Однако при больших номинальных сопротивлениях это напряжение может достигать таких значений, при которых возможен пробой. Поэтому для каждого типа резистора с учетом его конструкции устанавливается предельное рабочее напряжение $U_{\text{пред}}$.

Номинальное сопротивление (R_H) – электрическое сопротивление, значение которого обозначено на резисторе, указано в нормативной документации и является исходным для отсчета отклонений от этого значения. Номинальное сопротивление резисторов стандартизовано для постоянных резисторов.

Согласно ГОСТ 2825 – 67 установлено шесть рядов: E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318 – 80 установлен ряд Eб. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале (табл. 1.2).

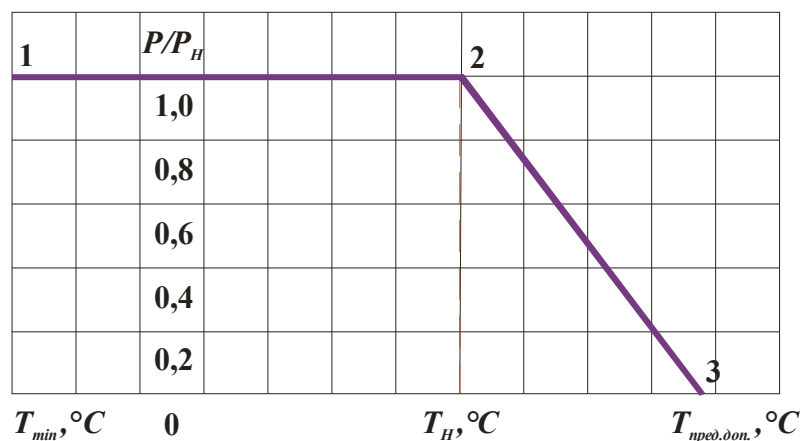


Рис. 1.2. Зависимость рассеиваемой мощности от температуры окружающей среды

Таблица 1.2

Номинальные значения по рядам

Ряд	Числовые значения
E6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8
E12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8
E24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

Ряды E представляют собой геометрическую прогрессию со знаменателем Q_n , равным: для ряда E6 $Q_6 = 1,47$; для E12 $Q_{12} = 1,21$; для E24 $Q_{24} = 1,1$; для E48 $Q_{48} = 1,0$; для E96 $Q_{96} = 1,025$; для E192 $Q_{192} = 1,012$.

Геометрическая или кратная прогрессия есть последовательность чисел (A_1, A_2, A_3, \dots), в которой отношение Q любых двух последовательных чисел есть величина постоянная и называется знаменателем прогрессии.

Номинальные сопротивления в каждой декаде, соответствующие указанным в табл. 1.2 числам, получены умножением либо делением их на 10 в степени n , где n – целое положительное или отрицательное число.

Действительные значения сопротивлений резисторов вследствие погрешностей изготовления могут отличаться от номинальных. Разница между номинальным и действительным сопротивлениями, выраженная в процентах по отношению к номинальному сопротивлению, называется допустимым отклонением от номинального. Согласно ГОСТ 9664 – 74 установлен ряд допусков в процентах: $\pm 0,001$; $\pm 0,002$; $\pm 0,005$; $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 .

Температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) называется величина, характеризующая относительное изменение сопротивления при изменении температуры на один градус Кельвина или Цельсия. ТКС характеризует обратимое изменение сопротивления резисторного элемента вследствие изменения температуры окружающей среды как изменение электрической нагрузки.

Чем выше ТКС, тем лучшей температурной стабильностью обладает резистор. Значения ТКС прецизионных резисторов лежат в пределах от единиц до $0,0001 \text{ 1/}^\circ\text{C}$, а резисторов общего назначения – от десятков до $0,002 \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Значения ТКС некоторых типов резисторов приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Температурный коэффициент сопротивления резисторов

Резисторы	ТКС, $1/^\circ\text{C}$
Углеродистые общего применения	$(-5 \dots -20) \cdot 10^{-4}$
Бороуглеродистые	$(-1,2 \dots -2,5) \cdot 10^{-4}$
Металлодиэлектрические: общего применения P(МЛТ, МТ, С2-6)* прецизионные P(С2-13, С2-14, С2-15)	$(7 \dots 16) \cdot 10^{-4}$ $(0,25 \dots 6) \cdot 10^{-4}$
Композиционные: объемные P(ТВО, С;-2), РП(СПО) лакопленочные P(КИМ, КВМ, КЛМС3-5, С3-6)	$(-20 \dots +6) \cdot 10^{-4}$ $(10 \dots 25) \cdot 10^{-4}$
Проволочные: общего применения (постоянные и переменные) точные и прецизионные	$(-5 \dots +20) \cdot 10^{-4}$ $(0,15 \dots 1,5) \cdot 10^{-4}$

* В скобках указано старое обозначение резисторов

Различают **собственные шумы** и **шумы скольжения**. Собственные шумы резисторов складываются из тепловых и токовых шумов. Их возникновение связано с тепловым движением свободных электронов и прохождением электрического тока. Собственные шумы резисторов тем выше, чем больше температура и напряжение. Высокий уровень шумов резисторов ограничивает чувствительность электронных схем и создает шумы при воспроизведении полученного сигнала.

Собственные шумы резисторов измеряют действующим значением ЭДС шумов и выражают в микровольтах на вольт приложенного напряжения. Значение ЭДС шумов большинства типов непроволочных резисторов – от долей единиц до десятков микровольт на вольт.

По уровню шумов для приложенного напряжения 1 В непроволочные резисторы делят на 2 группы: А – резисторы, уровень шумов которых менее 1 мкВ/В ; и группа Б – резисторы, уровень шумов которых менее 5 мкВ/В в полосе частот $60 \text{ Гц} \dots 6 \text{ кГц}$.

Шумы скольжения (вращения) присущи переменным резисторам. Они возникают в динамическом режиме при движении подвижного контакта по резистивному элементу в виде напряжения помех. В приемных устройствах эти помехи приводят к различным шорохам и трескам. Уровень шумов перемещения значительно превышает уровень тепловых и токовых шумов. Даже для сравнительно хороших непроволочных переменных резисторов напряжение

шумов вращения может достигать десятков милливольт (15...50 мВ). ЭДС шумов некоторых типов резисторов приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

ЭДС шумов резисторов

Резисторы	ЭДС шумов, мкВ/В
Углеродные общего применения Р (ВС)*	1,5
Бороуглеродистые Р (БЛП)	0,5
Металлодиэлектрические: общего применения Р (МЛТ, МТ, С2-6) прецизионные Р (С2-13, С2-14, С2-15)	1,5 1
Композиционные: объемные Р (ТВО, С4-2), РП (СПО) лакопленочные Р (КИМ), РП (СП)	3, 5, 10, 25, 45 3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40

* В скобках указано старое обозначение резисторов.

Коэффициент напряжения характеризует степень отклонения величины сопротивления в зависимости от приложенного напряжения. Он определяется относительным изменением сопротивления резистора, измеренным при испытательных напряжениях, соответствующих 10 % и 100 % его номинальной мощности рассеяния.

Значение коэффициента напряжения колеблется у различных типов резисторов от единиц до десятков процентов. Так, для композиционных мегаомных резисторов типов КЛМ, КВМ коэффициент напряжения составляет величину от +5 % до -15 %, а для резисторов КЭВ, СЗ-5 – от +10 % до -20 %.

Функциональная характеристика определяет зависимость сопротивления переменного резистора от положения подвижного контакта. Наиболее распространенные зависимости – линейная А, логарифмическая Б и обратно-логарифмическая В (рис. 1.3). Отклонения от заданной кривой регулирования определяются допусками: для РП (СП, СПО, СПЗ, СП4, СП5, др.) – от 5 % до 20 %, а для прецизионных РП (ПТП, ПЛП, ПМП) – в пределах 0,05 % ... 1 %.

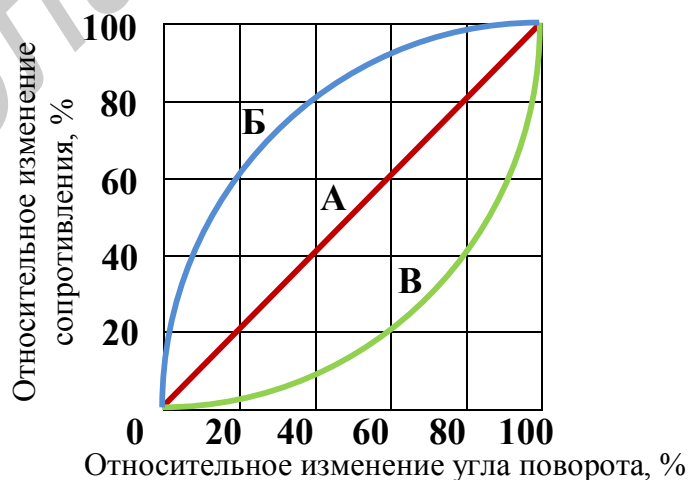


Рис. 1.3. Зависимость сопротивления переменного резистора от угла поворота контакта

Разрешающая способность показывает, какое наименьшее изменение угла поворота подвижной системы резистора может быть различимо. Разрешающая способность переменных резисторов общего применения составляет 01 % ... 3 %, однооборотных потенциометров – 0,02...0,4 %, а многооборотных – 0,001...0,2 %.

Маркировка резисторов

На резисторы наносится буквенно-цифровая (или цветовая) маркировка. Она содержит номинальную мощность, номинальное сопротивление, допуск и дату изготовления. Номинальное сопротивление обозначается цифрами с указанием единицы измерения:

- Ом (Р или Е по старому или вообще без буквы) – омы,
- кОм (К) – килоомы, МОм (М) – мегаомы,
- ГОм (G) – гигаомы, ТОм (Т) – тераомы.

Буква обозначает множитель и определяет положение запятой десятичного знака. Полное обозначение допуска состоит из цифр, а кодирование – из букв. Для наиболее распространенных допусков используется кодировка, приведенная в табл. 1.5. Маломощные композиционные и пленочные резисторы с допуском от 2 % до 20 % имеют стандартную схему цветной маркировки. При этом на резистор наносят пять цветных полосок (рис. 1.4). Первые две цветные полоски определяют первые две цифры номинального сопротивления, третья полоска – множитель, четвертая – допуск, пятая – уровень надежности (желтого или оранжевого цвета) или другие параметры.

Таблица 1.5

Кодированное обозначение номинального сопротивления, допуска и примеры обозначения

Сопротивление		Допуск		Примеры обозначения	
Множитель	Код	Допуск, %	Код	Полное обозначение	Код
1	K(E)	±0,1	B(Ж)*	3,9 Ом±5 %	3R9J
		±0,25	C(Y)	215 Ом±2 %	215RG
10 ³	K(K)	±0,5	D(D)	1 кОм±5 %	1KOJ
		±1	F(P)	12,4 кОм±1 %	12K4F
10 ⁶	M(M)	±2	G(J)	10 кОм±5 %	10KJ
		±5	J(I)	100 кОм±5	M10J
10 ⁹	G(Г)	±10	K(C)	2,2 МОм±10 %	2M2K
		±20	M(B)	6,8 ГОм±20 %	6G8M
10 ¹²	T(Т)	±30	N(Ф)	1 ТОм±20 %	1ТОМ

*В скобках указано старое обозначение



Рис. 1.4. Схема цветовой кодировки резисторов

В табл. 1.6 приведена цветовая маркировка номинального сопротивления и допуска на сопротивление резистора.

Таблица 1.6

Цветовая маркировка номинального сопротивления и допуска отечественных резисторов

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом		Допуск, %
	Цифра	Множитель	
Серебристый	—	10^{-2}	± 10
Золотистый	—	10^{-1}	± 5
Черный	0	1	—
Коричневый	1	10	± 1
Красный	2	10^2	± 2
Оранжевый	3	10^3	
Желтый	4	10^4	
Зеленый	5	10^5	0,5
Голубой	6	10^6	$\pm 0,25$
Фиолетовый	7	10^7	$\pm 0,1$
Серый	8	10^8	$\pm 0,05$
Белый	9	10^9	—

П р и м е р. Если на резисторе последовательно нанесены полосы: красного, желтого, оранжевого и золотистого цвета, то это резистор на 24 кОм с допуском 5 %.

Выбор резисторов, режимов работы, указания по монтажу

Резисторы постоянного сопротивления выбирают в зависимости от интервала рабочих и предельных температур, давления, уровня влажности, характера воздействия механических и акустических нагрузок, интенсивности проникающей радиации, вида и величины электрической нагрузки.

Для повышения надежности рекомендуется применять резисторы с двух-трехкратным запасом по мощности рассеяния относительно номинальной, хотя при работе во влажной среде необходимо нагружать резисторы максимальной мощностью, для того чтобы обеспечить испарение влаги с поверхности резистора. Для аппаратуры, работающей во влажной среде, необходимо применять

герметизированные резисторы (например С2-13, С1-8, С2-8). При эксплуатации резисторов в условиях пониженного давления возможен перегрев резисторов в результате ухудшения конвективного теплоотвода. С понижением атмосферного давления до 5 Па допустимая мощность рассеяния маломощных (0,125 ... 0,25 Вт) резисторов должна быть уменьшена на 25 % ... 40 %, а мощных резисторов (5 и 10 Вт) – на 50 % ... 60 %.

В условиях механических нагрузок резисторы следует крепить так, чтобы область рабочих частот резисторов находилась за пределами верхней границы рабочих частот вибраций. Резисторы, которые имеют спиральную навивку проводящего слоя, нельзя применять в высокочастотных цепях при частоте 1 ... 10 МГц.

Наименьшим индуктивным сопротивлением обладают пленочные резисторы и резисторы с объемным проводящим слоем. Для пленочных резисторов особенно неблагоприятна работа в условиях импульсной нагрузки, так как при прохождении импульса мощность рассеяния идет преимущественно на нагрев резистивной пленки (резисторы МЛТ, С2-13 (рис. 1.5) и др.).



Рис. 1.5. Резистор С2-13

Резисторы с объемным проводящим элементом (например ТВО, С4-2) обладают повышенной устойчивостью к импульсной нагрузке.

Выбор резисторов зависит от их значения (общего применения, точные, прецизионные, подстроечные или регулировочные) и основных параметров (номинальные мощность и сопротивление, предельное рабочее напряжение, допустимое отклонение сопротивления от номинального, стабильность параметров, габаритные размеры и масса, мощность рассеяния).

При импульсном режиме среднее значение мощности рассеяния, в ваттах, определяется соотношением

$$P_{\text{ср}} = (U_{\text{и}}^2/R) (t_{\text{и}}/T_{\text{и}}), \quad (1.2)$$

где $U_{\text{и}}$ – амплитуда импульсного напряжения, В;
 $t_{\text{и}}$ и $T_{\text{и}}$ – длительность и период следования импульсов, с.

Выбор резистора переменного сопротивления зависит от его назначения в схеме и электрической нагрузки, при которой резистор должен работать. Для обеспечения плавной регулировки громкости применяют резисторы с обратно логарифмической функциональной характеристикой (вид В) и большим диапазоном регулирования, например, переменные резисторы СПЗ-12 (рис. 1.6), СПЗ-23, СПЗ-33. В качестве регулятора тембра используют переменные



Рис. 1.6. Переменный резистор СПЗ-12

резисторы с линейной функциональной характеристикой, для регулирования напряжений питания и токов – переменные резисторы с линейной функциональной характеристикой.

Все рекомендации для выбора резисторов по мощности рассеяния такие же, как и для постоянных резисторов.

Уровень шумов скольжения резистора зависит как от качества выполнения резистора, так и от схемы включения. При работе в потенциометрическом режиме уровень шумов значительно меньше, чем при работе в реостатном режиме.

Применяемые способы монтажа и крепления резисторов должны обеспечивать необходимую механическую прочность, надежный электрический контакт и исключение резонансных явлений во время воздействия вибрационных нагрузок. В зависимости от конструктивного исполнения и условий эксплуатации резисторы могут крепиться на монтажные стойки, панели, шасси и колодки с помощью винтов, шпилек, хомутов, скоб, держателей, а также путем приклейки, заливки, пайки за выводы. Клей и компаунды для приклеивания и заливки должны обеспечивать хорошую теплопроводность, адгезию и нетоксичность к покрытиям резисторов. Крепежные приспособления не должны повреждать корпус и защитные покрытия резисторов. Устройства для крепления не должны ухудшать условий теплоотвода.

Контактирование выводов резисторов с другими элементами производится обычно пайкой или сваркой. Пайку следует производить бескислотными флюсами, при этом не должно происходить перегрева выводных узлов резистора. Допускается пайка выводов на расстояниях от корпуса меньших, чем указано в нормативной документации, при защите контактного узла от перегрева и повреждений с помощью тепловых экранов и теплоотводов, а также одноразовый изгиб проволочных и лепестковых выводов при условии защиты контактного узла от повреждений в момент изгиба. Радиус изгиба выводов должен быть не менее полуторного диаметра проволочного вывода или полуторной толщины ленточного вывода. Не допускается использовать лепестковые выводы резисторов для припайки к ним других деталей. При плотном монтаже резисторов ухудшается их теплообмен, поэтому следует уделять большое внимание правильному выбору электрических режимов и отводу тепла от резисторов. Для этого необходимо обеспечить надежный тепловой контакт резисторов, имеющих металлический кожух или корпус, с монтажной платой, панелью, шасси, располагать резисторы большой мощности ближе к периферии узла, блока; применять принудительное охлаждение. Электрическую нагрузку при полном монтаже рекомендуется устанавливать не более 0,7 от номинальной.

1.2. Практическая часть

1. Получите набор резисторов, расшифруйте их маркировку и результаты занесите в табл. 1.8.

2. С помощью цифрового вольтметра измерьте сопротивление резисторов и по формуле рассчитайте отклонение сопротивления от номинального:

$$G = (R_H - R_{\text{изм}}) / R_H, \quad (1.3)$$

где $R_{\text{изм}}$ – измеренное сопротивление резистора;

R_H – номинальное сопротивление резистора.

Результаты занесите в табл. 1.8 и сделайте выводы о точности резисторов.

1. Для каждого резистора определите рабочее напряжение и сравните его с предельным (из справочника) значением. При расчете используйте формулу (1.1). Результаты занесите в табл. 1.8.

2. Поместите резисторы в термощкаф, нагрейте до температуры 80 ... 125 °С, измерьте их сопротивление и рассчитайте температурный коэффициент сопротивления. Результаты занесите в табл. 1.8, сравните результаты с типовыми (из справочника) значениями, сделайте выводы.

3. По справочным данным определите область применения каждого резистора.

4. Постройте функциональные характеристики трех переменных резисторов и определите, к какому типу взаимосвязей они относятся.

5. Соберите заданную схему резисторного делителя напряжения (рис. 1.7), рассчитайте значения напряжений в точках А и В и рассеиваемую мощность каждого резистора. Измерьте напряжение в точках А и В. Результаты занесите в табл. 1.9, сравните с расчетными и сделайте выводы.

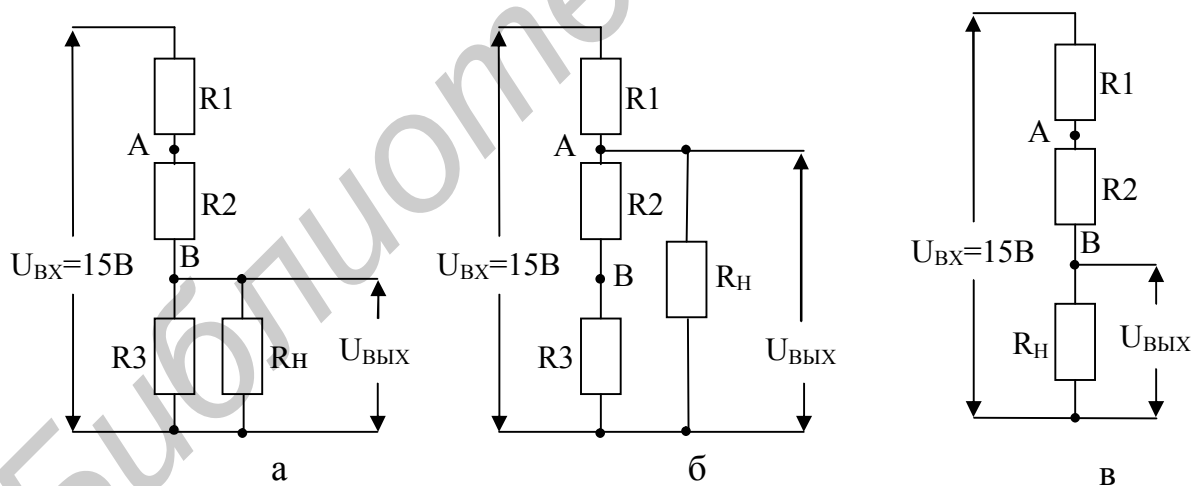


Рис. 1.7. Схемы резисторных делителей напряжения

Таблица 1.8

Параметры резисторов

Тип и обозначение резистора	Мощность, Вт	R , Ом		Допуск, %		U , В		ТКС		Область прим.
		ном.	изм.	ном.	изм.	раб.	пред.	тип.	расч.	

Таблица 1.9

Результаты расчетов и измерений

	Напряжение в точке А	Напряжение в точке В	Мощность, Вт			
			R_1	R_2	R_3	R_{Π}
Рассчитанное						
Измеренное						

1.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Типы использованных резисторов и их характеристики.
3. Основные формулы, используемые для расчетов.
4. Результаты измерений и расчетов в виде табл. 1.7 и 1.8.
5. График зависимости относительного изменения сопротивления от угла поворота вала.
6. График зависимости сопротивления резистора от температуры.
7. Выводы.

1.4. Контрольные вопросы

1. Что такое резисторы?
2. Классификация резисторов.
3. Как обозначаются резисторы?
4. Назовите основные параметры резисторов.
5. Маркировка резисторов.
6. Цветовая маркировка резисторов.
7. Номинальные ряды мощностей, сопротивление, допуск.

Практическое занятие №2

КОНДЕНСАТОРЫ. ОСВОЕНИЕ МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАСКАДОВ НА КОНДЕНСАТОРАХ

Цель работы: изучение классификации конденсаторов, их типов, обозначения, маркировки, параметров, области применения и получение практических навыков их использования в радиоэлектронных цепях.

2.1. Теоретические сведения

В основу классификации конденсаторов положено деление их на группы по виду применяемого диэлектрика и по конструктивным особенностям, определяющим использование их в конкретных цепях аппаратуры (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Условное обозначение конденсаторов в зависимости от материала диэлектрика

Подкласс конденсаторов	Группа конденсаторов	Обозначение группы
1	2	3
Конденсаторы постоянной емкости	Керамические на напряжение ниже 1600 В	10
	Керамические на напряжение 1600 В и выше	15
	Стеклянные	21
	Стеклокерамические	22
	Тонкопленочные	26
	Слюдяные малой мощности	31
	Слюдяные большой мощности	32
	Бумажные на напряжение ниже 2 кВ,	40
	Бумажные на напряжение 2 кВ и выше, фольговые	41
	Бумажные металлизированные	42
	Оксидно-электрические алюминиевые	50
	Оксидно-электрические танталовые и др.	51
	Объемно-пористые	52
	Оксидно-полупроводниковые	53
	С воздушным диэлектриком	60
	Вакуумные	61
	Полистирольные	71(70)
	Фторопластовые	72
	Полиэтилентерефталатные	73(74)
Комбинированные*	75	
Лакопленочные	76	
Поликарбонатные	77	
Полипропиленовые	78	

* Комбинированный диэлектрик состоит из определенного сочетания слоев различных материалов.

1	2	3
Подстроечные	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4
Конденсаторы переменной емкости	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4

Вид диэлектрика определяет основные электрические параметры конденсаторов: сопротивление изоляции, стабильность емкости, потери и др. Конструктивные особенности определяют характер их применения: помехоподавляющие, подстроечные, импульсные и др.

Система условных обозначений и маркировка

Условное обозначение конденсаторов может быть сокращенным и полным. Сокращенное условное обозначение состоит из букв и цифр. Первый элемент – буква или сочетание букв обозначает подкласс конденсатора: К – постоянной емкости; КТ – подстроечные; КП – переменной емкости.

Второй элемент обозначает группу конденсатора в зависимости от вида диэлектрика (табл. 2.1). Третий элемент пишется через дефис и соответствует порядковому номеру разработки. В состав второго и третьего элементов в отдельных случаях может входить также буквенное обозначение.

Для старых типов конденсаторов в основу условных обозначений брались конструктивные, технологические, эксплуатационные и другие признаки (например, КД – конденсаторы дисковые, ФТ – фторопластовые теплостойкие, КТП – конденсаторы трубчатые, проходные).

Маркировка на конденсаторах может быть буквенно-цифровая, содержащая сокращенное обозначение конденсатора, номинальное напряжение, емкость, допуск, группу ТКЕ, дату изготовления, либо цветовая. В зависимости от размеров конденсаторов применяется полные и сокращенные (кодированные) обозначения номинальных емкостей и их допустимых отклонений. Незащищенные конденсаторы не маркируются, а их характеристики указываются на упаковке.

Полное обозначение номинальных емкостей состоит из цифрового значения номинальной емкости и обозначения единицы измерения (пФ – пикофарады, мкФ – микрофарады, нФ – нанофарады).

Кодированное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включающих две или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского алфавита обозначает множитель, определяющий значение емкости и положение запятой десятичного знака. Буквы П(р), Н(н), М(μ),

Мк(m), Ф(F) обозначают множители 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-3} , 1 соответственно для значений емкости, выраженной в фарадах. Например, 2,2 пФ обозначается 2п2 (2p2), 1500 пФ – 1n5 (1n5), 0,1 мкФ – М1 (μ 1), 10 мкФ – 10М (10), 1 Ф – 1Ф0 (1F0).

Допускаемые отклонения емкости (в процентах или в пикофарадах) маркируются после номинального значения цифрами или кодом (табл. 2.2).

Таблица 2.2
Допускаемые отклонения емкости от номинального значения

Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, %	Код
±0,1	В(Ж)	-10...+30	Q-
±0,2	С(У)	-10...+50	Т(Э)
±0,5	Д(Д)	-10...+100	У(Ю)
±1	Ф(р)	-20...+50	С(Б)
±2	Г(И)	-20...+80	З(А)
±5	И(И)	Допускаемое отклонение емкости, пФ	Код
±10	К(С)		
±20	М(В)		
±30	N(Ф)		
		±0,25	С
		±0,5	Д
		±1,0	Ф

Цветовая кодировка применяется для маркировки номинальной емкости, номинального напряжения до 63 В (табл. 2.3) и группы ТКЕ (табл. 2.4, 2.5). Маркировку наносят в виде цветных точек или полосок.

Таблица 2.3
Цветовые коды для маркировки конденсаторов

Цветовой код	Номинальная емкость		Допускаемое отклонение емкости	Номинальное напряжение, В
	Первая и вторая цифры	Множитель		
Серый	—	—	—	3,2
Черный	10	1	±20 %	4
Коричневый	12	10	±1 %	6,3
Красный	15	10^2	±2 %	10
Оранжевый	18	10^3	±0,25пФ	16
Желтый	22	10^4	±0,5пФ	40
Зеленый	27	10^5	±5 %	25 или 20
Голубой	33	10^6	±1 %	32 или 30
Фиолетовый	39	10^7	-20...+50 %	50
Синий	47	10^{-2}	-20...+80 %	—
Белый	56	10^{-1}	±10 %	63
Серебряный	62	—	—	2,5
Золотой	82	—	—	1,6

Таблица 2.4

Значение ТКЕ керамических конденсаторов и их условные обозначения

Обозначение групп ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ $C \cdot 10^{-6} 1/C$	Цветовой код		
		Новое обозначение*	Старое обозначение	
			Цвет покрытия	Маркировочная точка
П 100 (120)	+100 (+120)	Красный+фиолетовый	Синий	–
П 60	+60	--	>>	Черная
П 33	+33	Серый	Серый	–
МП 0	0	Черный	Голубой	Черный
М33	–33	Коричневый	>>	Коричневый
М47	–47	Голубой+красный	>>	–
М75	–75	Красный	>>	Красный
М150	–150	Оранжевый	Красный	Оранжевый
М220	–220	Желтый	>>	Желтая
М330	–330	Зеленый	>>	Зеленая
М750 (700)	–750 (–700)	Фиолетовый	>>	–
М1500 (1300)	–1500 (–1300)	Оранжевый +	Зеленый	–
М2200	–2200	желтый + оранжевый	>>	Желтая

* В случаях когда для обозначения группы ТКЕ требуются два цвета, второй может быть представлен цветом корпуса.

Таблица 2.5

Изменение емкости керамических конденсаторов с ненормируемым ТКЕ

Условное обозначение группы	Допускаемое изменение емкости в интервале температур от +60 до +80°C	Новое обозначение *	Старое обозначение	
			Цвет покрытия	Цвет маркировочного знака
Н 10	±10	Оранжевый + черный	Оранжевый	Черный
Н 20	±20	Оранжевый + красный	>>	Красный
Н 30	±30	Оранжевый + зеленый	>>	Зеленый
Н 50	±50	Оранжевый + голубой	>>	Голубой
Н 70	–70	Оранжевый + фиолетовый	>>	Фиолетовый
Н 90	–90	Оранжевый + белый	>>	Белый

* В случаях когда для обозначения группы требуются два цвета, второй цвет может быть представлен цветом корпуса.

Номинальная емкость конденсаторов (C_n) – емкость, значение которой обозначено на конденсаторе или указано в сопроводительной документации. Фактическое значение емкости может отличаться от номинальной на величину допускаемого отклонения. Номинальные значения емкости стандартизированы и выбираются из определенных рядов чисел путем умножения или деления их на 10, где n – целое положительное или отрицательное число.

Напряжение (U_n), обозначенное на конденсаторе (или указанное в документации), при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах, называется номинальным. Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсаторов и свойств применяемых материалов. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального. Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры (как правило, более 70...85 °С) допустимое напряжение (U_t) снижается.

Тангенс угла потерь ($tg\delta$) характеризует активные потери энергии в конденсаторе. Значение тангенса угла потерь у керамических высокочастотных, слюдяных, полистирольных и фторопластовых конденсаторов лежит в пределах $(10...15) \cdot 10^{-4}$, поликарбонатных $(15...25) \cdot 10^{-4}$, керамических низкочастотных – 0,035, оксидных конденсаторов – (5...35 %), полиэтилентерефталатных – 0,01...0,012. Величина, обратная тангенсу угла потерь, называется добротностью конденсатора.

Сопротивление изоляции и токи утечки характеризуют качество диэлектрика и используются при расчетах высокоомных, время задающих и слаботоковых цепей. Наиболее высокое сопротивление изоляции у фторопластовых и полипропиленовых конденсаторов, несколько ниже у высокочастотных керамических, поликарбонатных и лавсановых конденсаторов. Самое низкое сопротивление изоляции у сегнетокерамических конденсаторов. Для оксидных конденсаторов задают ток утечки, значение которого пропорционально емкости и напряжению. Наименьший ток утечки имеют танталовые конденсаторы (от единиц до десятков микроампер). У алюминиевых конденсаторов ток утечки, как правило, на один-два порядка выше.

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) определяет относительное изменение емкости (в миллионных долях) от температуры при изменении ее на один градус Цельсия и применяется для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью емкости от температуры. Значение ТКЕ керамических конденсаторов и их кодированные обозначения приведены в табл. 2.4.

Слюдяные полистирольные конденсаторы имеют ТКЕ в пределах $(50...200) \cdot 10^{-6}$ 1/С. Для конденсаторов с другими видами диэлектрика ТКЕ не нормируется. Допускаемое значение емкости сегнетокерамических конденсаторов с нелинейной зависимостью ТКЕ приведено в табл. 2.5.

Керамические конденсаторы

В последнее время широкое применение находят конденсаторы, у которых в качестве диэлектрика используется фарфор или другая керамическая масса. Они состоят из фарфорового диска или трубки, на обеих сторонах которых нанесен металлический слой. Изготавливаются они на небольшие емкости – от 1 до 500 пФ. Они занимают мало места, очень удобны для монтажа и обладают хорошими электрическими качествами. Область их применения та же, что и слюдяных конденсаторов. Типы керамических конденсаторов приведены на рис. 2.1.

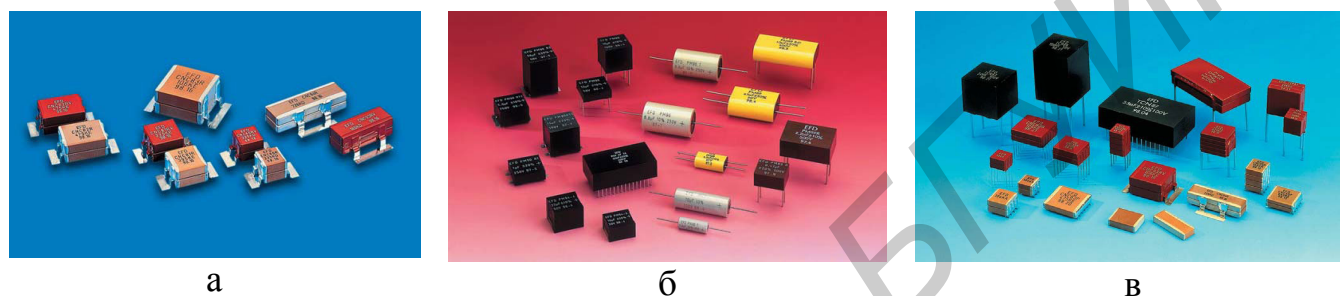


Рис. 2.1. Типы керамических конденсаторов:

а – для поверхностного монтажа; б, в – для монтажа в отверстия платы

Электролитические конденсаторы

Отличительная черта электролитических конденсаторов – их большая емкость, достигающая до нескольких десятков и даже сотен микрофарад. Обкладки электролитического конденсатора представляют собой длинные полосы алюминиевой фольги. При изготовлении (формовке) таких конденсаторов на поверхности алюминиевых пластин образуется пленка, не проводящая тока и являющаяся поэтому диэлектриком конденсатора. Так как эта пленка тонка, то емкость такого конденсатора получается большой при малых его габаритах. В промежутках помещается фильтровальная бумага, пропитанная электролитом. Полосы свернуты в плотный круглый рулон, который затем помещается в наружный корпус.

Электролитические конденсаторы обладают полярностью. Это значит, что присоединять их в схему надо определенным образом; вывод, отмеченный значком плюс, присоединяется к плюсовому концу электрической цепи, например к плюсовому проводу выпрямителя, если конденсатор используется в фильтре выпрямителя; другой вывод присоединяется к минусовому или заземленному проводу.

По величине рабочего напряжения электролитические конденсаторы могут быть разбиты на две группы: 1) высоковольтные конденсаторы с рабочим напряжением 250 ... 450 В; 2) низковольтные конденсаторы с рабочим напря-

жением 6 ... 40 В. Отклонение фактической емкости от номинала может достигать до 20 % в ту или другую сторону.

Все электролитические конденсаторы обладают довольно значительным током утечки. У высоковольтных конденсаторов он, например, достигает до 0,1 мА на 1 мкФ. Типы электролитических конденсаторов представлены на рис. 2.2.

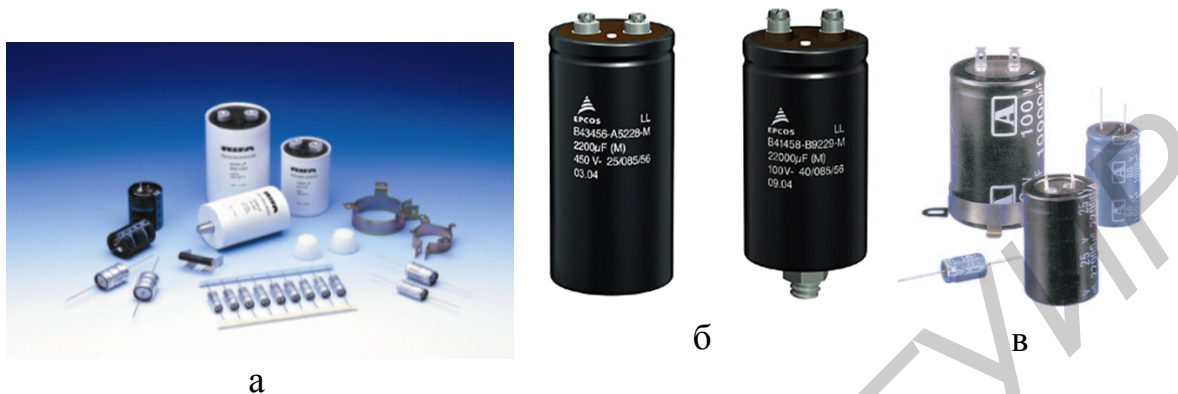


Рис. 2.2. Электролитические конденсаторы для объемного и печатного монтажа

Соединение конденсаторов

Емкости конденсаторов, необходимых для сборки по выбранной схеме, обычно указываются или на самой схеме, или в описании данного устройства. При этом следует иметь в виду, что большинство этих конденсаторов может быть взято не точно по указанным на схеме величинам, а с отклонением до 20 % в ту или иную сторону, – такие отклонения на качестве работы сказываться не будут. Но иногда может не оказаться конденсаторов нужной емкости, даже при учете допустимых отклонений. В этом случае необходимо подобрать нужную величину, соединяя два или несколько конденсаторов параллельно или последовательно.

При параллельном соединении нескольких конденсаторов общая емкость соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + C_3. \quad (2.1)$$

При вычислениях все емкости должны быть выражены в одинаковых единицах, т. е. в пикофарадах или же в микрофарадах.

При последовательном соединении двух конденсаторов общая емкость их будет меньше емкости меньшего из двух конденсаторов. Этим свойством можно воспользоваться для получения малых емкостей. Если обозначим через C_1 емкость одного из конденсаторов, а через C_2 – емкость другого, то общая емкость их будет равна

$$C = C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2). \quad (2.2)$$

Пример. Имеются два конденсатора емкостью в 200 и 300 мкФ, которые соединяются последовательно. Общая емкость их равна

$$C = 200 \times 300 / (200 + 300) = 60000 / 500 = 120 \text{ мкФ}.$$

Проверка конденсатора

Проверить конденсатор можно «на искру». Для этого конденсатор присоединяют на короткое время (1–2 с) к источнику постоянного тока (напряжение источника должно соответствовать рабочему напряжению конденсатора). Через 10–15 с после этого обкладку его замыкают накоротко куском провода. Если конденсатор не имеет большой утечки, то при таком разряде должна получиться искра, сопровождаемая сухим треском. При большой утечке такая искра будет получаться только при малых промежутках времени между зарядом и разрядом.

Потеря емкости наблюдается у старых, давно работающих конденсаторов и вызывается в основном высыханием электролита. Проверка такого конденсатора производится также «на искру». Высохший конденсатор при разряде искры не дает, даже если разряд произвести сейчас же после заряда.

Проверка конденсаторов переменной емкости

При недостаточно хорошем креплении оси подвижные пластины переменных конденсаторов могут цеплять за неподвижные. В результате этого при настройке приемника возникают сильные трески, а на некоторых участках шкалы совершенно пропадает прием. Для проверки конденсатор присоединяется к омметру или пробнику, так же, как это делается при проверке катушек. Поворачивая ротор конденсатора, определяют положение пластин, при котором происходит их касание друг с другом. В этот момент стрелка омметра или вольтметра даст отклонение, а лампочка пробника загорится. Устранить касание можно, осторожно вводя между соприкасающимися пластинами тонкую пластину. Эту операцию нужно производить с большой осмотрительностью, так как очень легко погнуть пластины и окончательно испортить конденсатор. Подстроечные конденсаторы проверяются тем же порядком.

2.2. Практическая часть

1. Получите у инженера набор конденсаторов, расшифруйте их маркировку и результаты занесите в табл. 2.6.

2. С помощью универсального измерителя (Ф-480) измерьте емкости конденсаторов и по формуле рассчитайте отклонение емкости от номинальной. Результаты занесите в табл. 2.6.

$$\delta = (C_{\text{н}} - C_{\text{изм}}) \setminus C_{\text{н}}, \quad (2.3)$$

где $C_{\text{н}}$ – номинальная емкость конденсатора,

$C_{\text{изм}}$ – измеренная емкость конденсатора.

3. Поместите конденсаторы в термошкаф, нагрейте их до температуры 80 ... 125 °С, измерьте их емкость и рассчитайте температурный коэффициент

емкости. Результаты занести в табл. 2.6. Сравните результаты с типовыми значениями, сделайте выводы.

$$\text{ТКЕ} = (C_T - C_0) / C_0 (T - T_0), \quad (2.4)$$

где C_0 – емкость при комнатной температуре T_0 ,

C_T – емкость при температуре T .

4. По справочным данным определите область применения каждого конденсатора.

5. Соберите схему интегрирующей RC -цепи, приведенной на рис. 2.3. С генератора прямоугольных импульсов подайте на вход схемы прямоугольные импульсы частотой 500 Гц, амплитудой 3–5 В и с помощью осциллографа определите их форму на выходе. Измерьте постоянную времени цепи ($\tau = R \times C$) путем определения времени спада выходного сигнала от U_{\max} до $0,37U_{\max}$. Установите, равна ли она произведению $R \times C$. Попробуйте изменять частоту прямоугольных импульсов. Зарисуйте полученные осциллограммы. Сделайте выводы.

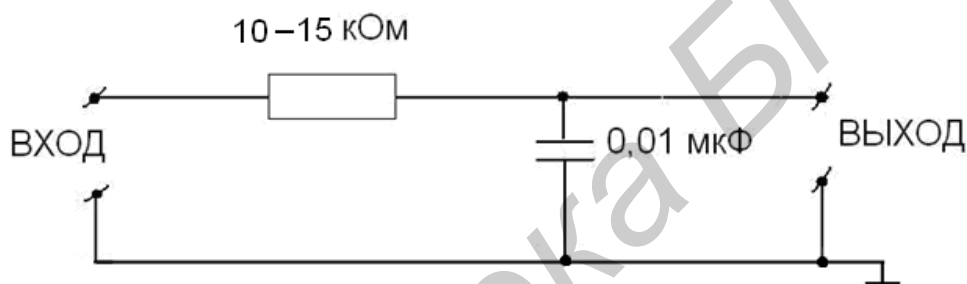


Рис. 2.3. Схема RC -цепи

Подайте на вход прямоугольные импульсы частотой 100 кГц при максимальном уровне выходного сигнала 5 В. Зарисуйте форму выходного сигнала.

1. Соберите RC -дифференцирующую цепь (рис. 2.4.). С генератора прямоугольных импульсов подайте на вход схемы импульсы с частотой 100 кГц и амплитудой 3–5 В. Зарисуйте форму выходного сигнала.

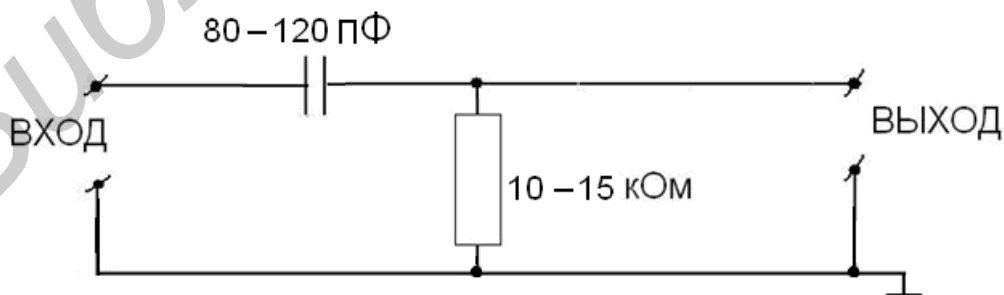


Рис. 2.4. RC -дифференцирующая цепь

Результаты измерений и расчетов

Тип и обозначение конденсатора	Знач. емкости, мкФ		Допуск, %		ТКЕ		Область применения
	номинал.	измеренное	ном.	изм.	тип.	изм.	

2.3. Содержание отчета

1. Основные формулы, используемые для расчетов.
2. Результаты измерений и расчетов в виде табл. 2.6.
3. Схемы измерений.
4. Эскизы форм сигналов на выходе интегратора и дифференциатора.
5. Выводы.

2.4. Контрольные вопросы

1. Классификация конденсаторов.
2. Как обозначаются конденсаторы на схемах?
3. Назовите основные параметры конденсаторов.
4. Цветная маркировка конденсаторов.
5. Номинальные ряды емкостей, допусков.
6. Маркировка конденсаторов.
7. Схема RC-цепи и ее назначение.
8. Дифференциатор.

Практическое занятие №3

ДИОДЫ. ОСВОЕНИЕ МОНТАЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ НА ДИОДАХ

Цель работы: изучение классификации диодов, их типов, параметров, области применения и получение практических навыков их использования в радиоэлектронных цепях.

Теоретические сведения

Диод – двухэлектродный электровакуумный, полупроводниковый или газоразрядный прибор с резко выраженной односторонней проводимостью электрического тока. Диод хорошо пропускает ток в прямом направлении и очень плохо – в обратном направлении. Диоды применяются в электро- и радиоаппаратуре для выпрямления переменного тока, детектирования, преобразования частоты, переключения электрических цепей. По назначению и характеристикам диоды делятся на выпрямительные диоды, импульсные диоды, стабилитроны, диоды СВЧ, фотодиоды, светоизлучающие диоды, диоды Шоттки, туннельные, лазерные диоды, варикапы. Все они работают на основе использования свойств р-n-переходов и контакта металл–полупроводник. Большинство диодов имеют вольт-амперную характеристику, показанную на рис. 3.1.

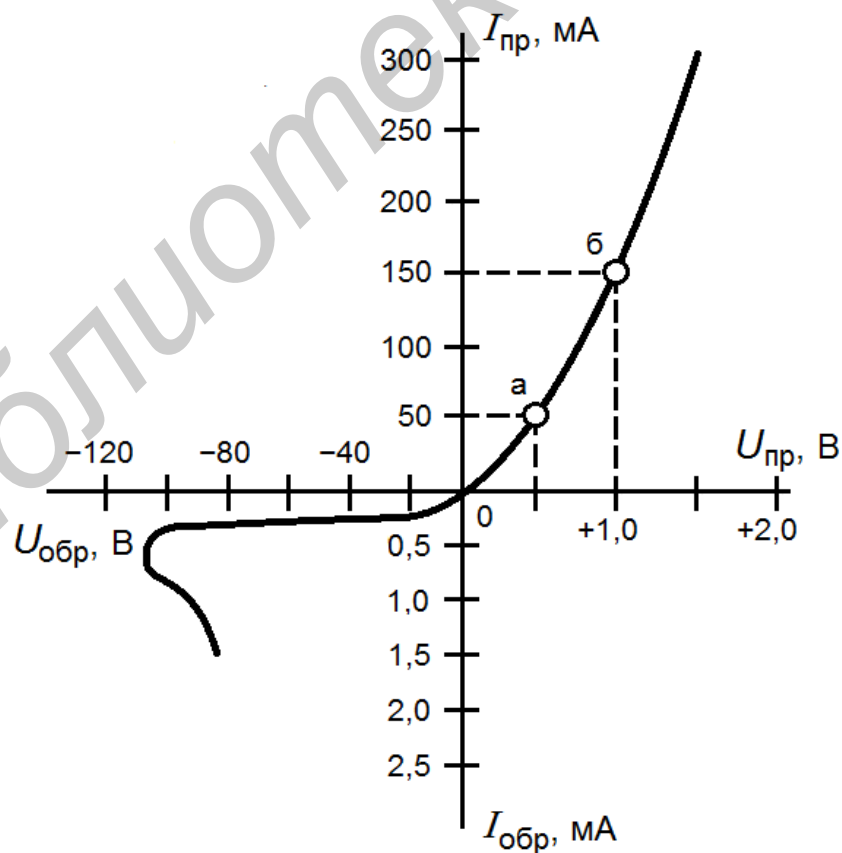


Рис. 3.1. Типовая вольт-амперная характеристика диода общего назначения

Обратный ток диодов общего назначения (плюс источника питания на катоде, а минус – на аноде) достигает нескольких микроампер и его можно не учитывать до тех пор, пока напряжение на диоде не достигнет напряжения пробоя. Это напряжение также называют пиковым обратным напряжением. Как правило, на диод не подают обратное напряжение, которое может вызвать пробой. При подключении плюсового вывода источника питания к аноду диода, а минусового – к катоду, диод включается в прямом направлении. Через диод протекает прямой ток, который обуславливает падение напряжения от 0,5 до 0,8 В. Как любой р-п-переход, диоды обладают собственной емкостью, которая оказывает влияние на работу импульсных и СВЧ-диодов. При переключении диода из прямого смещения в обратное в первый момент времени через диод протекает обратный ток, значительно больший обратного тока в установившемся режиме. Время спада этого тока (t_B) определяется временем рассасывания заряда за счет вытягивания носителей заряда р-п-переходом и за счет рекомбинаций. При длительности отрицательного импульса или полупериода колебаний меньше t_B диод будет пропускать сигнал отрицательной полярности, так же как и положительной. Время t_B называется временем восстановления обратного сопротивления. Этот параметр определяет минимальный период колебаний сигнала и минимальную длительность импульсов, при которых диод сохраняет свои свойства.

Обозначения диодов

В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код, первый элемент его обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор. Второй элемент обозначения – буква, определяющая подкласс (или группу) приборов, третий элемент – цифра, определяющая назначение (параметр или принцип действия) прибора. Четвертый – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа прибора, пятый элемент – буква, условно определяющая классификацию по параметрам приборов, изготовленных по единой технологии.

Для обозначения исходного материала используются следующие символы (первый элемент обозначения): Г или 1 – для германия или его соединений, К или 2 – для кремния или его соединений, А или 3 – для соединений галлия (например арсенида галлия), И или 4 – для соединения индия (например фосфида индия).

Второй элемент обозначения – буква, характеризующая подкласс приборов: Д – выпрямительные, универсальные, импульсные диоды, В – варикапы, А – сверхвысокочастотные диоды, И – туннельные диоды, С – стабилитроны, Ц – выпрямительные столбы и блоки.

Третий элемент обозначения – цифра, определяющая назначение или принцип действия прибора.

Диоды (подкласс Д): 1 – выпрямительные со средним значением прямого тока не более 0,3 А, 2 – со средним значением прямого тока более 0,3 А, 3 – диодные преобразователи. Диоды импульсные (подкласс Д): 4, 5, 6, 7, 8 – с временем восстановления обратного сопротивления соответственно более 500 пс, от 150 до 500 пс, от 30 до 150 пс, от 5 до 30 пс, от 1 до 5 пс; эффективным временем жизни неосновных носителей заряда менее 1 пс.

Выпрямительные столбы (подкласс Ц): 1, 2 – со средним значением $I_{ср}$ соответственно не более 0,3 А, от 0,3 до 10 А.

Блоки (подкласс Ц): 3, 4 – со средним значением прямого тока соответственно не более 0,3 А, более 0,3 А.

Варикапы (подкласс В): 1 – подстроечные, 2 – умножительные.

Диоды туннельные и обращенные (подкласс И): 1 – усилительные, 2 – генераторные, 3 – переключающие, 4 – обращенные.

Диоды сверхвысокочастотные (подкласс А): 1 – смесительные, 2 – детекторные, 3 – усилительные, 4 – параметрические, 5 – переключаательные и ограничительные, 6 – умножительные и настроечные, 7 – генераторные, 8 – импульсные, 9 – выпрямительные.

Стабилизаторы напряжения (стабилитроны, стабисторы, ограничители напряжения) (подкласс С) :

Мощность не более 0,3 Вт: 1, 2, 3 – с напряжением стабилизации (ограничения) соответственно менее 10 В, от 10 до 100 В, более 100 В.

Мощность от 0,3 до 5 В: 4, 5, 6 – с напряжением стабилизации (ограничения) соответственно менее 10 В, от 10 до 100 В, более 100 В.

Мощность более 5 Вт, но не более 10 Вт: 7, 8, 9 – напряжением стабилизации (ограничения) соответственно менее 10 В, от 10 до 100 В, более 100 В.

Излучающие оптоэлектронные приборы (подкласс Л): 1 – излучающие диоды инфракрасного излучения, 2 – излучающие модули инфракрасного излучения, 3 – светоизлучающие диоды визуального представления информации, 4 – знаковые индикаторы, 5 – знаковых табло, 6 – для шкал, 7 – для экранов.

Генераторы шума (подкласс Г): 1 – НЧ генераторы шума, 2 – ВЧ генераторы шума.

Оптопары (подкласс О) Р – для резисторных оптопар, Д – для диодных оптопар, У – для тиристорных оптопар, Т – для транзисторных оптопар.

Диодные тиристоры (подкласс Н): 1,2 – для приборов соответственно с $I_{пр} < 0,3А$ и с $I_{пр}$ от 0,3 до 10 А.

Применение и эксплуатация приборов должны осуществляться в соответствии с техническими условиями и руководствами по применению. Важно обеспечить такой режим работы диодов, при котором интенсивность отказа прибора была бы малой. Для повышения надежности работы приборов и аппаратуры рекомендуется устанавливать напряжения, токи, мощность на уровне от 0,5 до 0,8 предельных значений. В технической документации диоды обозначаются так, как показано на рис. 3.2.

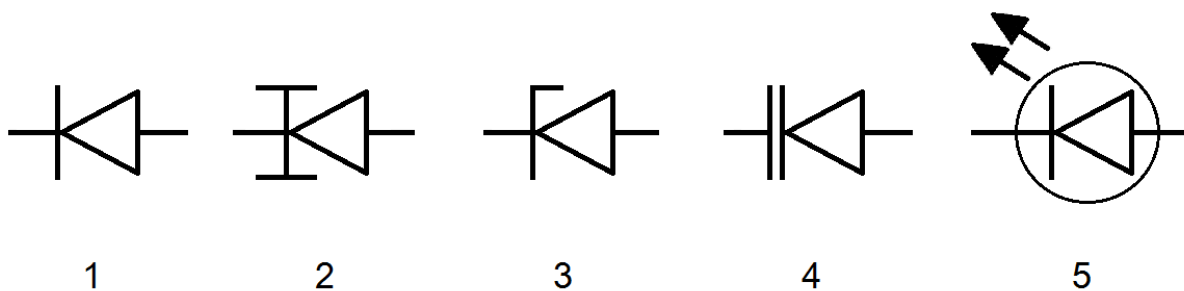


Рис. 3.2. Условное графическое обозначение диодов:
 1 – выпрямительный диод, 2 – туннельный диод, 3 – стабилитрон, 4 – варикап (полупроводниковая переменная емкость), 5 – светоизлучающий диод (светодиоды)

Характеристики диодов: прямой максимальный ток, падение напряжения, обусловленное прямым током, емкость, ток утечки, обратное напряжение, время восстановления обратного сопротивления и рабочая частота.

Схемы, содержащие диоды

Диоды широко применяются в выпрямительных и детектирующих схемах. Выпрямитель преобразует переменный ток в постоянный. Простейшая однополупериодная схема имеет вид, изображенный на рис. 3.3.

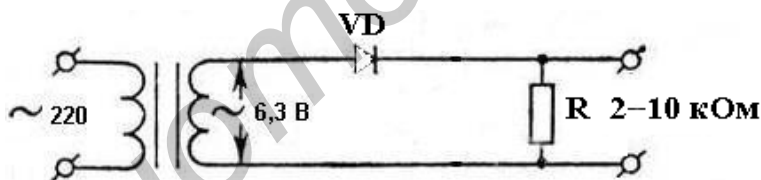


Рис. 3.3. Схема однополупериодного выпрямителя

Выходное напряжение однополупериодного выпрямителя имеет вид, приведенный на рис. 3.4.

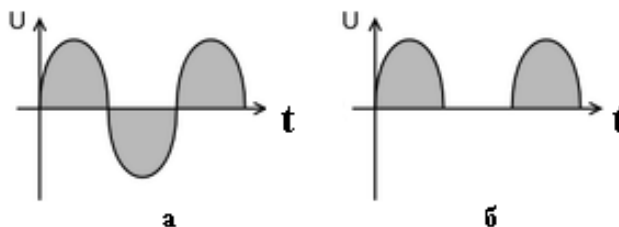


Рис. 3.4. Форма сигнала на входе (а) и на выходе (б) однополупериодного выпрямителя

На рис. 3.5. показана мостовая схема двухполупериодного выпрямителя и форма выходного сигнала.

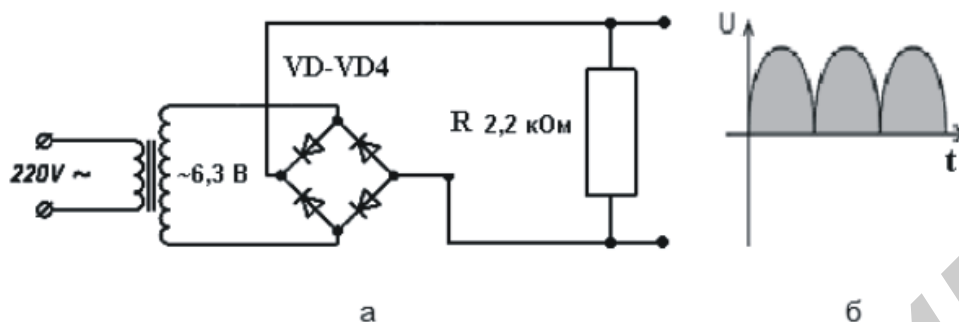


Рис. 3.5. Схема двухполупериодного выпрямителя (а) и форма выходного сигнала (б)

Выпрямитель с умножением напряжения приведен на рис. 3.6.

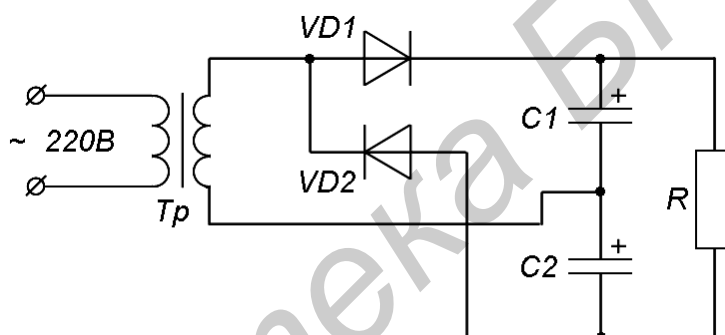


Рис. 3.6. Выпрямитель с удвоением напряжения

Для того чтобы понять, как работает эта схема, представьте, что она состоит из двух последовательно соединенных однофазных выпрямителей. Фактически это двухполупериодный выпрямитель, так как он работает в каждом полупериоде входного сигнала. Подобным образом можно увеличивать напряжение в 2, 3, 4 и т.д. раза.

В тех случаях, когда необходимо ограничить диапазон изменения сигнала, например, напряжения, можно воспользоваться схемой, показанной на рис. 3.7.

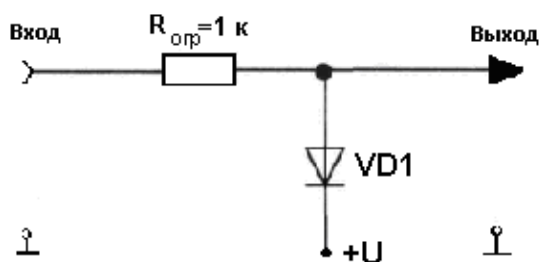


Рис. 3.7. Диодный ограничитель питания

Благодаря диоду выходное напряжение не может превышать $+U$. Однако наличие диода никак не сказывается при меньших значениях напряжения, в том числе и при отрицательных. Эталонное напряжение можно подавать на ограничительный диод и от делителя напряжения.

В случае, показанном на рис. 3.8, напряжение ограничения равно U_0 . Его можно рассчитать следующим образом. Ток через делитель (I_g) равен $3U_0/R_d$. В нашем случае $R_d=1к+2к=3к$. Напряжение на резисторе 1к, следовательно, на катоде диода равно произведению I_g на величину сопротивления данного резистора $[(3U_0/3к) \cdot 1к=U_0]$.

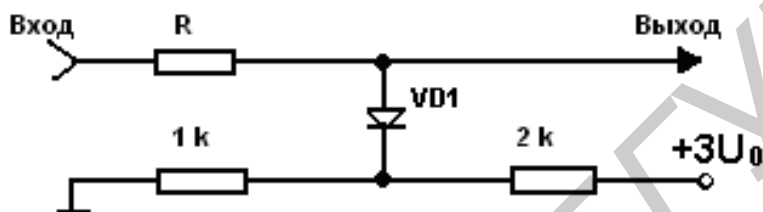


Рис. 3.8. Диодный ограничитель с делителем напряжения

Эквивалентная схема ограничителя, показанного на рис. 3.8, имеет вид резистивного делителя на рис. 3.9. $R_{дел}$ равно результирующему сопротивлению двух параллельно соединенных резисторов 1к и 2к, составляющих делитель.

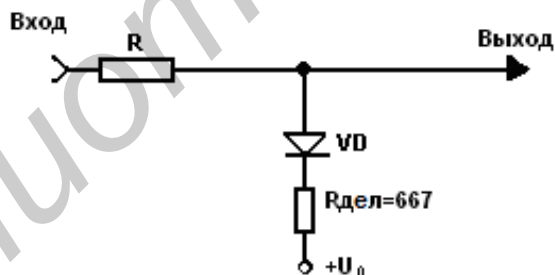


Рис. 3.9. Эквивалентная схема резисторного делителя

Анализируя эквивалентную схему, можно заключить, что сопротивление $R_{дел}$ должно быть меньше R , потому что когда диод открыт (входное напряжение больше напряжения ограничения), напряжение на выходе равно напряжению ограничения плюс падение напряжения на $R_{дел}$, вызванное прохождением тока через делитель, состоящий из R и $R_{дел}$. Последнее будет изменяться при изменении входного напряжения.

Для треугольного входного сигнала выходное напряжение в связи с вышесказанным будет иметь вид, показанный на рис. 3.10, б.

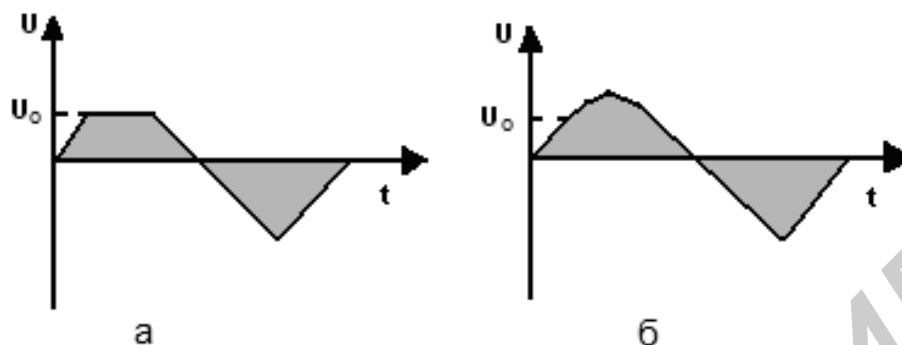


Рис. 3.10. Формы выходных напряжений ограничителей:
а – с источником питания, б – с резистивным делителем при треугольном входном сигнале

Обычно малое значение сопротивления эталонного источника обеспечивается за счет использования транзистора или операционного усилителя.

На практике часто возникает необходимость в ограничении сигнала с двух сторон. Это легко осуществить, если включить последовательно два одно-сторонних ограничителя, показанных на рис. 3.7, изменив в одном из них полярность включения диода и источника питания.

Приборы и инструменты

1. Осциллограф.
2. Паяльник. ПСН-40
3. Тестер.
4. Источник переменного напряжения 6,3 В
5. Монтажная плата.
6. Набор радиодеталей.
7. Цифровой вольтметр.
8. Низкочастотный генератор.

3.2. Практическая часть

1. Соберите схему измерений, показанную на рис. 3.11. Изменяя R , постройте вольт-амперную характеристику диода (т.е. зависимость тока через диод от напряжения на его входах, 5 точек). Постройте график зависимости $I = f(U)$ (прямая ветвь).

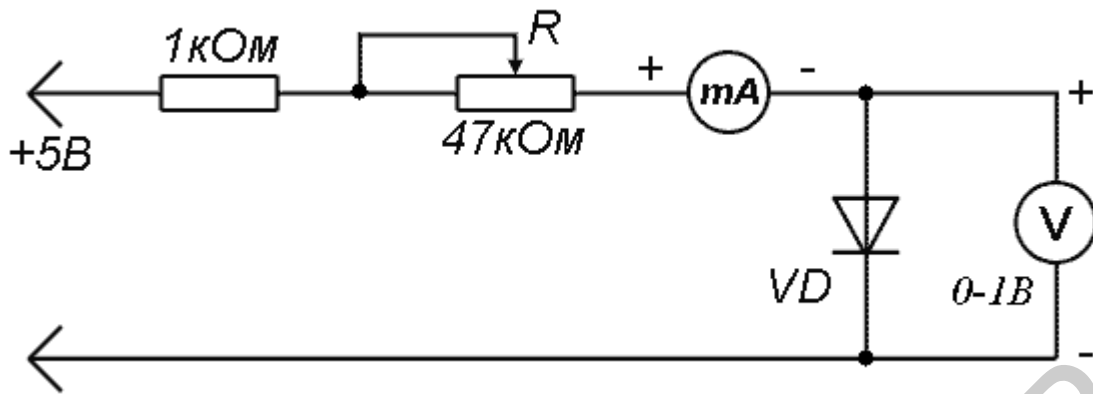


Рис. 3.11. Схема измерения ВАХ диода

Измените полярность подключения диода и снова произведите измерения в пяти точках. Постройте обратную ветвь ВАХ диода на том же графике.

2. Соберите схему однополупериодного выпрямителя (рис. 3.3). Наблюдайте сигнал на выходе с помощью осциллографа. Измените полярность включения диода. Изменилась ли форма сигнала? Подключите параллельно резистору конденсатор емкостью $500 \text{ мкФ} \times 10 \text{ В}$. По формуле $U = U_m/RCf$ рассчитайте амплитуду пульсаций U .

3. Соберите схему согласно рис. 3.5, а. Определите с помощью осциллографа напряжение на выходе и форму этой кривой. Подсоедините параллельно выходу конденсатор $15 \text{ мкФ} \times 10 \text{ В}$. По формуле $U = U_m/2RCf$ (при $C = 500 \text{ мкФ}$) рассчитайте амплитуду пульсаций U и измерьте ее. Присоедините вместо конденсатора 15 мкФ конденсатор $500 \text{ мкФ} \times 10 \text{ В}$. Убедитесь, что пульсации сведены к значению, рассчитанному вами.

4. Соберите схему в соответствии с рис. 3.6. Измерьте с помощью вольтметра с высоким входным сопротивлением напряжение на каждом конденсаторе в отдельности и на двух вместе.

5. Соберите схему, показанную на рис. 3.12, а.

Подайте на вход схемы синусоидальные колебания от генератора максимальной амплитуды и с помощью осциллографа наблюдайте сигнал на выходе. Измерьте напряжение в точке А и сравните амплитуду выходного напряжения с величиной потенциала в точке А. Измените величину переменного сопротивления и повторите измерения. Почему положительный сигнал скруглен и не превышает величины напряжения в точке А?

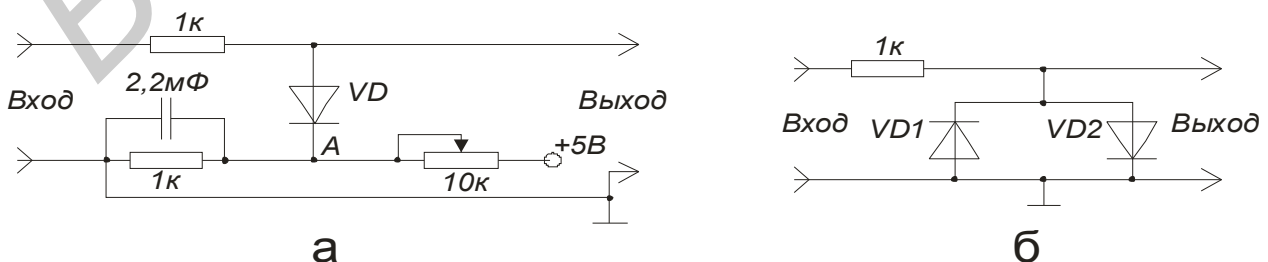


Рис. 3.12. Диодные ограничители:
а – односторонний; б – двухсторонний

Отсоедините конденсатор и посмотрите форму сигнала. Какую роль выполняет конденсатор?

6. Соберите схему, показанную на рис. 3.12, б.

Подайте на вход синусоидальные колебания и прямоугольные импульсы различной амплитуды; с помощью осциллографа наблюдайте сигнал на выходе. Объясните результаты наблюдений.

7. Исследуйте схему «И».

Соберите схему, согласно рис. 3.13, а. Подключите осциллограф к выходу схемы потенциальным входом. Исследуйте выходной уровень при четырех входных комбинациях таблицы истинности (0 – соответствует 0 В, а 1 ±5 В). Почему вентиль может выполнять операцию «И»?

A	B	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

8. Исследуйте схему «ИЛИ». Соберите схему согласно рис. 3.13, б.

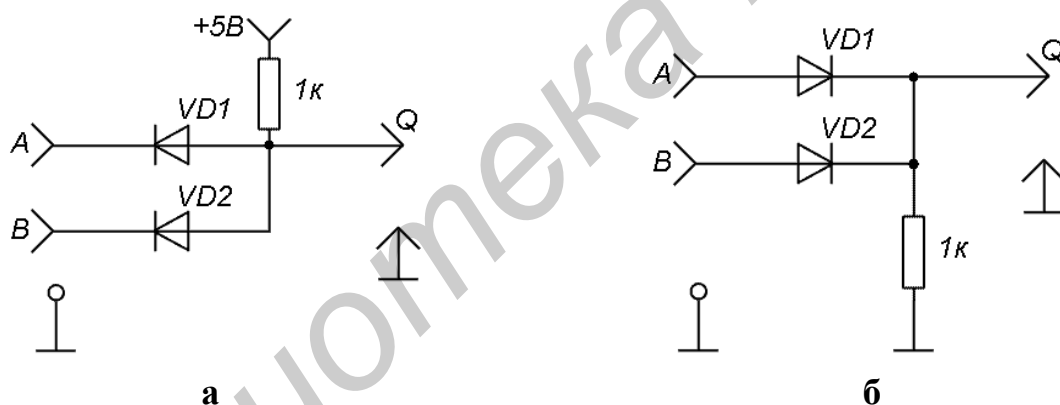


Рис. 3.13. Диодные вентили «И» (а) и «ИЛИ» (б)

Подключите вход осциллографа к выходу Q. Исследуйте выходной уровень при всех четырех входных комбинациях таблицы истинности.

A	B	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Почему вентиль выполняет операцию «ИЛИ»?

9. Произведите демонтаж схем; оформите результаты измерений в виде отчета, включающего теоретические сведения, результаты измерений, ответы на поставленные вопросы и выводы.

3.3. Содержание отчета

1. Схемы выпрямителей и диодных ограничителей.
2. Схема измерения ВАХ диода.
3. Эскизы форм сигналов на выходе выпрямителей и ограничителей.
4. Результаты исследования выходных уровней сигналов.
5. Выводы.

3.4. Контрольные вопросы

1. Какие бывают схемы выпрямителя?
2. Как удвоить выпрямленное напряжение?
3. Чем отличается выходной сигнал диодного ограничителя с эталонным источником питания от выходного сигнала диодного ограничителя с резистивным делителем?
4. Как работают схемы «И» и «ИЛИ»?
5. Разновидности диодов и их обозначения.

Практическое занятие №4

ТРАНЗИСТОРЫ И УСТРОЙСТВА НА ТРАНЗИСТОРАХ

Цель работы: изучение разновидностей и важнейших характеристик биполярных транзисторов, устройств на транзисторах.

4.1. Теоретические сведения

Транзистор (от англ. transfer – переносить и resistor – сопротивление), электронный прибор на основе полупроводникового кристалла, имеющий три (или более) вывода, предназначенный для генерирования и преобразования электрических колебаний. Изобретен в 1948 г. У. Шокли, У. Браттейном и Дж. Бардином (Нобелевская премия, 1956). Транзисторы делятся на два основных крупных класса: униполярные и биполярные.

Наиболее важное свойство транзистора – способность усиливать сигналы. У этого прибора три вывода и выходное сопротивление отличается от входного. Транзистор – один из основных активных (способных усиливать входной сигнал по мощности за счет использования внешнего источника питания) компонентов схем. Разновидностей транзисторов очень много. Во-первых, отметим, что существуют два больших класса приборов: биполярные (в физических процессах участвуют два типа носителей) и полевые, или униполярные (в переносе заряда участвуют носители одного типа). Биполярные транзисторы бывают двух типов: n-p-n и p-n-p. Буквы обозначают тип примеси в эмиттерной, базовой и коллекторной областях соответственно. В класс полевых транзисторов включаются транзисторы с p-n-переходом и транзисторы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).

В кремниевых транзисторах в качестве диэлектрического слоя используется окисел кремния. Поскольку подавляющее большинство полевых транзисторов кремниевые, то часто их называют МОП-транзисторами (металл-окисел-полупроводник). Основной функцией биполярного транзистора является диффузия неосновных носителей через базу. Для n-p-n-транзистора неосновными носителями являются электроны, а для p-n-p – дырки. Значение коэффициента усиления ограничены из-за движения части основных носителей из базы в эмиттер и из-за происходящей в базе рекомбинаций электронов и дырок.

Основой работы полевого транзистора является дрейф основных носителей через канал. В n-канальном транзисторе ток создается электронами, а в p-канальном – дырками. У полевых транзисторов в отличие от биполярных высокое входное сопротивление, их производство проще и они имеют более малые размеры. Уровень шумов у них ниже, но производство коэффициента усиления на ширину полосы частот у полевых транзисторов по сравнению с биполярными меньше.

Система обозначения современных типов транзисторов установлена отраслевым стандартом ОСТ 1133691981. В основу системы обозначения поло-

жен буквенно-цифровой код, первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен транзистор.

Второй элемент – буква, обозначающая подкласс транзисторов, третий – цифра, определяющая его основные функциональные возможности (рассеиваемую мощность и граничную, или максимальную рабочую частоту). Четвертый – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа транзисторов. Пятый – буква, условно определяющая классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по единой технологии.

Стандарт предусматривает также введение в обозначение ряда дополнительных знаков, отмечающих отдельные существенные конструктивно-технологические особенности приборов. Для обозначения исходного материала используются следующие символы: Г или 1 – германий; К или 2 – кремний; А или 3 – арсенид галлия; И или 4 – индий. Для обозначения подклассов в транзисторов – одна из двух букв: Т – для биполярных транзисторов; П – для полевых транзисторов.

Для обозначения наиболее характерных эксплуатационных признаков транзисторов используется девять цифр, характеризующих подклассы биполярных и полевых транзисторов по значениям рассчитываемой мощности и граничной частоты:

- 1 – маломощные транзисторы ($P < 0,3$ Вт) и низкочастотные ($f < 3$ МГц);
- 2 – маломощные транзисторы средней частоты ($3 < f < 30$ МГц);
- 3 – маломощные транзисторы высокочастотные и СВЧ ($f > 30$ МГц);
- 4 – транзисторы средней мощности ($0,3$ Вт $< P < 1,5$ Вт) низкочастотные;
- 5 – транзисторы средней мощности средней частоты;
- 6 – транзисторы средней мощности высокочастотные и СВЧ;
- 7 – транзисторы большой мощности ($P > 1,5$ Вт) и низкочастотные;
- 8 – транзисторы большой мощности средней частоты;
- 9 – транзисторы большой мощности высокочастотные и СВЧ.

Для обозначения порядкового номера разработки используются числа от 1 до 999, в качестве классификационной литеры – буквы русского алфавита от А до Я, за исключением сходных по начертанию цифр 3, 0, 4.

В качестве дополнительных элементов обозначения используются следующие символы:

– буква «с» после второго элемента обозначения для наборов в общем корпусе однотипных транзисторов, не соединенных электрически (транзисторные сборки);

– цифра, написанная через дефис, после седьмого элемента обозначения для бескорпусных транзисторов:

- 1 – с гибкими выводами без подложки;
- 2 – с гибкими выводами на подложке;
- 3 – жесткими выводами без подложки;
- 4 – с жесткими выводами на подложке;
- 5 – с контактными площадками без подложки и без вывода;
- 6 – с контактными площадками на подложке, но без вывода.

Например:

ГТ101А – германиевый биполярный маломощный низкочастотный, номер разработки 1, группа А.

2Т399 – кремниевый биполярный маломощный СВЧ, номер разработки 99, группа А.

2П904Б – кремниевый полевой мощный ВЧ, номер разработки 4, группа Б.

2Т399А-2 – аналогичен 2Е399А, но бескорпусный с гибкими выводами на подложке.

Работа транзистора

Процессы, происходящие в биполярных транзисторах, рассмотрим на примере n-p-n-транзистора. Схематическое изображение транзисторной биполярной структуры показано на рис. 4.1.

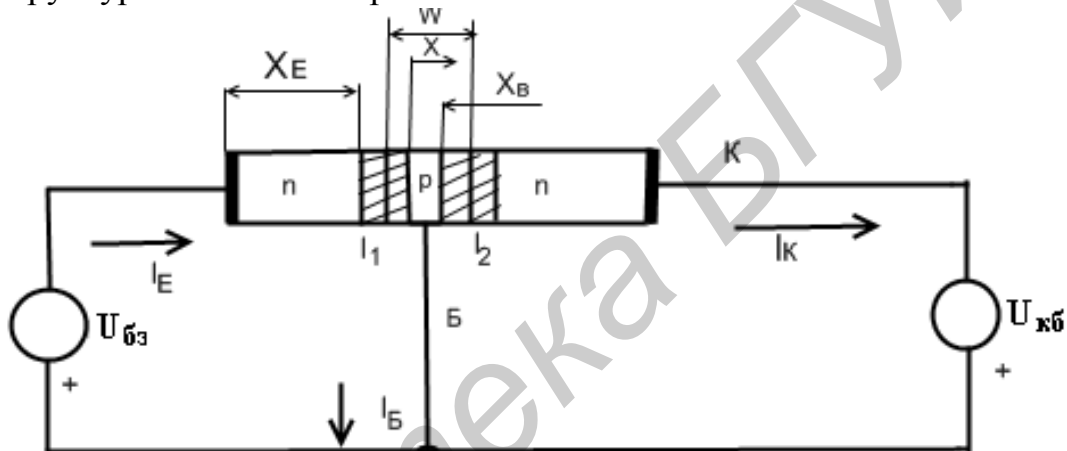


Рис. 4.1. Схематическое изображение транзисторной структуры

Транзистор показан в виде бруска полупроводникового материала, в котором на расстоянии w друг от друга расположены два n-p-n-перехода. Этот полупроводниковый брусок имеет постоянную площадь поперечного сечения, равную A . Сами переходы расположены на таком расстоянии, что электроны, инжектируемые при положительном напряжении $U_{бэ}$, через переход I_1 оказываются в непосредственной близости от перехода I_2 . Качественное понятие близости означает, что потери электронов в средней p-области такой структуры от рекомбинации минимальны. Эту среднюю область называют базой. Одна из областей полупроводника – эмиттер – служит источником электронов. Это наиболее легированная область транзистора. Носители электрического заряда – электроны – вводятся током эмиттера в область базы, где частично рекомбинируют. Основная часть электронов пересекает область базы и доходит до коллекторного перехода. Здесь они ускоряются полем коллектора и переносятся через p-n-переход база-коллектор.

$$I_E = I_B + I_K \quad (4.1)$$

Обычно ток $I_{\bar{6}}$ очень мал по сравнению с $I_{\bar{3}}$. Он возникает вследствие рекомбинации дырок и электронов в области базы и тока основных носителей базы через эмиттерный переход.

Каждый транзистор характеризуется максимальными значениями I_K , $I_{\bar{6}}$, $U_{K,Э}$, $U_{\bar{6},Э}$, рассеиваемой мощностью, дифференциальным входным сопротивлением $r_{\bar{6},Э} = \Delta U_{\bar{6},Э} / \Delta I_{\bar{6}}$, дифференциальным сопротивлением $r_{K,Э} = \Delta U_{K,Э} / \Delta I_K$, статическим коэффициентом усиления по току $B = I_K / I_{\bar{6}}$, дифференциальным коэффициентом усиления по току $B_d = \Delta I_K / \Delta I_{\bar{6}}$.

Если в n-p-n-транзисторе коллектор имеет более положительный потенциал, чем эмиттер, причем переход база-эмиттер открыт, а переход база коллектор смещен в отрицательном направлении, то ток I_K прямо пропорционален току базы $I_{\bar{6}}$ и можно записать

$$I_K = B \cdot I_{\bar{6}} = h_{21Э} \cdot I_{\bar{6}}, \quad (4.2)$$

где $h_{21Э}$ (обозначаемый B) – статический коэффициент усиления по току.

В транзисторных схемах один вывод транзистора используется для входного сигнала, другой – для выходного, а третий вывод – общий для входного и выходного сигналов. При этом из шести возможных конфигураций только три дают увеличение полезной мощности. Это схемы с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором (рис. 4.2).

Каждая из этих конфигураций имеет свои уникальные схемные преимущества, поэтому выбор конфигурации зависит от требуемых значений входного и выходного сопротивления, коэффициентов усиления по току и напряжению.

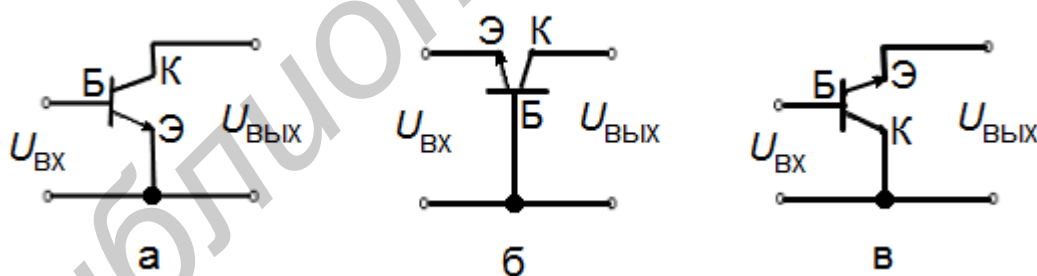


Рис. 4.2. Схемы включения транзистора:
а – с общим эмиттером, б – общей базой, в – общим коллектором

4.2. Практическая часть

Приборы и оборудование

1. Микроамперметр.
2. Вольтметр универсальный В7-73.
3. Тестер.

4. Осциллограф.
5. Источники питания +5В, +15В, -15 В.
6. Генератор синусоидальных сигналов.

1. Получить n-p-n-транзистор типа КТ315 (рис. 4.3). Измерить сопротивление переходов база-коллектор и база-эмиттер тестером в диапазоне 100 Ом, убедиться, что переходы при подключении тестера в одном направлении открыты, а в другом направлении закрыты, т.е. ведут себя как диоды. Запомните, что это неплохой способ проверки транзистора при подозрении на неисправность.

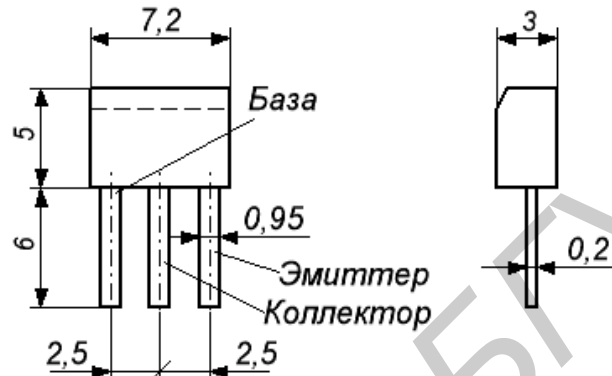


Рис. 4.3. Корпус транзистора КТ315

2. Соберите схему усилителя тока, показанную на рис. 4.4, а. Рассчитайте $h_{21Э}$ при нескольких значениях I_B и I_K , для чего испытайте различные значения R (1 МОм, 470 кОм, 100 кОм). Оцените в каждом случае $U_Б$ с помощью осциллографа.

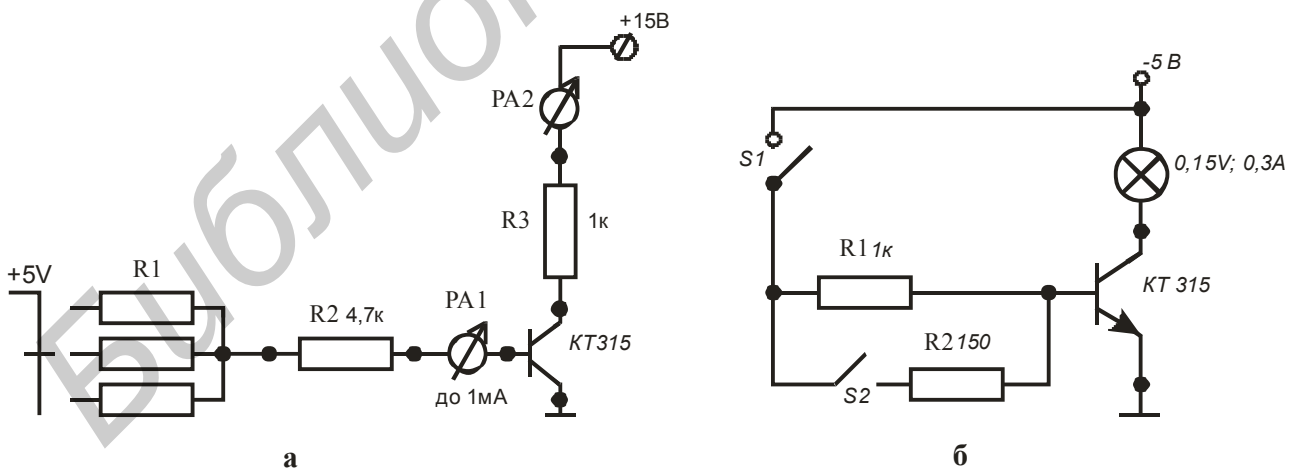


Рис. 4.4. Схема для измерения $h_{21Э}$. (а); транзисторный ключ (б)

3. Соберите схему транзисторного ключа (рис. 4.4, б). Транзистор в данной схеме работает следующим образом. Когда контакт переключателя $S1$ разомкнут – ток базы мал. Следовательно, I_K тоже мал и лампочка в пол накала горит. Когда переключатель $S1$ замкнут, лампа загорится. Напряжение на базе составляет 0,6 В. Измерьте напряжение U_K насыщения, для чего подключите параллельно резистору в 1 кОм резистор 150 Ом (переключатель $S2$ – в положение ВКЛ.) и отметьте изменение U_K . Типичные значения напряжения насыщения лежат в диапазоне 0,05 В – 0,2 В.

4. Соберите схемы эмиттерных повторителей, показанных на рис. 4.5. Подайте на вход синусоидальный сигнал и наблюдайте с помощью осциллографа сигнал на выходе. Зарисуйте его. Теперь присоедините точку 1 схемы не к земле, а к – 12 В и снова зарисуйте выходной сигнал. Объясните, что получилось.

Эмиттерный повторитель назван так потому, что выходной сигнал снимается с эмиттера, напряжение на котором равно входному напряжению минус падение напряжения на переходе база-эмиттер. На первый взгляд эта схема может показаться бесполезной, но это не так. У нее входное сопротивление значительно больше, чем выходное. Из этого следует, что источник сигнала будет отдавать меньшую мощность, если нагрузку подключить к нему не непосредственно, а через эмиттерный повторитель. Таким образом, эмиттерный повторитель обеспечивает усиление по току, а не по напряжению.

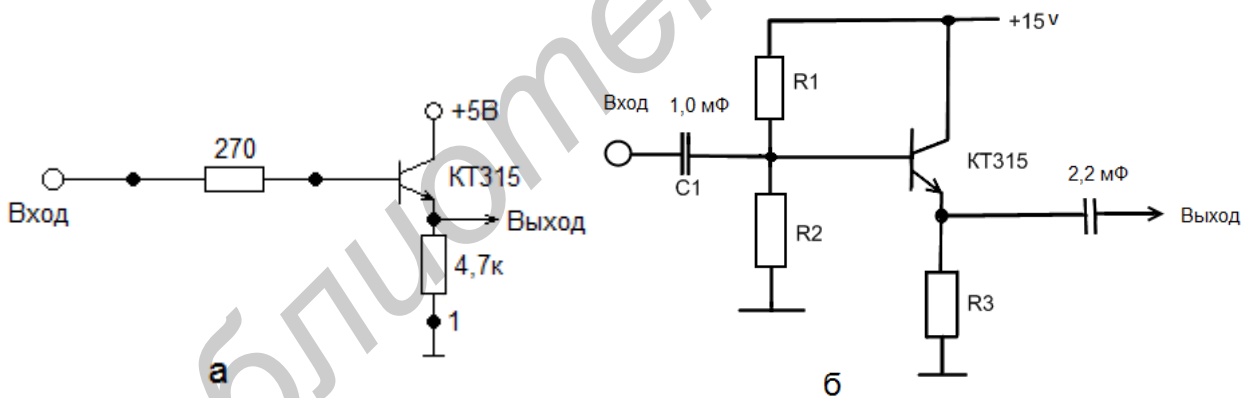


Рис. 4.5. Эмиттерные повторители:
а – без смещения; б – со смещением

Чтобы потенциал на эмиттере был равен половине $U_{пит}$ (рис. 4.5, б) надо, чтобы $R1$ и $R2$ были равны. Процесс выбора рабочих напряжений в схеме называется выбором рабочей точки. Обязательно должно быть выполнено условие, чтобы ток, протекающий через делитель, был больше тока базы.

5. Соберите схему усилителя с общим эмиттером (рис. 4.6). Напряжение на коллекторе равно

$$U_K = U_{пит} - I_K R_K. \quad (4.3)$$

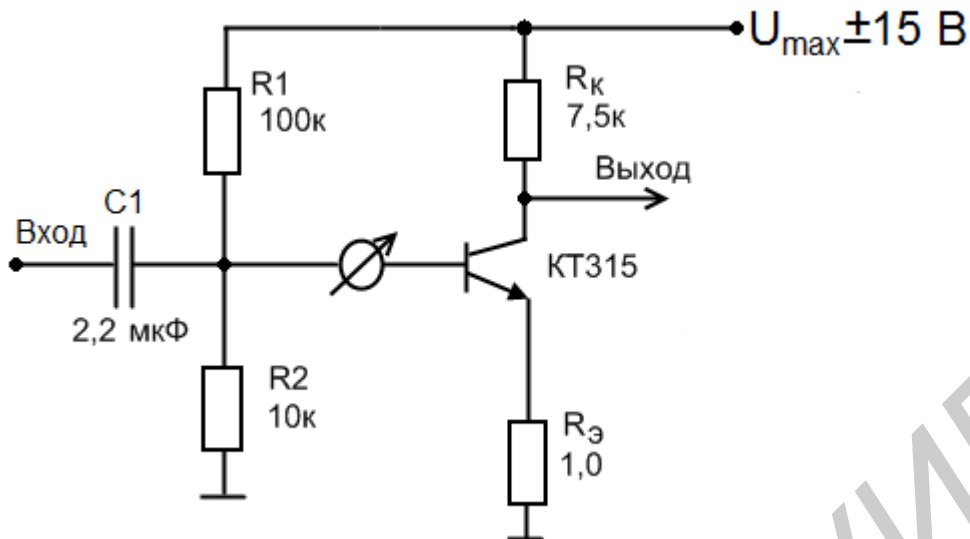


Рис. 4.6. Схема с общим эмиттером

Нагрузкой в данном каскаде является резистор R_K . Конденсатор $C1$ выбран так, что фильтр высоких частот, образованный этим конденсатором и резисторами $R1$ и $R2$, соединенными с ним последовательно, пропускает все нужные частоты. $R1$ и $R2$ обычно выбирают таким образом, чтобы входное сопротивление каскада было достаточно большим. Иначе говоря,

$$(R1 \parallel R2)C > 1/2\pi f. \quad (4.4)$$

Измерьте напряжение на базе и определите ток покоя базы.

Благодаря смещению, приложенному к базе, через транзистор протекает коллекторный ток покоя. Этот ток создает на коллекторе напряжение U_K , равное разности $U_{\text{пит}}$, и падение напряжения на R_K (U).

Измерьте напряжение на коллекторе и определите I_K покоя, равный

$$I_K = (U_{\text{пит}} - U_K) / R_K \quad (4.5)$$

Подадим на базу переменный сигнал частотой 1 кГц, напряжением 0,1 В и посмотрим напряжение на эмиттере и коллекторе (если будут ограничения и искажения – U_6 надо уменьшить). Отметим, что напряжение на эмиттере повторяет напряжение на базе и вызывает изменение эмиттерного тока:

$$I_э = I_K \cdot I_б \quad (4.6)$$

и приблизительно такое же изменение коллекторного тока. Изменяется и напряжение на коллекторе:

$$U_K = I_K R_K - U_б R_K / R_э. \quad (4.7)$$

Определите с помощью осциллографа изменение $U_э, U_б, U_K$.

Последнее выражение можно переписать следующим образом:

$$(U_K - U_{\text{вых}}) / (U_б - U_{\text{вх}}) = R_K / R_э. \quad (4.8)$$

Схема представляет собой усилитель напряжения. Рассчитайте экспериментальный коэффициент усиления схемы. Знак минус говорит о том, что положительный сигнал на входе дает на выходе отрицательный сигнал и наоборот.

Нетрудно определить входные и выходные сопротивления каскада. Для входного сигнала схема представляет собой параллельное соединение резисторов R_1 и R_2 и входного сопротивления со стороны базы. Рассчитайте это сопротивление. Выходное сопротивление определяется как параллельное соединение R_k и выходного сопротивления транзистора со стороны коллектора, которое равно нескольким мегаомам.

6. Если соединить транзисторы, как показано на рис. 4.7, то получится схема составного транзистора (схема Дарлингтона), которая будет работать как один транзистор, причем его коэффициент усиления будет равен произведению коэффициентов составляющих транзисторов. Этот прием полезен для схем, работающих на больших токах, или каскадов, где необходимо обеспечить большое входное сопротивление. В этой схеме $U_{б,э}$ в два раза больше обычного и она имеет меньшее быстродействие.

Измерьте $h_{21э}$ двух транзисторов при их включении в соответствии со схемой на рис. 4.7 и найдите произведение их коэффициентов усиления. Включите эти два транзистора в пару Дарлингтона и определите коэффициент усиления. Измерьте $U_{б,э}$. Сравните его с величиной $U_{б,э}$ одного транзистора.

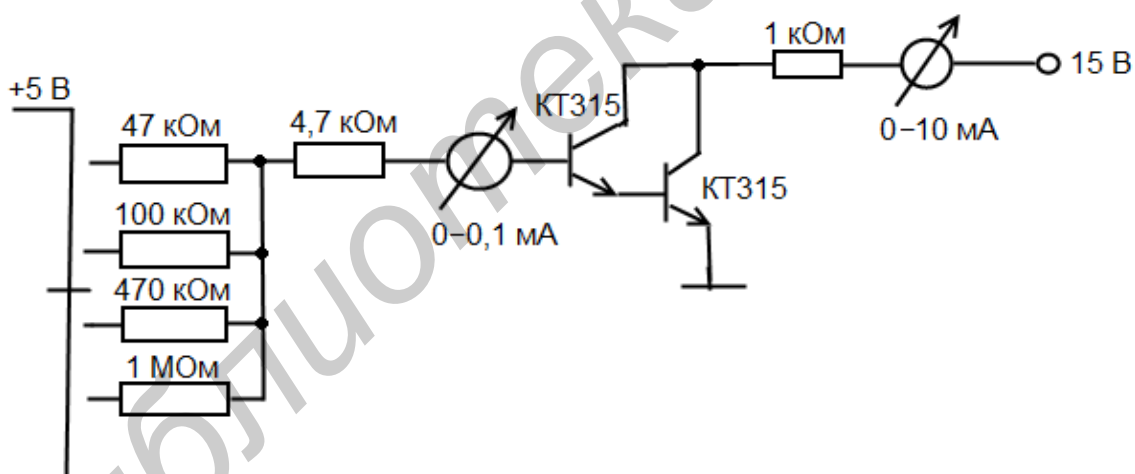


Рис. 4.7. Схема Дарлингтона

4.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Характеристики транзисторов.
3. Измерительные схемы.
4. Результаты измерений и расчеты.
5. Выводы.

4.4. Контрольные вопросы

1. Что является основой работы полевого и биполярного транзисторов?
2. Расшифруйте обозначения транзисторов: КТ 315А, КТ 904А, КП 305Д.
3. Основные схемы включения транзисторов.
4. Как работает транзисторный ключ?
5. Достоинства эмиттерного повторителя.
6. Как определить входное и выходное сопротивление каскада с общим эмиттером?
7. Чем различаются статический и дифференциальный коэффициенты усиления по току?
8. Назовите особенности схемы Дарлингтона?

Библиотека БГУИР

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ И УСТРОЙСТВА НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Цель работы: изучение разновидностей и важнейших характеристик интегральных микросхем и устройств на интегральных микросхемах.

5.1. Теоретические сведения

По своему назначению интегральные микросхемы (ИМС) подразделяются на аналоговые (линейно-импульсные) и цифровые (логические).

Аналоговыми называют ИМС, предназначенные для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции (усиление, генерирование, преобразование электрических сигналов в радио- и телевизионной аппаратуре).

Цифровыми называют ИМС, используемые для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции, т.е. скачками, от некоторого нижнего (например от нуля) до какого-то верхнего уровня, и наоборот. Одним из видов цифровых ИМС являются логические интегральные микросхемы, применяемые в электронных вычислительных машинах (ЭВМ), устройствах автоматики, приборах с цифровым отсчетом результатов измерений (например цифровых вольтметрах).

По конструктивно-технологическому признаку ИМС делятся на три группы: полупроводниковые, гибридные, пленочные.

Полупроводниковой является ИМС, в которой все элементы и междуэлементные соединения выполнены в объеме и на поверхности полупроводника. Активные элементы полупроводниковой ИМС (диоды и транзисторы) изготавливаются в едином технологическом процессе с пассивными элементами. Элементы схемы отделяются друг от друга р-п-переходами или диэлектрическими пленками.

Для изготовления полупроводниковой ИМС используется метод планарной технологии. Сущность его заключается в том, что в пластине (кристалле) полупроводника п- или р-типа создаются так называемые транзисторные структуры, представляющие собой чередующиеся области п-р-п и р-п-р. Если сделать выводы от каждой из областей, полученная структура может служить интегральным биполярным транзистором, если только от двух примыкающих друг к другу р- и п- областей – интегральным диодом или зарядной (барьерной) емкостью, если от краев одной области – интегральным резистором.

На рис. 5.1, а приведена принципиальная схема простейшего усилителя на биполярном транзисторе, а вариант его конструкции в интегральном исполнении на рис. 5.1, б. Транзистор выполнен на основе первой транзисторной структуры. Верхняя п-область, соединенная внешним проводником с корпусом, является эмиттером транзистора. Средняя р-область – это база БТ. На нее подается входное напряжение U . Роль коллектора выполняет нижняя, глубинная

n-область. В качестве резистора используется базовая p-область второй транзисторной структуры. С помощью металлической пленки, нанесенной на окисленную поверхность полупроводника, эта p-область соединяется с нижней n-областью первой транзисторной структуры, т. е. подключается к коллектору транзистора. Второй конец p-области (резистора) подключается к плюсу источника питания.

Гибридными называют ИМС, в которых пассивные элементы (резисторы, конденсаторы и индуктивности) и междуэлементные соединения выполнены методами пленочной технологии, а в качестве активных элементов используются дискретные диоды, транзисторы или бескорпусные полупроводниковые ИМС.

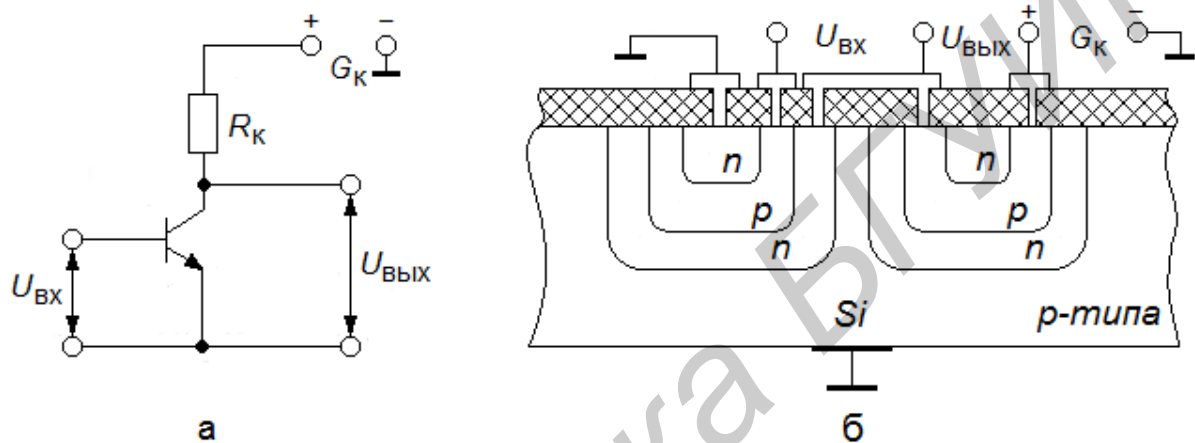


Рис. 5.1. Элементы полупроводниковых ИМС на базе транзисторной структуры

Резисторы гибридных ИМС получают напылением через специальные трафареты на поверхность диэлектрика (подложку) тонкой пленки высокоомного материала (тантал, нихром, сплав МЛТ) соответствующей конфигурации (рис. 5.2, а, б). На концы полученного резисторного элемента напыляются пленочные контактные площадки, являющиеся частью междуэлементных соединений.

Конденсаторы гибридных ИМС – небольшой емкости (до 500 ... 1000 пФ). Они выполняются на диэлектрической подложке путем последовательного нанесения трех слоев: металл-диэлектрик-металл. Металлические слои, образующие обкладки конденсатора, делают, как правило, из алюминия, а диэлектрик – чаще всего из окиси кремния или окиси алюминия.

В гибридных ИМС индуктивностями являются либо дискретные микроминиатюрные катушки, либо пленочные катушки. Пленочные катушки имеют вид однослойных (рис. 5.2, в) или многослойных спиралей, наматываемых на диэлектрическую подложку. Индуктивность таких катушек не превышает 20 мкГ при добротности не более 50.

Элементы гибридных интегральных микросхем соединяются с помощью пленок из металлов, обладающих высокой электропроводностью (алюминий, серебро, золото), наносимых на диэлектрическую подложку. Для соединения пленочного проводника с пленочным пассивным элементом часть такого про-

водника наносится на пленку, образующую пассивный элемент. Пленочные проводники соединяются с выводами дискретных элементов сваркой.

Для характеристики сложности ИМС введен специальный термин «степень интеграции интегральной схемы», отображающий число элементов в одной ИМС. В зависимости от числа элементов ИМС подразделяются на пять степеней: I – от 1 до 10; II – от 11 до 100; III – от 101 до 1000; IV – от 1001 до 10 000; V – от 10 001 до 100 000.

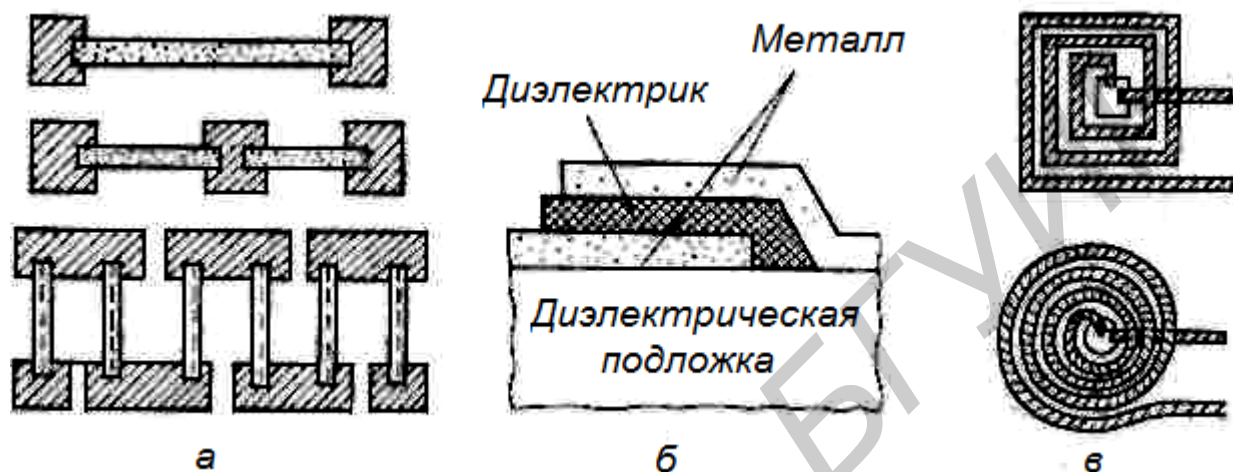


Рис. 5.2. Пленочные элементы ИМС:
а – резисторы; б – конденсатор; в – индуктивности

ИМС I и II степени интеграции называют микросхемами малого уровня интеграции, III степени и выше – повышенного уровня интеграции. ИМС IV и V уровня интеграции известны в литературе также под названием «большие интегральные схемы» (БИС).

Обозначения интегральных микросхем

Все выпускаемые интегральные микросхемы делятся на ИМС широкого применения, которые можно купить в специализированных магазинах, и ИМС специального назначения. Код ИМС широкого применения начинается с буквы К. Затем идет цифра от 1 до 9, характеризующая конструктивно-технологическое исполнение. Если такой цифрой является 1, 5, 6, 7 или 9, то это полупроводниковая ИМС. Гибридные ИМС обозначаются цифрой 2 после буквы К. пленочные – цифрой 3.

Следующим элементом обозначения является двух- или трехзначное число, определяющее порядковый номер разработки серии. Все эти элементы образуют серию ИМС. После номера серии ИМС следуют две буквы, определяющие подгруппу ИМС по ее функциональному назначению (табл. 5.1).

Наконец, последним элементом обозначения является число, характеризующее условный номер разработки ИМС в серии по функциональному признаку. Иногда после этого числа добавляется буква, которая определяет

разброс электрических параметров или различия в напряжениях питания ИМС данного типономинала.

Таблица 5.1

Подгруппы ИМС различного функционального назначения

Функциональное назначение ИМС	Буквенное обозначение
Генератор гармонических сигналов	ГС
Генератор сигналов прямоугольной формы	ГГ
Усилитель высокой частоты	УВ
Усилитель промежуточной частоты	УР
Усилитель напряжения или мощности низкой частоты	УН
Операционный или дифференциальный усилитель	УД
Логический элемент И – НЕ	ЛА
Логический элемент ИЛИ – НЕ	ЛЕ
Аналоговые многофункциональные ИМС (выполняющие одновременно несколько функций)	ХА
Цифровые многофункциональные ИМС	ХЧ

Приведем примеры обозначения некоторых ИМС и их расшифровку.

K118УН1А – полупроводниковая ИМС широкого применения серии K118, представляющая собой усилитель низкой частоты, номер разработки в серии по функциональному признаку 1, разновидность А;

K265УВ1 – гибридная ИМС широкого применения серии K265, являющаяся усилителем высокой частоты, номер разработки в серии по функциональному признаку.

Логические элементы

Базой большинства цифровых ИМС являются логические элементы (ЛЭ), в основу работы которых положена двоичная система счисления, состоящая из двух цифр, нуля (0) и единицы (1). Эти две цифры позволяют выразить в двоичной системе любое число. Например, десятичное число 23, записанное в двоичной системе счисления, будет выглядеть так: 10111. Цифры 0 и 1 представляются в ЛЭ уровнями напряжения. Если напряжение некоторого сигнала равно нулю или не превышает нескольких десятых долей вольта, то в двоичной системе счисления такой сигнал соответствует логическому 0. Сигнал с более высоким уровнем напряжения принимают за логическую 1.

Каждый ЛЭ выполняет вполне определенную логическую операцию, основными из которых являются: логическое отрицание НЕ (инверсия); логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция); логическое умножение И (конъюнкция).

Логический элемент, выполняющий функцию логического отрицания, называют ЛЭ НЕ. Работа ЛЭ НЕ заключается в том, что если на его входе действует сигнал низкого уровня (логический 0), то на выходе возникает сигнал высокого уровня (логическая 1) и наоборот. Связь между сигналами на входе и

выходе ЛЭ, представленную в форме таблицы, называют таблицей состояний, или таблицей истинности ЛЭ.

Для выполнения операции логического сложения применяется ЛЭ ИЛИ. Таблица состояний такого элемента свидетельствует о том, что сигнал логической 1 появляется на выходе ЛЭ ИЛИ в том случае, если аналогичные сигналы подаются на один или оба входа. Напряжение логического 0 на выходе ЛЭ ИЛИ возникает лишь в том случае, если логический 0 действует на всех входах этого элемента.

Операция логического умножения И выполняется ЛЭ И. Логика работы такого элемента состоит в том, что высокий уровень (логическая 1) выходного напряжения будет только в том случае, если на всех входах ЛЭ И будут действовать высокие уровни напряжения.

На основе логических операций НЕ, ИЛИ, И строятся и более сложные логические операции: ИЛИ – НЕ, И – НЕ и другие, являющиеся комбинациями простых операций ИЛИ и НЕ, И и НЕ и т. д.

Для выполнения операции ИЛИ – НЕ служит ЛЭ ИЛИ – НЕ, обозначение которого отличается от логического элемента ИЛИ небольшим кружком в начале линии связи выходного сигнала. Из таблицы состояний ЛЭ ИЛИ – НЕ следует, что сигнал, соответствующий логической 1, на выходе элемента будет лишь в том случае, если на всех его входах будут действовать сигналы низкого уровня, соответствующие логическому 0.

Логический элемент, выполняющий логическую операцию И – НЕ, называют ЛЭ И – НЕ. Логика работы этого элемента заключается в том, что выходной сигнал будет иметь напряжение низкого уровня только в том случае, если на всех входах одновременно действуют сигналы высокого уровня (логические 1). При любых других комбинациях входных сигналов на выходе ЛЭ будет поддерживаться высокий уровень напряжения (логическая 1).

Особенности эксплуатации интегральных микросхем

Практика использования интегральных микросхем в РЭА показывает, что они очень чувствительны к воздействию температуры окружающей среды, электрических полей и механических усилий. Надежная работа ИМС обеспечивается строгим соблюдением мер, исключающих их повреждение из-за действия указанных факторов. При работе радиоаппарата следует обеспечивать условия для отвода от ИМС тепла, выделяемого нагревающимися элементами конструкции. Неправильное включение ИМС может вызвать неисправность в ней при подаче на выводы даже небольших напряжений обратной полярности.

Проверку исправности ИМС начинают с измерения постоянных и импульсных напряжений на их выводах. Чтобы избежать случайных замыканий близко расположенных выводов микросхемы, рекомендуется присоединять щупы измерительных приборов не к этим выводам, а к связанным с ними печатным проводникам или к радиоэлементу. Если результаты измерений отличаются от требуемых, то следует установить причину: дефекты в подсоединенных к ИМС радиоэлементах, отклонение их значений от номинальных, источ-

ник, откуда поступают необходимые импульсные и постоянные напряжения, или неисправность самой ИМС.

Нельзя проверять исправность ИМС методом замены, если для этой цели она должна быть выпаяна из печатной платы.

Выпаянную ИМС не рекомендуется устанавливать вновь, даже если проведенная проверка показала ее исправность. Такое требование объясняется тем, что из-за повторного перегрева выводов не гарантируется ее безотказная работа.

Для облегчения демонтажа установку ИМС на плату рекомендуется производить с зазором не менее 3 мм между корпусами, а также между ИМС и платой. При выполнении электрического монтажа ИМС необходимо соблюдать меры предосторожности. Монтаж ИМС следует выполнять на столе, поверхность которого покрыта хлопчатобумажным материалом или антистатическим линолеумом. Рабочее жало паяльника, включенного в сеть, при контакте с выводами ИМС может привести к выходу ее из строя.

Пайку ИМС целесообразно производить специальным групповым электропаяльником для одновременного прогрева всех ее выводов. Время пайки должно быть не более 3 с. Допускается поочередная пайка выводов. При этом интервал между пайками соседних выводов должен быть не менее 10 с. Для пайки выводов ИМС используют припой марки ПОСК-50-18 или ПОС-61.

Корпуса для интегральных микросхем

DIP (Dual Inline Package) – корпус с двумя рядами контактов, монтируемых в отверстиях платы. Представляет собой прямоугольный корпус с расположенными на длинных сторонах контактами. В зависимости от материала корпуса выделяют два варианта исполнения: PDIP (Plastic DIP) в пластмассовом корпусе (рис. 5.3, а); CDIP (Ceramic DIP) в керамическом корпусе (рис. 5.3, б);



а

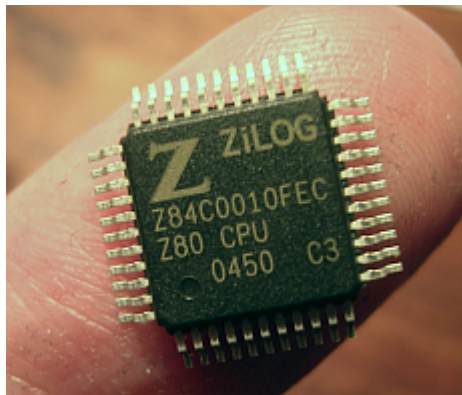


б

Рис. 5.3. Процессоры в корпусе CDIP-40(а) и PDIP-40 (б)

QFP (Quad Flat Package) – семейство корпусов микросхем, имеющих планарные выводы, расположенные по всем четырем сторонам. Микросхемы в таких корпусах предназначены только для поверхностного монтажа; установка в разъем или монтаж в отверстия штатно не предусмотрен, хотя переходные коммутационные устройства существуют. Количество выводов QFP микросхем обычно не превышает 200, с шагом от 0,4 до 1,0 мм (рис. 5.4, а). Корпус стал широко распространенным в Европе и США в 90-х гг. XX в.

Корпус PLCC схож с QFP-корпусом, но при этом имеет более длинные выводы, загнутые так, чтобы было возможно не только припаять микросхему, но и установить ее в гнездовую панель, что часто используется для установки микросхем памяти.



а



б

Рис. 5.4. Интегральная микросхема в QFP-корпусе (а) и BQFP-корпусе (б)

Интегральная микросхема в BQFP (Bumped Quad Flat Package) корпусе (рис. 5.4, б) имеет прямоугольную форму основания микросхемы, а зачастую – квадрат. Корпуса обычно различаются только числом выводов, шагом, размерами и используемыми материалами. BQFP отличается расширениями основания по углам микросхемы, предназначенными для защиты выводов от механических повреждений до запайки.

Генераторы на логических элементах

Разнообразные генераторы электрических колебаний могут быть сконструированы на логических элементах. На рис. 5.5 показана схема мультивибратора, выполненного на двухвходовых ЛЭ И – НЕ (2И – НЕ), у которых оба входа соединены между собой. Следовательно, сигналы на входах каждого ЛЭ всегда одинаковы и соответствуют либо логическому 0, либо логической 1. По характеру работы такой ЛЭ аналогичен ЛЭ НЕ: сигнал на выходе имеет высокий уровень (логическую 1) при низком уровне входных сигналов (соответствующих логическому 0) и наоборот.

Рассмотрим, как работает такой мультивибратор.

Предположим, что на выходе 1 ЛЭ 1 имеется высокий уровень напряжения (логическая 1), а на выходе 2 ЛЭ2 – низкий уровень напряжения (логический 0). Это вызовет зарядку конденсатора $C1$. Ток зарядки будет протекать от высокого уровня напряжения на выходе 1 через $C1$ и резистор $R2$. Напряжение, создаваемое этим током на резисторе $R2$, обеспечивает логическую 1 на входах ЛЭ2 и поддерживает логический 0 на его выходе 2. Конденсатор $C2$, заряженный перед этим от высокого уровня напряжения, имевшегося на выходе 2 ЛЭ2, разряжается через небольшое выходное сопротивление ЛЭ2, корпус и диод $VD1$.

По мере зарядки конденсатора $C1$ ток зарядки и напряжение на входах ЛЭ2 уменьшаются. Когда напряжение на входах ЛЭ2 уменьшится до уровня, соответствующего логическому 0 (примерно 0,3...0,4 В), напряжение на выходе 2 начнет увеличиваться и достигнет высокого уровня, соответствующего логической 1. Высокий уровень напряжения с выхода 2 через конденсатор $C2$ будет передан на входы ЛЭ1, и на его выходе 1 появится низкий уровень напряжения, соответствующий логическому 0. Конденсатор $C1$ начнет разряжаться через выходное сопротивление ЛЭ1 и диод $VD1$, а конденсатор $C2$ будет заряжаться от напряжения высокого уровня на выходе 2 через резистор $R1$. Ток зарядки этого конденсатора будет создавать на резисторе $R1$ и, следовательно, на входах ЛЭ1 напряжение логической 1, поддерживая на выходе 1 логический 0. С течением времени ток зарядки конденсатора $C2$ и напряжение на входах ЛЭ1 будут уменьшаться. Когда напряжение на входах ЛЭ1 станет равным логическому 0, на выходе 1 появится логическая 1, а на выходе 2 – логический 0. Мультивибратор вернется в первоначальное состояние и описанные выше процессы начнут повторяться. Если $R1 = R2$ и $C1 = C2$, то на выходах ЛЭ1 и ЛЭ2 будут формироваться чередующиеся положительные и отрицательные прямоугольные импульсы равной длительности и амплитуды.

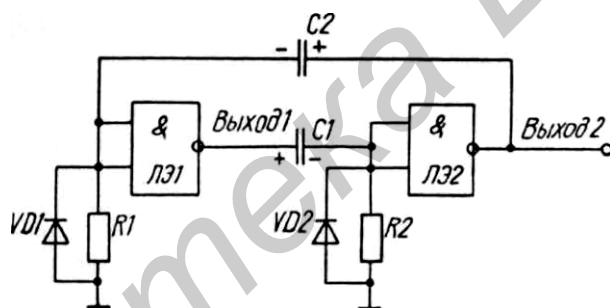


Рис. 5.5. Схема мультивибратора на логических элементах

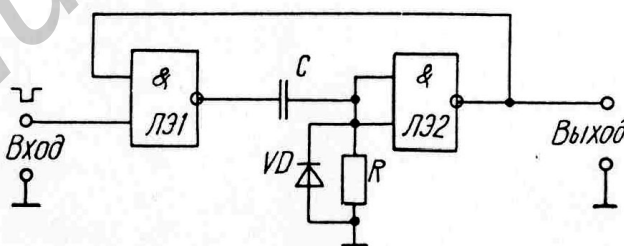


Рис. 5.6. Схема одновибратора на логических элементах

Автоколебательный мультивибратор, показанный на рис. 5.5, можно преобразовать в одновибратор, или ждущий мультивибратор, исключив конденсатор $C2$ и цепочку, состоящую из элементов $VD1$ и $R1$ (или исключив элементы $C1$, $VD1$ и $R1$). Схема такого одновибратора показана на рис. 5.6.

В исходном состоянии на входе ЛЭ1 поддерживается высокий уровень напряжения – логическая 1. Напряжение на объединенных входах ЛЭ2 равно напряжению на резисторе R , которое создается на нем входным током ЛЭ2. Так как этот ток мал, то можно считать, что на входах ЛЭ2 действует низкий уровень напряжения – логический 0, а на выходе – логическая 1, которая подается на второй вход (верхний по схеме) ЛЭ1. Таким образом, на каждом входе ЛЭ1 имеется логическая 1, и напряжение на его выходе равно логическому 0. Напряжение на конденсаторе C также близко к нулю.

При поступлении на вход отрицательного импульса (логического 0) в соответствии с таблицей состояний ЛЭ И – НЕ на выходе ЛЭ1 устанавливается высокий уровень напряжения (логический 0) и начинается зарядка конденсатора C . Ток зарядки протекает от выхода ЛЭ1 через конденсатор C и резистор R . На резисторе создается положительное напряжение, которое в виде логической 1 поступает на входы ЛЭ2 и создает на его выходе напряжение низкого уровня (логический 0). Напряжение логического 0 с выхода ЛЭ2 поступает на второй (верхний) вход ЛЭ1 и поддерживает на его выходе высокий уровень напряжения (логическую 1) после прекращения действия входного импульса.

По мере зарядки конденсатора C напряжение на входах ЛЭ2 уменьшается. Когда уровень этого напряжения станет равен логическому 0, напряжение на выходе ЛЭ2 будет соответствовать логической 1, которое передается на второй вход ЛЭ1. На обоих входах ЛЭ1 будут действовать напряжения высоких уровней, а на выходе – напряжение низкого уровня. Конденсатор C будет разряжаться почти до нулевого напряжения через выходное сопротивление ЛЭ1 и диод VD . В таком состоянии мультивибратор будет находиться до прихода очередного отрицательного импульса на вход.

Каждый входной импульс формирует на выходе мультивибратора отрицательный импульс прямоугольной формы. Длительность этого импульса определяется сопротивлением резистора R и емкостью конденсатора C – чем больше значения R и C , тем больше длительность выходного импульса.

Диод VD используется для уменьшения времени разрядки конденсатора C и улучшения тем самым формы выходных импульсов. Аналогичную роль выполняют и диоды $VD1$ и $VD2$ в мультивибраторе, показанном на рис. 5.5.

5.2. Практическая часть

1. Получите у лаборанта набор диодов, конденсаторов, резисторов и логических элементов.
2. Соберите схему мультивибратора, приведенную на рис. 5.5.
3. Подайте напряжение питания от источника, и с помощью осциллографа определите длительность импульса.
4. Занесите данные в табл. 5.2.
5. Измените номиналы резисторов и конденсаторов и повторите пп. 3–4.
6. Измерьте частоту.

7. Рассчитайте скважность импульсов мультивибратора.
8. Соберите схему одновибратора (рис. 5.6).
9. Определите порог срабатывания одновибратора.

Таблица 5.2

Результаты расчетов и измерений

	1	2	3	4
$R1$				
$R2$				
$C1$				
$C2$				
Длительность импульса				

5.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Характеристики интегральных микросхем.
3. Измерительные схемы.
4. Результаты измерений и расчеты.
5. Выводы.

5.4. Контрольные вопросы

1. На какие виды подразделяются интегральные микросхемы по своему назначению?
2. Чем отличаются пленочные интегральные микросхемы от гибридных?
3. Расшифруйте обозначение интегральной схемы К265УН1?
4. Для чего предназначены логические элементы?
5. В чем особенности эксплуатации интегральных микросхем?
6. Какие виды корпусов для интегральных микросхем вы знаете?
7. Объясните принцип работы мультивибратора.

Практическое занятие №6

ПАЯЛЬНИКИ И ПАЯЛЬНЫЕ СТАНЦИИ

Цель работы: изучить технологию индивидуальной пайки, получить практические навыки монтажа сборочных единиц РЭС.

6.1. Теоретические сведения

Технологический процесс образования неразъемного соединения металлических деталей нагревом (ниже температуры их автономного расплавления) и заполнения зазора между ними расплавленным припоем, образующим после кристаллизации (застывания) прочный металлический спай (шов), называется пайкой. Соединение металла с припоем происходит за счет растворения металла и его диффузии в припой. При этом зазоры между паяемыми деталями должны быть возможно малыми, чтобы между ними находился минимальный слой чистого припоя, прочность которого меньше прочности сплава припоя с основным металлом.

В зависимости от температуры в зоне соединенных материалов пайка подразделяется на низкотемпературную и высокотемпературную. Зазор между деталями устанавливают в зависимости от соединения: для низкотемпературных припоев в пределах от 0,06 до 0,08 мм, для высокотемпературных – от 0,03 до 0,05 мм. По сравнению со сваркой пайка является наиболее скоростным и наименее трудоемким способом соединения. Поэтому при сборке и монтаже РЭС и приборов пайка нашла широкое применение.

Нагрев соединяемых деталей и припоя производят различными способами: паяльником, токами высокой частоты, в печах, горелкой, в жидких средах, ультразвуком. Название способа пайки определяется инструментом (оборудованием) или средой, нагревающей место соединения. Кроме того, пайку различают по характеру окружающей среды: в вакууме, нейтральных газах, в восстановительной среде.

По способу введения припоя пайку разделяют на следующие разновидности: заливкой; с предварительной укладкой припоя к месту соединения (шва); с предварительным избыточным обслуживанием поверхностей соединяемых деталей; с введением припоя паяльниками; с применением палочных и трубчатых припоев.

Достоинство паяного соединения, входящего в электрическую цепь радиоэлектронной аппаратуры или устройства РЭА, заключается в том, что оно обладает стабильным электрическим сопротивлением. Правильно разработанная конструкция паяного соединения и качественное его выполнение обеспечивают надежную работу соединения в течение длительного срока.

Оборудование и инструмент для пайки

В настоящее время почти все паяные электромонтажные соединения РЭС осуществляются тремя способами: ручной пайкой электропаяльником; машинной пайкой погружением в расплавленный припой и волной расплавленного припоя. Конструкция электропаяльника зависит от его назначения и способа выполнения нагревательного элемента. Электропаяльники подразделяют на следующие группы:

- с нагревательным элементом в виде нихромовой спирали (внутренним и наружным обогревом наконечника);
- с импульсным нагревательным элементом в виде нихромовой петли, которая одновременно является наконечником;
- с электроконтактным нагревом (рис. 6.1).

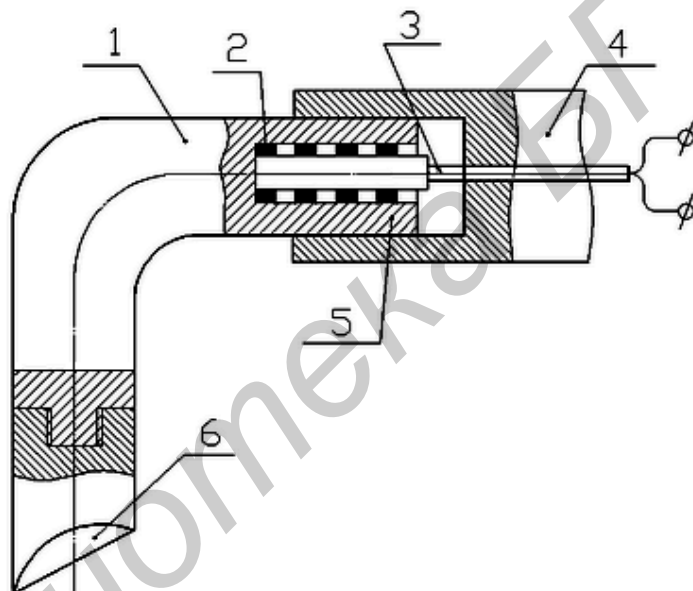


Рис. 6.1. Паяльник с внутренним обогревом:

- 1 – медный стержень; 2 – нагреватель из нихромовой проволоки; 3 – выводы; 4 – корпус; 5 – слюдяная или асбестовая изоляция; 6 – наконечник

В ряде случаев применяют паяльники с автоматической регулировкой температуры. Датчиком температуры для них обычно служит термопара, спай которой помещается в паяльном жале на расстоянии 30–40 мм от рабочего конца паяльника. Показания термопары по номограммам пересчитываются на рабочую температуру. Точность регулировки нагрева составляет ± 2 °С на спае термопары, причем на рабочем торце наконечника она может падать на 20–30 °С за счет инерционности теплового поля. Однако такие колебания не выводят паяльник за пределы рабочей зоны. Паяльные наконечники характеризуются геометрическими параметрами (длиной, диаметром, формой загиба наконечника и формой заточки его рабочего конца), конструктивно-компоновочными особен-

ностями (способом размещения нагревательного элемента), креплением к корпусу паяльника, основными технологическими показателями (теплоемкостью, теплопроводностью, теплоотдачей в атмосферу, материалом наконечника и его покрытием). Длина наконечника колеблется в зависимости от расположения паяных соединений в схеме и может быть от 2–10 до 30–50 мм. Для наконечника обычно применяют медь марки М1 (реже М2, М3), никель, вольфрам. В процессе пайки рабочая часть наконечника из меди быстро окисляется и изнашивается, поэтому для увеличения срока службы их покрывают тонким слоем железа или никеля толщиной 40–60 мкм, а затем рабочую часть наконечника облуживают припоем ПОС-61 при помощи флюса (например хлористого цинка). Геометрия рабочей части наконечника электропаяльника должна обеспечивать захват необходимой дозы жидкого припоя для качественной пайки. Основные типы паяльных наконечников и форма заточки рабочей части приведены на рис. 6.2.

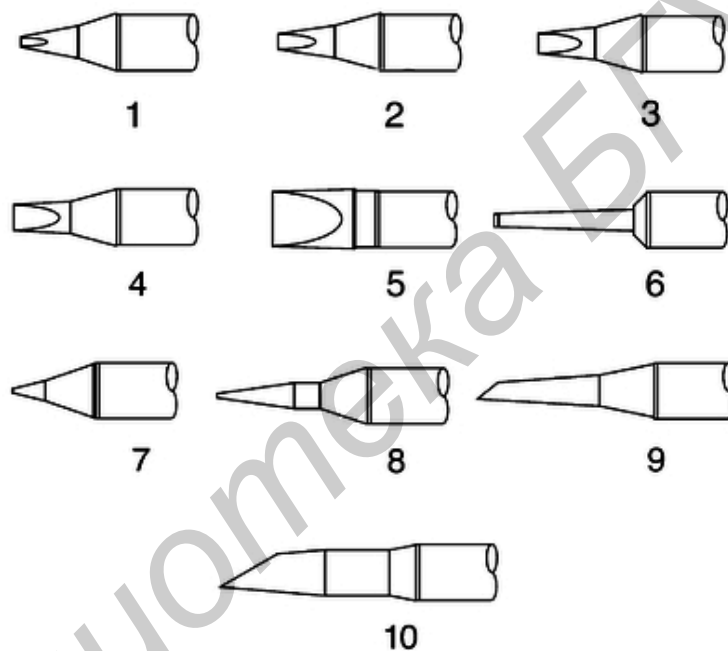


Рис. 6.2. Паяльные наконечники и формы заточки рабочей части:
 1 – пирамидка; 2, 3, 4 – клин; 5, 6 – торцевое жало; 7, 8 – конус;
 9, 10 – срезанный конус

При проведении электромонтажных работ применяют различный инструмент. Плоскогубцы (как правило без насечки), круглогубцы с длинными и тонкими губками, кусачки бокорезы, торцевые кусачки, различные пинцеты (без насечки), ножницы, монтажный нож.

Рекомендации по выбору паяльника

Основными критериями при выборе электропаяльника являются максимальная рабочая температура, теплоемкость наконечника и время его повтор-

ного разогрева; масса и теплоемкость паяемых деталей. Причем рабочая температура и теплоемкость неразрывно связаны с мощностью и конструкцией паяльника. Максимальная температура берется по установившемуся тепловому режиму, когда количество теплоты, выделяемое нагревательной обмоткой, равно количеству теплоты, теряемому в окружающую среду. Рекомендуемая максимальная температура наконечника должна быть на 50–70 °С больше температуры плавления припоя.

Теплоемкость наконечника является показателем количества теплоты, запасенного в нем для выполнения пайки. Это количество теплоты должно быть передано от наконечника паяльника к месту соединения во время пайки, которое обычно не превышает 3–5 с. Теплоемкость зависит от геометрических размеров наконечника, его материала и мощности паяльника (она или слишком мала, либо завышена, что приводит к непропаю или перегреву участка пайки).

Время повторного разогрева наконечника – это период, в течение которого он набирает максимальную рабочую температуру после каждого цикла пайки (считается от момента прикосновения электропаяльника ко вновь запаиваемому узлу). Это время является косвенной функцией мощности паяльника, его теплоемкости и габарита паяного узла и должно быть минимальным (до 10 с). Масса рабочего наконечника и электрическая мощность электропаяльника должны соответствовать массе соединяемых деталей (приблизительно). Данные для выбора диаметра медного наконечника в зависимости от мощности электропаяльника приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Характеристики паяльников

Площадь поперечного сечения наконечника, мм ²	Диаметр наконечника, мм	Мощность электропаяльника, Вт
5–20	3–4	7,0–12,5
20–50	4–6	12,0–28,0
60–90	8–10	50,0–78,0
150–250	12–14	113–196
Более 250	Более 20	314 и более

Рекомендуемые мощности паяльников: для пайки интегральных микросхем – 4, 6, 12, 18 Вт, для печатных плат – 25, 30, 35, 40, 50, 60 Вт, при проводном (жгутовом) монтаже – 50, 60, 75, 90, 100, 120 Вт. Выбор мощности паяльников с учетом КПД (22–55 %) производится в соответствии со средним теплопоглощением при многократной пайке элементов: ИМС – 6–12 Дж., ПП – 40–10 Дж., жгутов – 60 Дж.

Технология пайки

Технологический процесс пайки состоит из следующих операций:

1. Фиксация соединяемых элементов с предварительно подготовленными к пайке поверхностями.
2. Нанесение дозированного количества флюса и припоя.
3. Нагрев деталей до заданной температуры и выдержки в течение ограниченного времени.
4. Охлаждение соединения без перемещения паяемых поверхностей.
5. Очистка соединений.
6. Контроль качества.

Подготовка включает удаление загрязнений органического и минерального происхождения, оксидных пленок, а в некоторых случаях также нанесение покрытий, улучшающих условия пайки или повышающих прочность и коррозионную стойкость паяных соединений. Удаление пленок, препятствующих смачиванию расплавленным припоем, проводят механическими или химическими (обезжиривание, травление) способами. Чтобы удалить образующуюся в процессе пайки окисную пленку и защитить поверхность деталей от дальнейшего окисления, применяют флюсы, газовые среды, самофлюсующие припои и т.д.

Время пайки должно находиться в пределах 1–3 с. При этом спаиваемые поверхности должны прогреться до температуры не ниже температуры плавления припоя. После удаления источника тепловой энергии наступает стадия кристаллизации металлической прослойки, которая оказывает большое влияние на качество паяного соединения. Перемещение в это время паяемых деталей недопустимо.

Для предотвращения процесса коррозии проводников и увеличения электрического сопротивления подложки печатной платы осуществляют удаление остатков флюса. При этом используются различные органические растворители. В конце технологического процесса производят контроль качества паяемого соединения. Качественное соединение отличается минимальным количеством израсходованного припоя, хорошим блеском поверхности и отсутствием всевозможных включений, трещин, раковин.

Паяльные станции

Паяльная станция – это набор электрического инструмента для пайки. Паяльная станция, помимо самого паяльника, также включает в себя блок питания с расширенными по сравнению с обычным паяльником возможностями – защитой от перегрузок и статического электричества, регулировкой температуры. Кроме этого, в комплект могут входить дополнительные принадлежности – отсос для удаления излишнего припоя из места пайки, подставка для паяльника, термофен и т.д. Паяльные станции различаются по количеству подключаемых паяльников на одно-, двух- и трехканальные. Такие паяльные станции могут быть укомплектованы несколькими монтажными и демонтажными паяльниками.

ми с разными мощностями и рабочими диапазонами температур в зависимости от вида выполняемых работ.

Паяльные станции имеют различные системы стабилизации рабочей температуры жала. Система Magnastat фирмы Weller (рис. 6.3) управляется через ферромагнитное устройство, которое изменяет характеристики, когда достигает определенной температуры. Это заставляет притягивать или отталкивать постоянный магнит, который управляет питающим выключателем, что позволяет нагревательный элемент быстро включить или выключить, обеспечивая дополнительную мощность для паяльных работ или уменьшения мощности во время простоя. Разнообразные и отобранные по температурам жала (260 °С, 310 °С, 370 °С, 425 °С, 480 °С) пригодны для различных операций пайки.



Рис. 6.3. Паяльная станция Magnastat фирмы Weller

Управляемая микропроцессором паяльная станция WD2000, к которой подключено два паяльника Weller мощностью до 80 Вт, выполнена в современном эргономичном дизайне (рис. 6.4). Станция имеет большой LCD-монитор, 3 кнопки для запоминания различных температур, антистатическую защиту. К станции можно подключать термопинцет и термообжигалку.



Рис. 6.4. Паяльная станция WD2000

Широкая функциональность паяльной станции Weller WMD1D позволяет применять ее в тех случаях, когда на рабочем месте требуется выполнять различные операции (рис. 6.5). WMD1D имеет встроенную помпу, которая дает возможность подключать паяльник для пайки горячим воздухом 50–550 °С и вакуум 0,7 бар для использования инструментов отпаивания, позволяющих работать как с навесными компонентами, так и с поверхностным монтажом. В состав паяльной станции входит микропроцессор, управляющий процессами пайки и отпайки. Все аксессуары могут работать с управляющим блоком и будут идентифицированы автоматически. Используя программаторы, функции управляющего блока можно изменять (установка рабочей температуры, время выключения и т.д.).



Рис. 6.5. Паяльная станция WMD1D

Индукционная паяльная станция Quick 301 (рис. 6.6) обеспечивает сверхбыстрый индукционный разогрев жала токами высокой частоты (400 кГц); время разогрева до 350 °С – 6 с.



Рис. 6.6. Индукционная паяльная станция Quick 301

Паяльник 80 Вт с диапазоном рабочих температур 200–450 °С или 50–500 °С в зависимости от выбранного режима имеет температурный сенсор на кончике жала, обеспечивая очень точное поддержание температуры пайки. Звуковая сигнализация при выходе температуры жала за задаваемые пользователем пределы гарантирует отсутствие дефектных паек. Мощность нагрева автоматически изменяется в зависимости от площади пайки, и в результате отсутствует эффект «холодной» пайки.

6.2. Практическая часть

1. Выбрать согласно варианту задания (табл. 6.4) паяльник, наконечник для него, припой и флюс.
2. Подготовить паяльник к работе. Для чего:
 - а) заточить напильником наконечник в соответствии с формой наконечника (табл. 6.2);
 - б) подать на паяльник питающее напряжение и после его нагрева залудить жало. При этом использовать канифоль и припой ПОС-61;
 - в) рассчитать по формуле $T_p = T_{пл} + (50 \dots 70)$, где $T_{пл}$ – температура плавления припоя; T_p – рабочая температура наконечника;
 - г) задать изменением напряжения питания требуемую температуру и проконтролировать ее с помощью прибора для измерения температуры жала паяльника.
3. Соединить детали пайкой в соответствии с вариантом задания, соблюдая технологию пайки.
4. Оценить визуально качество пайки.
5. Проверить прочность паяного соединения на приспособлении.

Таблица 6.4

Варианты индивидуального задания

Вариант	Содержание задания
1	Конструкционная пайка деталей из латуни. Соединение встык.
2	Конструкционная пайка деталей из стали. Соединение внахлестку.
3	Пайка электрорадиоэлементов на монтажной плате.
4	Монтажная пайка проводников к контактными элементами.
5	Монтажная пайка электрорадиоэлементов на печатной плате.
6	Пайка безвыводных элементов на печатной плате.
7	Демонтаж электронных компонентов с платы.

6.3. Содержание отчета

1. Обоснование выбора паяльника, припоя и флюса.
2. Расчет рабочей температуры наконечника паяльника.
3. Технология пайки.
4. Внешние признаки качественного паяного соединения.
5. Выводы.

6.4. Контрольные вопросы

1. Что такое пайка и какие виды пайки вы знаете?
2. Как устроен паяльник, назовите критерии для правильного выбора паяльника.
3. Как затачиваются наконечники паяльников?
4. Как рассчитать рабочую температуру наконечника паяльника?
5. Перечислите инструмент, используемый при индивидуальной пайке.
6. Перечислите виды припоев.
7. Флюсы, их назначение и выбор.
8. Технология пайки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов, А. И. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы: справочник / А. И. Аксенов, А. В. Нефедов. – М. : Радио и связь, 1995. – 272 с.
2. Справочная книга радиолюбителя-конструктора / под ред. Н. И. Чистякова. – М. : Радио и связь, 1990. – 624 с.
3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники. В 2 т. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Мир, 1983. – 291с.
4. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, Н. Шенк. – М. : Мир, 1982. – 509 с.
5. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя / под ред. В. П. Боровского. – Киев : Техника, 1989.
6. Резисторы: справочник / под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд. – М. : Радио и связь, 1992.
7. Викулин, И. М. Физика полупроводниковых приборов / И. М. Викулин, В. И. Стафеев. – М. : Сов. радио, 1980. – 295с.
8. Полупроводниковые приборы / А. Б. Гитцевич [и др.]. – М. : Радио и связь, 1988. – 565с.
9. Хряпин, В. Е. Справочник паяльщика / В. Е. Хряпин. – М. : Машиностроение, 1981. – 348 с.

Учебное издание

Ланин Владимир Леонидович
Собчук Николай Сергеевич
Русецкий Анатолий Максимович
Пипко Генрих Моисеевич

ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ

Методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальностей
1-36-04-01 «Электронно-оптические системы и технологии»,
1-39-02-02 «Проектирование и производство РЭС»,
1-39-02-03 «Медицинская электроника»
всех форм обучения

Редактор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка А. В. Тюхай

Подписано в печать 02.11.2010	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 3,95
Уч.- изд. л. 4,0.	Тираж 100 экз.	Заказ 228.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ № 02330/0494371 от 16.03. 2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6