

Министерство образования Российской Федерации
Российский государственный профессионально-педагогический
университет
Академия профессионального образования
Уральское отделение Российской академии образования

Е.Д. Шабалдин
Г.К. Смолин

ПРАКТИКУМ ПО ПРОФЕССИИ

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением
по профессионально-педагогическому образованию в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по
специальности "Профессиональное обучение (по отраслям)".*

Екатеринбург
2003

УДК 621.38:621.31

ББК 3-2я7

Ш 12

Шабалдин Е.Д., Смолин Г.К. Практикум по профессии: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2003. 113 с.

ISBN 5-8050-0111-x

В пособии изложены основные сведения об элементной базе электротехники и электроники, параметрах и маркировке электрорадиоэлементов; рассмотрены технологии электро- и радиомонтажных работ, этапы конструирования аппаратуры; приводятся справочные материалы для выполнения практического задания по разработке комплекта документации на электронное устройство. Пособие может быть использовано при подготовке студентов всех форм обучения специальности 030500 – Профессиональное обучение, в переподготовке специалистов, а также в самостоятельной работе студентов.

Рецензенты: проф., д-р техн. наук С.Е. Щеклеин
(Уральский государственный технический университет);
доц., канд. техн. наук А.А. Карпов
(Российский государственный профессионально-педагогический университет)

ISBN 5-8050-0111-x

© Российский государственный
профессионально-педагогический
университет, 2003

© Шабалдин Е.Д., Смолин Г.К., 2003

Оглавление

Введение.....	5
Раздел I. Теоретические сведения.....	5
1. Виды схем	5
1.1. Общие положения	5
1.2. Принципиальные схемы.....	8
1.3. Нумерация элементов принципиальных схем	10
2. Резисторы.....	14
2.1. Общие сведения	14
2.2. Рабочее напряжение	18
2.3. Температурный коэффициент сопротивления	18
2.4. Варисторы	20
2.5. Переменные резисторы	22
3. Конденсаторы.....	24
3.1. Общие сведения	24
3.2. Виды конденсаторов.....	31
3.3. Условные графические обозначения конденсаторов.....	35
3.4. Маркировка конденсаторов	36
3.5. Обозначения номиналов конденсаторов на принципиальных схемах	37
3.6. Сокращенная буквенно-цифровая кодировка конденсаторов	38
4. Индуктивные элементы.....	38
4.1. Общие сведения	38
4.2. Некоторые основные термины и определения	42
4.3. Классификация индуктивных элементов	45
5. Микросхемы	49
5.1. Общие сведения	49
5.2. Обозначения интегральных микросхем	50
6. Электромонтаж.....	54
6.1. Общие сведения	54
6.2. Пайка монтажных соединений	55
6.3. Припой	58
6.4. Флюсы	60
6.5. Классификация флюсов.....	62
6.6. Паяльники	63
6.7. Контроль качества пайки	66

Раздел II. Практическая работа	67
7. Проектирование печатной платы электронного устройства.....	67
7.1. Общие сведения	68
7.2. Классификация печатных плат.....	71
7.3. Конструкция печатных плат	74
7.4. Проектирование печатных плат	78
7.5. Основные правила конструирования печатных плат.....	80
7.6. Чертежи печатных плат	84
7.7. Описание используемого оборудования	87
7.8. Команды работы с учебной программой	90
7.9. Автоматическая трассировка.....	93
7.10. Порядок выполнения работы.....	94
Заключение	96
Библиографический список	97
Приложения	98

Введение

Во всех отраслях народного хозяйства, науки, культуры используются достижения электротехники, электроники и радиоэлектроники. С течением времени электроника как наука все более осваивается в повседневной деятельности человека – не только при использовании ее на производстве, но и в быту. Электроника все глубже интегрируется в другие отрасли. Чтобы научиться пользоваться электроприборами, при необходимости отремонтировать оборудование, усовершенствовать или сконструировать устройство, необходимо знать назначение электро- и радиоэлементов, из которых состоят такие устройства, способы соединения их между собой, а также представлять протекающие в них процессы. Все это подразумевает умение работать с источниками. Однако, чтобы читать литературу по данному вопросу или документацию, надо знать *язык электрических схем*.

Раздел I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. ВИДЫ СХЕМ

1.1. Общие положения

Электрические схемы – это чертежи, на которых составные части приборов (отдельные электро- и радиоэлементы или целые группы элементов, выполняющие самостоятельные функции) и связи (соединения) между ними показаны условно. В зависимости от назначения электрические схемы делятся:

- на структурные;
- функциональные;
- принципиальные.

При производстве, эксплуатации и ремонте аппаратуры используются также электромонтажные и сборочные чертежи, монтажные схемы, технологические карты.

Наиболее полное представление о *принципе* действия радиоэлектронного прибора дает *электрическая принципиальная схема* – на ней все электро- и радиоэлементы изображены в виде специальных символов (рис. 1.1).

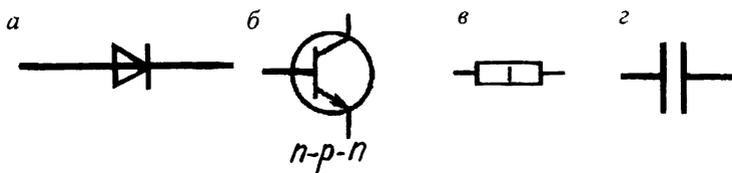


Рис. 1.1. Обозначения на электрических принципиальных схемах:
а – диод; *б* – транзистор п-р-п; *в* – резистор (1 Вт); *г* – конденсатор

Прежде чем рассматривать различные виды схем, применяемых в радиоэлектронике, целесообразно ознакомиться с некоторыми терминами, установленными ГОСТ 2.701–84 для обозначения составных частей радиоэлектронных устройств и приборов.

Элемент – часть радиоэлектронного прибора, которая выполняет определенную функцию и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение (к элементам относят резистор, транзистор, конденсатор, ИМС и т.д.).

Функциональная группа – совокупность элементов, не объединенных в единую конструкцию, но выполняющих совместно определенную функцию в изделии (функциональной группой являются: усилитель, модулятор, преобразователь и т.д.).

Устройство – совокупность элементов, представляющих единую конструкцию (например: плата, блок, шкаф и т.п.).

Структурная схема – схема, содержащая общие сведения о радиоэлектронном приборе. На ней показаны основные функциональные части прибора, их назначение и взаимосвязи. Структурными схемами пользуются для общего ознакомления с объектом (рис.1.2).

а



б

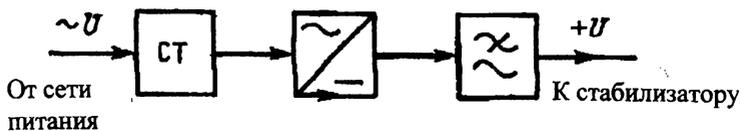


Рис. 1.2. Виды структурных схем выпрямителей:
а – с текстовыми пояснениями; б – в виде условных обозначений

Структурная схема, укрупненно показывающая функциональные части прибора, является недостаточно подробной для изучения процессов, протекающих в приборе. Поэтому получили распространение **функциональные схемы**, занимающие промежуточное положение между принципиальными и структурными схемами и совмещающие характерные особенности обеих. Такие схемы используют при производстве и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры; составление их часто необходимо при проектировании приборов перед разработкой принципиальных схем [9, с.9].

1.2. Принципиальные схемы

Правила построения и выполнения принципиальных электрических схем содержатся в стандартах ЕСКД ГОСТ 2.701–76, 2.705–75. Они сводятся к следующему:

1. Все элементы на схеме изображаются в виде условных графических обозначений (УГО), установленных стандартом ЕСКД.

2. Условные графические обозначения изображают в размерах, установленных в стандартах на условные графические обозначения. Допускается изображения пропорционально уменьшать (просвет между соседними линиями ≥ 1 мм). Допускается условные графические обозначения увеличивать при вписывании в них поясняющих знаков (обозначения выводов ИМС и т.д.). Приняты масштабы уменьшения 1:2, увеличения 2:1.

3. Графические обозначения элементов и связей между ними располагаются так, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре и действии электронного устройства. Линии должны состоять только из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь минимальное количество изломов и пересечений. Исключение составляют исторически сложившиеся начертания некоторых функциональных групп элементов,

например диодного моста (рис.1.3).

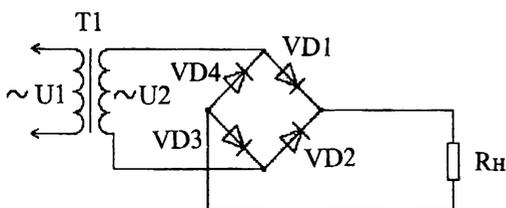


Рис. 1.3. Принципиальная схема диодного моста

4. Графические обозначения элементов выполняют линиями той же толщины, что и линии связи (электрические соединения между элементами). Линии связи варьируются по толщине

на $0,2 \div 1$ мм в зависимости от формата схем и графических обозначений. Рекомендуемая толщина – $0,3 \div 0,4$ мм.

5. В соответствии с ГОСТ 2.751–73 электрические связи в узлах необходимо показывать в виде зачерненных кружков (●) (как можно жирнее, так как на копиях они могут быть уже не видны, что приводит к неустраняемым ошибкам при последующем изготовлении устройств по этим схемам).

6. При изготовлении схем, имеющих входы и выходы, входы располагают слева, а выходы справа. Допускается изображать входы сверху, а выходы снизу.

7. На полной принципиальной схеме электронного устройства должны быть отображены конструктивные особенности устройства, а именно:

- показано разбиение схемы по платам;
- даны условные обозначения видов соединений (соединители, клеммы, переключатели и т.п.);
- указаны механические связи между электрическими элементами;
- отражены способы регулирования параметров элементов;
- учтено применение экранирования (электростатические и электромагнитные экраны, защищающие элементы и узлы от наводок).

8. Вычерчивая схему, около условных обозначений элементов *оставляют место для записи их позиционных обозначений.*

Практика показывает, что не удастся удовлетворительно вычертить полную принципиальную электрическую схему электронного устройства, имея ее фрагменты в виде схем входящих в нее функциональных элементов. Нужен черновой набросок полной схемы, ее эскиз. Часто автора устраивает только второй или даже третий эскиз – ситуация для творчества обычная.

1.3. Нумерация элементов принципиальных схем

Позиционная система нумерации выполняется по ГОСТ 2.702–75.

Классы и группы элементов обозначаются в виде латинских букв (табл. 1.1). Для того чтобы легко находить на принципиальной схеме нужный элемент, например указанный в руководстве на устройство, его описании, введена позиционная система нумерации элементов принципиальных схем.

Порядковые номера элементам присваивают, начиная с единицы в пределах каждого вида элементов (например, резисторы, конденсаторы и т.п.), в направлении сверху вниз и слева направо. Например, для транзисторов это будет выглядеть следующим образом:

VT1	VT4
VT2	VT5
VT3	VT6

Этот порядок может быть нарушен, если последовательность нумерации необходимо увязать с направлением прохождения сигнала, функциональной последовательностью процесса, с размещением элементов в устройстве, а также при нумерации элементов на функциональной схеме, где для удобства элементам целесообразно присваивать те же номера, что и на принципиальной схеме.

Позиционное обозначение проставляется на схеме рядом с условным графическим обозначением элемента с правой стороны или над ним (рис.1.4).

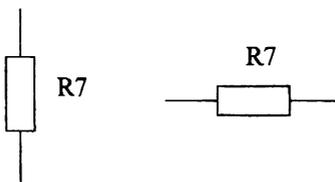


Рис. 1.4. Позиционные обозначения резисторов на принципиальной схеме

Таблица 1.1

Буквенные обозначения некоторых наиболее распространенных элементов принципиальных электрических схем

Буквенный код	Элементы электрических схем
BA	Громкоговоритель
BF	Телефонный капсюль
BM	Микрофон
BQ	Пьезоэлемент
C	Конденсатор
DA	Микросхема аналоговая интегральная
DD	Микросхема интегральная цифровая, логический элемент
EL	Лампа осветительная
F	Разрядники, предохранители, устройства защиты (общее обозначение)
FU	Предохранитель плавкий
G	Генераторы и источники питания
GB	Батарея гальванических элементов, аккумуляторов
HG	Индикатор символьный и на жидких кристаллах
HL	Прибор световой сигнализации (лампа)
K	Реле, контакторы, пускатели (общее обозначение)
KT	Реле времени
L	Катушка индуктивности, дроссель (общее обозначение)
M	Двигатель (общее обозначение)
P	Прибор измерительный (общее обозначение)
PA	Амперметр (миллиамперметр, микроамперметр)
PF	Частотомер
PR	Омметр
PT	Измеритель времени действия, часы
PV	Вольтметр
PW	Ваттметр

Окончание табл. 1.1

Буквенный код	Элементы электрических схем
R	Резисторы постоянные и переменные (общее обозначение)
RK	Терморезистор
RS	Шунт измерительный
RU	Варистор
Q	Выключатели, разъединители в силовых цепях электрооборудования (общее обозначение)
SA	Выключатель, переключатель (тумблер)
SB	Выключатель кнопочный
SF	Выключатель автоматический
T	Трансформатор, автотрансформатор
U	Преобразователи электрических величин в электрические; устройства связи (общее обозначение)
UB	Модулятор
UR	Демодулятор
V	Приборы полупроводниковые и электровакуумные (общее обозначение)
VD	Диод, стабилитрон
VT	Транзистор
VT	Тиристор
X	Соединение контактное (общее обозначение)
XP	Штырь (вилка)
XS	Гнездо (розетка)
XT	Соединение разборное

Дополнительно на принципиальных схемах могут указываться номиналы резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, а также маркировка электровакуумных, ионных, полупроводниковых приборов и ИМС.

Для разгрузки принципиальной схемы от излишних надписей применяется упрощенный способ обозначения единиц измерения величин (ГОСТ 2.702–75).

Если для принципиальной схемы разработан перечень элементов, то дополнительную информацию на схемах не помещают.

Связь перечня с условными графическими обозначениями элементов на схеме осуществляется через позиционные (буквенно-цифровые) обозначения элементов.

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В графе "Наименование" указывают общий заголовок группы элементов (например, "Резисторы"). В пределах каждой группы элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. После заголовка группы элементов предусматривается пустая строка (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Пример записи в Перечень элементов группы резисторов

Поз. Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<i>Резисторы</i>		
<i>R1</i>	<i>OMЛТ-0,5-200 Ом ±10%</i>	<i>1</i>	
<i>R2</i>	<i>ПЭВ-10-3кОм ±5%</i>	<i>1</i>	
<i>R3, R4</i>	<i>МЛТ-0,125-510 ±2%</i>	<i>2</i>	

Головка перечня элементов схемы выполняется в размерах, как показано в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Размеры при оформлении заголовка перечня элементов

Поз. Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	15
20	110	10		Ø min
				185

2. РЕЗИСТОРЫ

2.1. Общие сведения

Резистор (лат. "resisto" – сопротивляюсь) предназначен для перераспределения и регулирования электрической энергии между элементами схемы.

Резисторы используют в качестве:

- нагрузочных и токоограничительных элементов;
- делителей напряжения;
- добавочных сопротивлений и шунтов в измерительных цепях;
- элементов обратной связи;
- фильтров, а также для установки уровней сигналов и т.п.

Помимо этого вместе с конденсаторами они используются для задания постоянной времени в релаксационных цепях.

В настоящее время значительная часть резисторов выполняется в виде элементов интегральных схем. Следует отметить, что даже при создании микронэлектронной, в том числе вычислительной, техники, невозможно обойтись без дискретных резисторов.

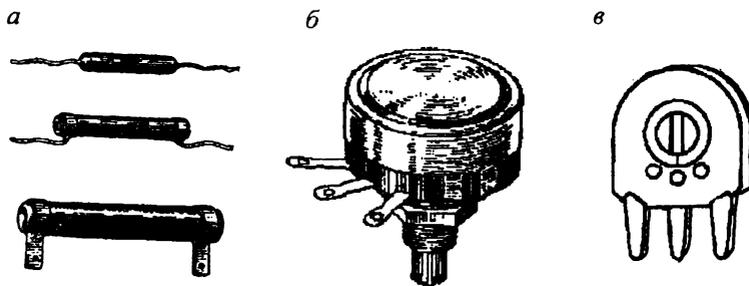


Рис. 2.1. Резисторы:

a – постоянные; *b* – переменный; *в* – подстроечный

Резисторы являются наиболее распространенными элементами электронных устройств и составляют до 50% от общего количества дискретных элементов.

По конструкции и назначению все резисторы делят на три группы: постоянные, переменные, подстроечные (рис. 2.1).

В зависимости от материала проводящего элемента резисторы подразделяют:

- на углеродистые – с проводящим (резистивным) элементом в виде пленки углерода;
- металлопленочные и металлоокисные – с проводящим элементом в виде пленки из сплава или окиси металла;
- композиционные – с проводящим элементом из нескольких компонентов;
- проволочные – с проводящим элементом из провода и микропровода;
- на полупроводниковые линейные и нелинейные – с проводящим элементом из полупроводникового материала [6].

Общая классификация резисторов приведена на рис. 2.2.

Для изготовления обмоток проволочных резисторов применяют провода высокого сопротивления.

Сопротивления выпускаемых промышленностью резисторов – от 0,01 Ом до 10^{12} Ом. Мощность рассеяния – от 0,05 Вт до 250 Вт.

Любой резистор обладает собственными индуктивностью и емкостью. Вследствие этого значение его сопротивления зависит от частоты проходящего через него тока, что часто бывает недопустимо. Проволочные резисторы обладают заметными индуктивностью и емкостью, поэтому их не используют для работы в высокочастотных цепях; в данном случае принято применять непроволочные резисторы.

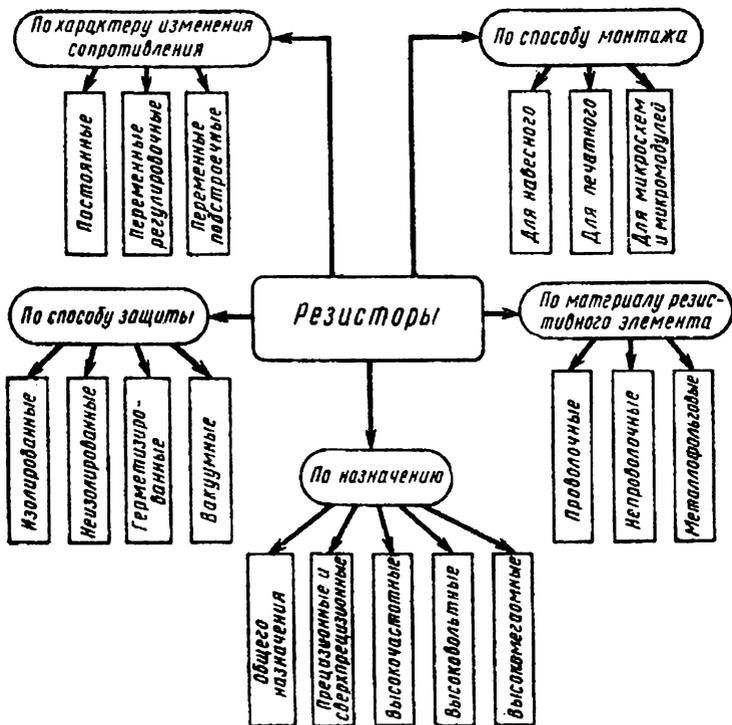


Рис. 2.2. Общая классификация резисторов

В 1980г. введена новая система сокращенных условных обозначений, по которой первый элемент (буква или сочетание букв) означает подкласс резистора (Р – постоянные резисторы, РП – переменные резисторы, НР – наборы резисторов); второй элемент (цифра или цифры) означает группу резистора по материалу резистивного элемента (1 – непроволочные, 2 – проволочные); третий элемент (цифра) означает регистрационный номер конкретного типа резистора и отделяется от второго элемента дефисом. Например, Р1-26 – постоянный непроволочный резистор с регистрационным номером 26.

Установлено шесть рядов номинальных значений: E6; E12; E24; E48; E96; E192. Цифра(-ы) после буквы E означает(-ют) число номинальных значений в данном ряду. Каждому номинальному значению соответствует определенный коэффициент, например ряду E6 соответствуют: 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

Действительное значение сопротивления получается умножением данного коэффициента на 10, 100 и т.д. Таким образом, для ряда E6 существуют резисторы с номиналами: 2,2 Ом; 22 Ом; 220 Ом; 2,2 кОм; 22 кОм; 220 кОм; 2,2 МОм и т.д. Для рядов E12, E24 и т.д. между числами ряда вводятся дополнительные коэффициенты, например для ряда E12: 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2 и т.д.

Ряды E96 и E192 используются для точного подбора номинала сопротивления.

При изготовлении резисторов массового применения (типа P1-1, МЛТ) фактические значения сопротивлений могут отличаться от номинальных в пределах установленных допусков. Ряд допустимых отклонений сопротивления от номинальных значений также нормализован.

Допустимые отклонения указывают в процентах в соответствии с рядом: $\pm 0,001\%$; $\pm 0,002$; $\pm 0,005$; $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 20 ; $\pm 30\%$.

Для различных электронных схем допуск резисторов имеет разное значение. Там, где необходима высокая точность, используются прецизионные (высокоточные) резисторы с отклонениями от номинального значения сопротивления не более 1%. Для большинства схем (схемы делителей напряжения смещения базы транзисторных каскадов, цепей обратной связи и др.) применимы резисторы с допусками до 10%.

Номинальная мощность рассеяния резистора – наибольшая мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы (наработки) при сохранении параметров в установленных пределах.

Мощность рассеяния зависит:

- от конструкции резисторов;
- физических свойств материалов;
- температуры окружающей среды.

С повышением температуры окружающей среды теплоотдача ухудшается и происходит нагрев резистора сверх допустимого теплового режима. Поэтому в этом случае требуется снижать электрическую нагрузку.

Мощность рассеяния резисторов нормирована следующим рядом (в ваттах): 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.

Номинальная мощность устанавливается расчетным путем исходя из выбранных материалов и конструкции и подтверждается длительными испытаниями.

Мощность рассеяния определяется в зависимости от проходящего через него тока и падения напряжения $P=IU$ или от номинального сопротивления $P=I^2R$.

2.2. Рабочее напряжение

Рабочее напряжение не должно превышать расчетное, которое определяется исходя из номинальной мощности и номинального сопротивления. Однако для резисторов с сопротивлением в сотни кОм и МОм это напряжение велико и может привести к пробое. Поэтому высоковольтные резисторы (работающие под высоким напряжением) имеют особую изоляцию (керамическое покрытие, остекление).

2.3. Температурный коэффициент сопротивления

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении внешней температуры на 1 °С. ТКС также характеризует обратимое

изменение сопротивления вследствие изменения температуры или электрической нагрузки. В зарубежной справочной литературе ТКС чаще указывается в процентах.

Для постоянных резисторов ТКС должен быть мал, так как значение их сопротивления не должно изменяться под воздействием температуры. Однако существует класс радиоэлементов, значительно изменяющих свое сопротивление при малом изменении внешней температуры или силы протекающего через них тока. Такие радиоэлементы называются *терморезисторами*. Изготавливаются они на основе полупроводниковых материалов, поэтому имеют нелинейную вольтамперную характеристику и называются нелинейными.

Терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ОТКС) называются *термисторами*, а с положительным (ПТКС) – *позисторами*. Типичные термисторы в диапазоне температур от 25 °С до 100 °С изменяют сопротивление от нескольких сот (тысяч) Ом, до нескольких десятков (сот) Ом. Позисторы обычно очень мало изменяют свое сопротивление в диапазоне температур от 0 °С до 75 °С, сохраняя его на уровне примерно 100 Ом. Начиная с температуры 80 °С их сопротивление начинает быстро расти – до значений порядка 10 кОм при температуре 120 °С [6, с. 406].

Типичной областью применения позисторов является защита от сверхтоков (токов, превышающих допустимое значение для цепи, в которую включен терморезистор), а также в системах пожарной сигнализации и др. Областью применения термисторов являются устройства для измерения температуры сред.

Терморезисторы бывают прямого и косвенного нагрева. Терморезисторы прямого нагрева нагреваются от воздействия внешней среды, либо протекающего через них тока (по закону Джоуля-Ленца). Терморезисторы косвенного нагрева имеют в своей конструкции термозлемент, расположенный в тепловом контакте с резистивным элементом. Терморезисторы такого типа имеют четыре вывода и позволяют управлять их сопротивлением дистанционно.

2.4. Варисторы

Существует класс полупроводниковых резисторов с нелинейной ВАХ, отличительной особенностью которых является резко выраженная зависимость электрического сопротивления от приложенного к ним напряжения.

Резисторы, сопротивление которых уменьшается при возрастании напряжения, называются *варисторами*.

Варисторы обычно применяются для подавления роста и всплесков напряжения, возникающих, например, при коммутации индуктивной нагрузки; для защиты других радиоэлементов от перенапряжений в цепях постоянного, переменного и импульсного тока.

Основным критерием работоспособности *постоянных резисторов* является стабильность их основного параметра – значения сопротивления. Для *переменных резисторов* более важным критерием работоспособности является сохранение нормальной регулировочной функции.

К наиболее типичным причинам отказов резисторов относятся:

- неправильный выбор типа резистора из расчета предельно допустимой мощности нагрузки без запаса и учета того, что критическая нагрузка может оказаться превышенной в результате изменения параметров других элементов схемы;
- превышение длительности импульсов или средней мощности нагрузки при работе в импульсном режиме без учета ограничений;
- установление режима нагрузки без поправок на пониженное атмосферное давление или повышенную температуру окружающей среды;
- неправильное крепление.

По данным зарубежной статистики, отказы из-за неправильного применения и монтажа резисторов составляют около 30–40% от общего числа отказов аппаратуры. Кроме того, примерно 20–25% отказов резисторов являются следствием повреждения других элементов.

На миниатюрных постоянных резисторах в соответствии с требованиями ГОСТ 17598–72 и Публикации 62 МЭК (Международной электрической комиссии) допускается маркировка цветным кодом. Ее наносят на корпус знаками в виде точек или полос. Для маркировки цветным кодом номинальное сопротивление резисторов в омах выражается двумя или тремя цифрами (в случае, если три цифры, последняя цифра не равна нулю) и множителем 10^n , где n – любое целое от -2 до $+9$ (таблица). Маркировочные знаки сдвигают к одному из торцов

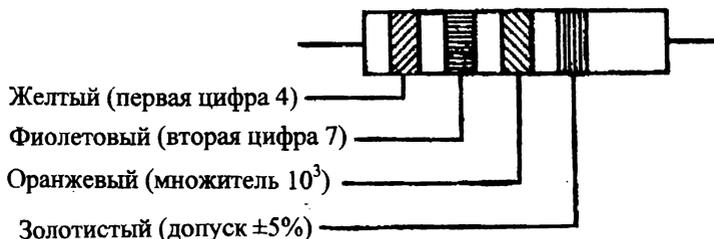


Рис. 2.3. Пример маркировки резистора с номинальным сопротивлением 47 кОм и допуском $\pm 5\%$

резистора и располагают слева направо в следующем порядке (рис.2.3).

- первая полоса – первая цифра;
 - вторая полоса – вторая цифра;
 - третья полоса – множитель;
 - четвертая полоса – допуск;
- } номинальное сопротивление.

Цветовая маркировка номинального сопротивления и допусков

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %	Кодированное обозначение
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	Множитель		
Серебристый	–	–	–	10^{-2}	± 10	К
Золотистый	–	–	–	10^{-1}	± 5	Ж
Черный	–	0	–	1	–	–
Коричневый	1	1	1	10	± 1	Б
Красный	2	2	2	10^2	± 2	К
Оранжевый	3	3	3	10^3	–	–
Желтый	4	4	4	10^4	–	–
Зеленый	5	5	5	10^5	$\pm 0,5$	З
Голубой	6	6	6	10^6	$\pm 0,25$	Г
Фиолетовый	7	7	7	10^7	$\pm 0,1$	В
Серый	8	8	8	10^8	$\pm 0,05$	С
Белый	9	9	9	10^9	–	–

2.5. Переменные резисторы

Переменные резисторы предназначены для регулирования токов и напряжений в электрических цепях. Регулировочные резисторы (рис.2.4) имеют большой ресурс работы по сравнению с подстроечными, которые предназначены для установки фиксированного значения сопротивления.

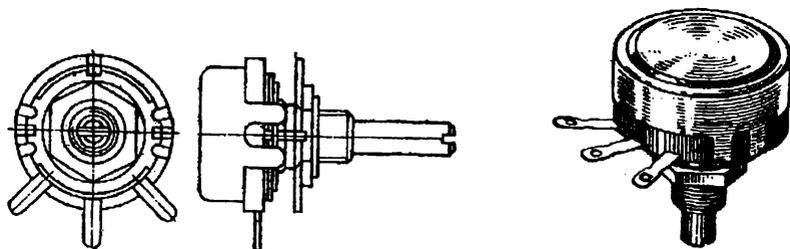


Рис. 2.4. Переменный регулировочный резистор типа СПЗ-30

Функциональная характеристика определяет зависимость сопротивления переменного резистора или напряжения от положения

подвижного контакта (рис.2.5). По характеру функциональной зависимости переменные резисторы делятся на линейные – типа А и нелинейные – типов Б, В, И, Е и др. Характер нелинейной зависимости определяется схемными задачами, для решения которых предназначен резистор. Наиболее распространенными являются зависимости логарифмические (Б) и обратнологарифмические (В). Резисторы с такими зависимостями применяются для регулировок громкости и тембра звука, яркости свечения индикаторов и т.п. Резисторы с характеристиками типа И или Е, а также с синусными, косинусными зависимостями используются в устройствах автоматики и вычислительной техники.

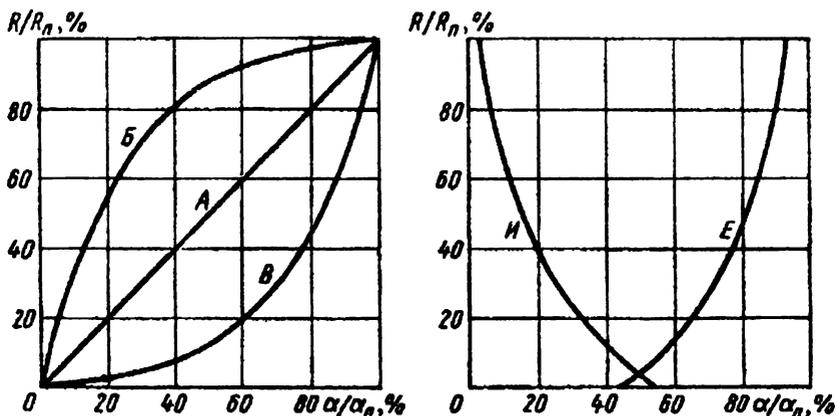


Рис. 2.5. Функциональные характеристики переменных резисторов

Условные графические обозначения резисторов на принципиальных схемах показаны на рис.2.6.



Рис. 2.6. Условные обозначения резисторов:

а – постоянный; б – переменный (общее обозначение); в – переменный подстроечный; з – переменный, совмещенный с выключателем

3. КОНДЕНСАТОРЫ

3.1. Общие сведения

Конденсатор (от лат. "condenso" – "сгущаю") – элемент, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком и предназначенных для использования его емкости. Отсюда вытекает основное свойство конденсаторов – способность пропускать переменный ток и не пропускать постоянный. Это свойство определяет широкое использование конденсаторов в РЭА.

Электрические конденсаторы – наиболее массовые изделия, широко используемые в радиоэлектронной аппаратуре. В связи с быстрым развитием современной электроники потребность в конденсаторах непрерывно возрастает. В настоящее время создана довольно широкая номенклатура этих изделий и продолжают разрабатываться новые типы с более высокими электрическими и эксплуатационными параметрами.

Конденсаторы используются в интегрирующих и дифференцирующих цепях, времязадающих цепях, частотных фильтрах, для разделения каскадов по постоянному току, как накопители электрической энергии в фотовспышках и др. Отличительной особенностью конденсаторов является то, что во время работы они не рассеивают энергию, т.е. не выделяют тепло. Нагрев конденсатора свидетельствует о его неисправности или превышении допустимых значений электрических параметров схемы, о чем будет сказано ниже. Основным эксплуатационным параметром конденсатора является его емкость.

Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов, которую заряд сообщает конденсатору:

$$C = \frac{q}{U},$$

где C – емкость, фарад (Ф);

q – заряд, кулон (Кл);

U – разность потенциалов на обкладках конденсатора, вольт (В).

За единицу емкости в Международной системе единиц СИ принимают емкость такого конденсатора, у которого потенциал возрастает на один вольт при сообщении ему заряда в один кулон. Эту единицу называют фарадой (Ф). Для практических целей она слишком велика, поэтому на практике используют более мелкие единицы емкости:

- $\text{мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$;
- $\text{нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$;
- $\text{пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$.

$$1 \text{ Ф} = 1\,000\,000 \text{ мкФ} = 1\,000\,000\,000 \text{ нФ} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ пФ}.$$

Простейшим конденсатором является система, состоящая из двух проводников или параллельных пластин, расположенных близко друг к другу и разделенных диэлектриком или воздушным промежутком (рис. 3.1).

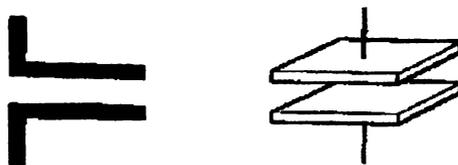


Рис. 3.1. Простейший плоский конденсатор

Для плоскостного конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d},$$

где ε_0 – электрическая постоянная ($8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$);

ε_r – относительная электрическая проницаемость материала, находящегося между обкладками;

S – площадь пластины, м^2 ;

d – толщина диэлектрика, м.

Приведем значения ϵ_r для некоторых диэлектрических материалов (таблица).

Относительная электрическая проницаемость диэлектриков

Материал	Значение
Воздух, вакуум	1
Фторопласт	2–2,1
Кварц	2,8
Органическое стекло	3–3,5
Бумага сухая, конденсаторная	3,3–6,5
Стекло	4–16
Слюда	6–7,5
Оксидные пленки	10–46
Керамика	12–230
Сегнетокерамика	900–8000
Титанат бария	8000

Таким образом, из уравнения электрической емкости следует, что для того чтобы получить большую емкость, нужны большая площадь пластин, меньший зазор между ними, большая диэлектрическая проницаемость изолятора. Из этого следует, что конденсаторы большой емкости имеют соответственно и большие габариты, которые тем не менее могут быть уменьшены за счет использования более совершенных диэлектрических материалов и технологий, позволяющих уменьшить расстояние между обкладками и увеличить их площадь. К таким типам конденсаторов относятся объемно-пористые конденсаторы, при изготовлении которых используется явление перкаляции. В этом случае обкладки представляют собой не плоскопараллельные поверхности, а имеют форму "кустов" с сильно развитой поверхностью. Дальнейшее совершенствование данной технологии, по оценкам зарубежных исследователей, приведет к появлению накопителей электрической энергии с использованием подобных конденсаторов, что позволит в некоторых случаях отказаться от аккумуляторов. Емкость батарей данных

конденсаторов будет настолько велика, что энергии хватит для питания двигателя, например электрокара, в течение рабочей смены. При этом количество циклов "заряд–разряд" у конденсатора в несколько сотен раз больше, чем у аккумулятора.

Свойства конденсаторов описываются следующими основными параметрами:

1. **Номинальная емкость и допустимое отклонение** ее фактического значения от номинального. Значение номинальной емкости обозначается на конденсаторе или указывается в нормативно-технической документации (НТД) и является исходным для расчета допусаемого отклонения. При указании допустимого отклонения емкости от номинального значения используют те же кодированные обозначения, что и для резисторов.

2. **Электрическая прочность.** Электрическую прочность характеризуют:

- **номинальное (рабочее) напряжение** – наибольшее напряжение, приложенное к электродам конденсатора, при котором он надежно и длительно работает. Для большинства типов конденсаторов номинальное рабочее напряжение указывают для постоянного тока. Действующее значение переменного напряжения должно быть в 1,5–2 раза меньше рабочего напряжения для постоянного тока;

- **испытательное напряжение** – максимальное напряжение, которое конденсатор выдерживает, не теряя электрических свойств (в течение нескольких секунд). Оно характеризует электрическую прочность при кратковременных перегрузках;

- **пробивное напряжение** – при данном напряжении происходит пробой диэлектрика.

3. **Сопротивление изоляции** конденсатора электрическому току, которое определяется качеством диэлектрика и его размерами (толщиной). Этот параметр характерен для конденсаторов с органическим и неорганическим диэлектриком. Сопротивление изоляции

конденсатора измеряется между его выводами. Для конденсаторов, допускающих касание своим корпусом шасси или токоведущих шин, вводится понятие *сопротивление изоляции между корпусом и соединенными вместе выводами*.

4. Ток утечки. Это ток проводимости, проходящий через конденсатор при постоянном напряжении на его обкладках в установившемся режиме. Ток утечки обусловлен наличием в диэлектрике свободных носителей заряда и характеризует качество диэлектрика конденсатора. Этот параметр свойствен вакуумным и оксидным конденсаторам. Ток утечки в большой степени зависит от значения приложенного напряжения и времени, в течение которого оно приложено. Ток утечки измеряется через 1–5 мин после подачи на конденсатор номинального напряжения. При подаче на конденсатор напряжения происходит "тренировка", т.е. постепенное уменьшение тока утечки (за счет "нарастания" диэлектрика, например оксидной пленки). При длительном хранении и длительной работе ток утечки конденсатора растет.

5. Собственная индуктивность конденсатора. Этим параметром ограничивается верхний предел частоты, при которой конденсатор можно применять. Чем меньше размеры конденсатора и чем короче и толще его выводы и внутренние соединительные проводники, тем меньше собственная индуктивность.

6. Температурный коэффициент емкости конденсатора, который характеризует обратимые изменения в нем, происходящие вследствие изменения температуры на 1°C [4, с. 11].

7. Реактивная мощность. Понятие реактивной мощности введено для высокочастотных, и особенно высоковольтных, конденсаторов и используется при установлении допустимых электрических режимов эксплуатации. При этом на низких частотах ограничения определяются допустимой амплитудой переменного тока, а на высоких частотах – допустимой реактивной мощностью конденсатора. Таким образом,

реактивная мощность характеризует нагрузочную способность конденсатора при наличии на нем больших напряжений высокой частоты:

$$P_p = 2\pi fCU^2.$$

Важное свойство конденсатора: для переменного тока он представляет собой сопротивление, величина которого уменьшается с ростом частоты.

Емкостное (реактивное) сопротивление рассчитывается по формуле

$$R_c = \frac{1}{2\pi f C},$$

где f – частота;

C – электрическая емкость.

Рассмотрим процессы заряда и разряда конденсатора по постоянному току.

Для сообщения электрического заряда одному проводнику (обкладке конденсатора) необходимо соединить его с одним из полюсов источника постоянного тока. При этом цепь разомкнута и ток в цепи не проходит. Если же второй проводник подключить к другому полюсу источника (рис. 3.2), то в момент замыкания цепи возникает кратковременный бросок тока, называемый *током заряда конденсатора*. Процесс заряда конденсатора происходит следующим образом. При подключении к источнику в цепи появляется зарядный ток – это свободные электроны идут к одной обкладке конденсатора и уходят с другой; происходит накопление зарядов. Таким образом, зарядный ток – это ток свободных электронов.

На пластине, которую подключали к выводу "+" батареи, заряды будут положительные, на другой, подключенной к выводу "-", – отрицательные. Разноименные заряды, притягиваясь друг к другу, остаются (удерживаются) на пластинах, но они не могут нейтрализовать друг друга, так как между пластинами находится *изолятор*.

Зарядный ток будет протекать до тех пор, пока конденсатор не примет все, что он может принять, пока не запасет столько зарядов, сколько позволяет ему емкость.

Чем больше емкость, чем больше зарядов должен накопить конденсатор, тем дольше будет продолжаться процесс заряда, тем дольше будет существовать в цепи зарядный ток. Но как только заряд конденсатора закончится, этот ток прекратится. Конденсатор всегда заряжается до уровня напряжения источника, к которому он подключен.

Если последовательно с конденсатором в зарядную цепь включить резистор, то он ограничит ток в цепи и процесс заряда будет длиться дольше.

Если соединить обкладки заряженного конденсатора резистором, то начнется процесс разряда. По внешней цепи избыточные заряды будут переходить с одной обкладки на другую, стремясь нейтрализовать друг друга. Во время разряда в цепи тоже течет ток, и его величина также зависит от емкости и также ограничивается сопротивлением цепи (в нашем случае – резистора). Разряд конденсатора будет длиться тем дольше, чем больше емкость конденсатора (т.е. чем больше зарядов должно уйти с обкладок) и чем больше сопротивление разрядной цепи.

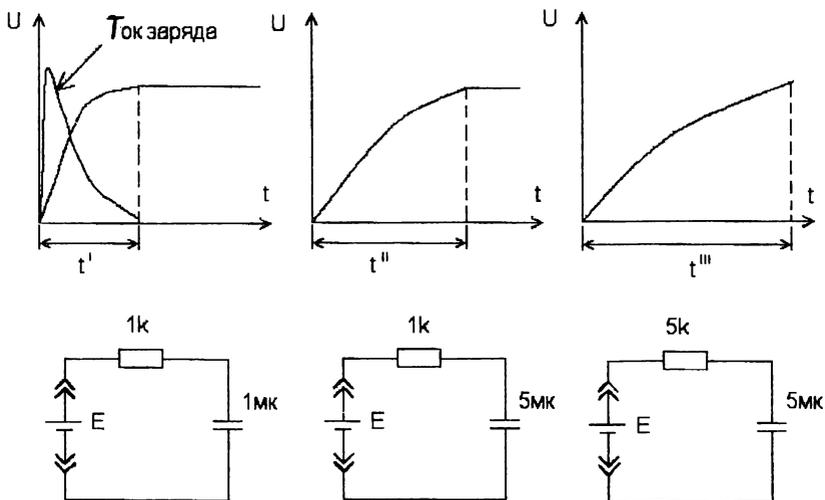


Рис. 3.2. Цикл заряда конденсатора по постоянному току

Быстрее всего разряд произойдет, если соединить обкладки коротко. Наблюдая за разрядом и зарядом конденсатора, мы впервые сталкиваемся с тем, что параметры электрической цепи определяют продолжительность тех или иных процессов (в данном случае время заряда и разряда). Электрическая цепь, состоящая из резистора и конденсатора, называется *RC-цепью*.

Произведение $RC = \tau$ называется *постоянной времени RC-цепи* (рис.3.3). За время τ напряжение на обкладках конденсатора уменьшается в e раз (в 2,7 раза, или, приблизительно, на 60%).

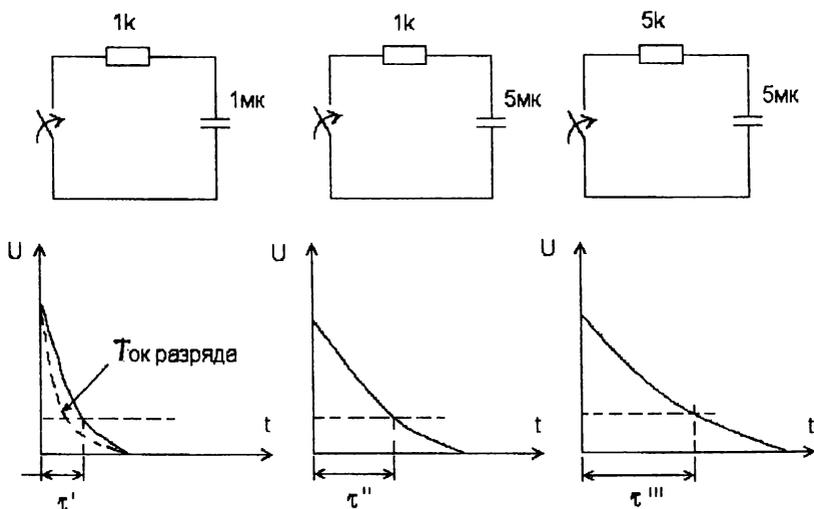


Рис. 3.3. Цикл разряда конденсатора по постоянному току

3.2. Виды конденсаторов

На рис. 3.4 приведена общая классификация конденсаторов. Наиболее распространены конденсаторы постоянной емкости. Их применяют в колебательных контурах, различного типа фильтрах, для разделения цепей постоянного и переменного тока и др.

Существует четыре главных типа конденсаторов по виду диэлектрика: бумажные (с органическим диэлектриком) (рис. 3.5), керамические, электролитические (оксидные), воздушные.

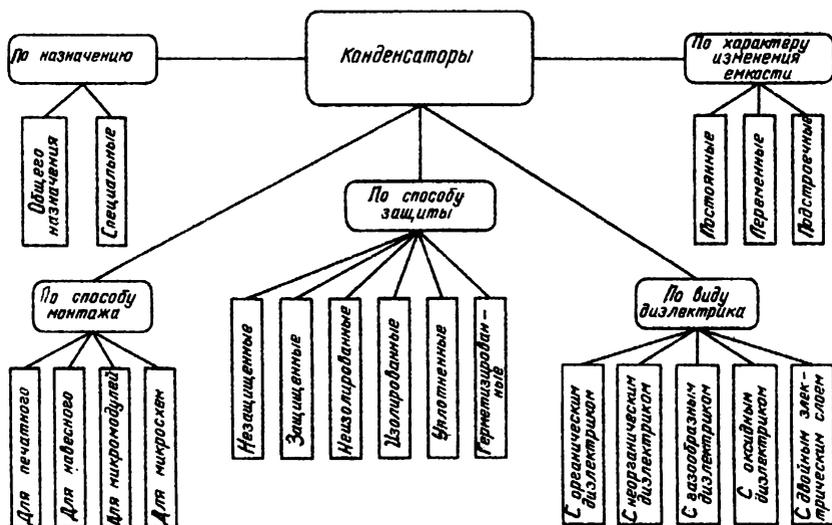


Рис. 3.4. Общая классификация конденсаторов

Для большинства бумажных конденсаторов $C=300 \text{ пФ} \div 4 \text{ мкФ}$,
 $U_{\text{рвб. макс.}} \leq 600 \text{ В}$.

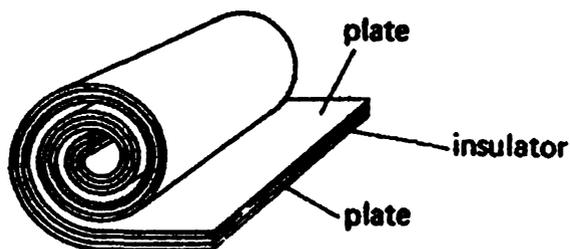


Рис. 3.5. Конденсатор с органическим диэлектриком

Керамические конденсаторы отличаются очень высоким рабочим напряжением и небольшой емкостью: $C=1 \text{ пФ} \div 0,1 \text{ мкФ}$, $U_{\text{раб.макс.}} \leq 30 \text{ кВ}$.

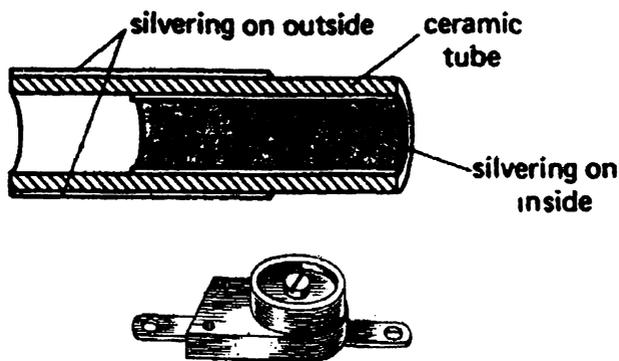


Рис. 3.6. Керамические конденсаторы (трубчатый и плоский, подстроечный)

Керамические конденсаторы ($C=1 \div 100000 \text{ мкФ}$, $U_{\text{раб.макс.}} \leq 500 \text{ В}$) широко используются в радиотехнике (например, в колебательных контурах), а также в вычислительной технике в качестве фильтров (для защиты интегральных схем от высокочастотных наводок, проникающих по цепям питания) (рис.3.6).

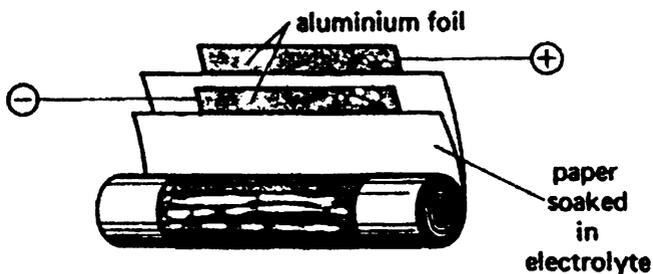


Рис. 3.7. Оксидный (старое название – электролитический) конденсатор



Рис. 3.8
Оксидный
конденсатор

Конденсаторы с оксидным диэлектриком – низковольтные с относительно большими потерями, но в отличие от других типов низковольтных конденсаторов имеют несравнимо высокие заряды и большие емкости (от единиц до сотен тысяч микрофард). Они используются в фильтрах источников вторичного электропитания, цепях развязки (рис. 3.7).

Полярные конденсаторы (рис. 3.8) должны включаться в электрическую цепь *строго полярно*; "+" означает анод. В качестве наполнителя в конденсаторах этого типа используется электролит в жидком или порошкообразном виде. Конденсаторы с жидким электролитом сейчас практически не используются из-за необходимости соблюдения осторожности с электролитом.

В большинстве случаев электроды помещены в цилиндрический корпус, являющийся отрицательным ("–") выводом. Обкладки в электролитическом конденсаторе в принципе устроены так же, как и в бумажном. Положительная обкладка представляет собой алюминиевую фольгу, покрытую тонкой оксидной пленкой, образующейся в результате электрохимического окисления. Эта пленка играет роль диэлектрика. Рядом с ней в контакте находится полоска бумаги или материи, пропитанной пастообразным электролитом. *Электролит выступает в качестве отрицательной обкладки конденсатора.* Вторая полоска алюминиевой фольги располагается рядом с этой бумажной в целях обеспечения электрического контакта с отрицательным электродом – электролитом. Все три слоя скатываются и помещаются в алюминиевый цилиндр, заполненный электролитом.

Воздушные конденсаторы ($C=1 \div 50$ пФ, $U_{\text{раб. макс.}} \leq 650$ В) относятся к регулируемым. Изменение емкости таких конденсаторов

осуществляется за счет изменения площади перекрытия неподвижных пластин статора пластинами ротора. Используются в цепях настройки радиоприемников, генераторов (рис. 3.9).

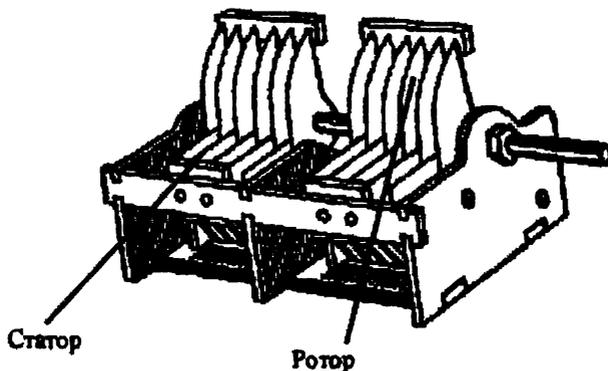


Рис. 3.9. Воздушный конденсатор

3.3. Условные графические обозначения конденсаторов

В условных графических обозначениях полярных конденсаторов присутствует знак, показывающий положительный электрод (рис. 3.10). В обозначении подстроечного конденсатора имеется знак, условно показывающий регулирование (например, отверткой), а в общем обозначении конденсатора переменной емкости показана стрелка (знак регулирования) (рис. 3.11). В обозначениях вариконда и термоконденсатора присутствует знак, показывающий нелинейность их характеристик, -- ломаная линия (рис. 3.12).

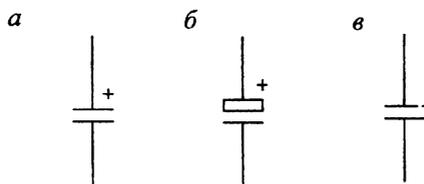


Рис. 3.10. Конденсаторы постоянной емкости:
а, б – полярные; *в* – неполярный



Рис. 3.11. Конденсаторы переменной емкости:
а – подстроечный; *б* – переменной емкости (общее обозначение)



Рис. 3.12. Нелинейные (саморегулирующиеся) конденсаторы:
а – вариконд; *б* – термоконденсатор

3.4. Маркировка конденсаторов

Условное обозначение конденсаторов может быть полным и сокращенным.

Сокращенное условное обозначение состоит из двух элементов:

Первый элемент включает буквы, обозначающие подкласс конденсаторов:

- К – постоянной емкости;
- КТ – подстроечный;
- КП – переменной емкости.

Второй элемент содержит обозначение группы в зависимости от материала диэлектрика: 10 – керамические на напряжение ≤ 600 В; 31 – слюдяные малой мощности; 40 – бумажные на напряжение ≤ 2 кВ; 50, 52, 53 – оксидно-электролитические; 60 – с воздушным диэлектриком и т.д.

Например: конденсатор оксидно-электролитический алюминиевый К50-7, конструктивного варианта "а", на номинальное напряжение 250В, номинальной емкостью 100 мкФ, всклиматического исполнения "В", поставляемый по ГОСТ 5.635–70, имеет полное условное обозначение К50-7а-250В-100мкФ-В.

3.5. Обозначения номиналов конденсаторов на принципиальных схемах

По ГОСТ 2.702–75 номинальную емкость от 0 до 9999 пФ указывают на схемах в пикофарадах без обозначения единицы измерения. От 10 000 пФ до 9999 мкФ – обозначают в микрофарадах с обозначением единицы измерения буквами (мк) (рис.3.13).

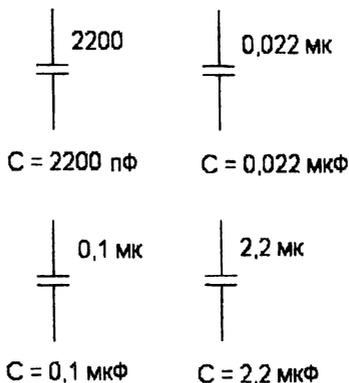


Рис. 3.13. Обозначение номинальной емкости конденсатора

3.6. Сокращенная буквенно-цифровая кодировка конденсаторов

Кодированные (сокращенные) обозначения предназначены для маркировки малогабаритных конденсаторов и записи на малоформатных многоэлементных принципиальных электрических схемах. Кодированное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включающих две или три цифры и букву.

Единицы измерения емкости обозначают буквами П(р), Н(н), М(м), Ф(Ф).

При этом емкость обозначают:

- от 0 до 99 пФ – в пикофарадах (например, 4,7пФ=4П7, 91пФ=91П);
- от 100пФ (0,1нФ) до 99нФ (0,099мкФ) – в нанофарадах;
- от 0,1 мкФ и выше – в микрофарадах.

В этом случае, если емкость выражена в долях нанофарада или микрофарада, соответствующую единицу измерения помещают на месте нуля и запятой: 180пФ=0,18нФ=Н18; 470пФ=0,47нФ=Н47; 0,33мкФ=М33.

Для указания *допускаемого отклонения* емкости от номинального значения используют те же кодированные обозначения, что и для резисторов.

4. ИНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

4.1. Общие сведения

В современной бытовой радиоэлектронной аппаратуре и аппаратуре промышленного назначения широкое применение находят различные индуктивные элементы. К ним относят катушки индуктивности, контурные катушки, дроссели и некоторые виды трансформаторов. Эти

изделия используются практически во всей радиоприемной и звуковоспроизводящей аппаратуре, но особое место они занимают в аппаратуре средств связи. Блочный-модульный принцип проектирования изделий, распространившийся в электротехнике и радиоэлектронике (с явно выраженной тенденцией к микроминиатюризации) внес существенные изменения в создание всех комплектующих электрорадиоэлементов (ЭРЭ), в том числе и индуктивных элементов. Их важнейшей характеристикой является индуктивность. В цепях переменного тока катушки и дроссели ведут себя как резисторы, сопротивление которых растет с увеличением частоты.

Индуктивность измеряют в генри (Гн), миллигенри ($1 \text{ мГн} = 10^{-3} \text{ Гн}$), микрогенри ($1 \text{ мкГн} = 10^{-6} \text{ Гн}$) и наногенри ($1 \text{ нГн} = 10^{-9} \text{ Гн}$).

Особое место в группе индуктивных элементов занимают малогабаритные дроссели фильтров, которые применяют преимущественно в блоках электрического питания РЭА, стабилизаторах и регуляторах напряжения и тока. Большое внимание в разработках уделяется вопросам расчета, конструирования и изготовления дросселей, работающих при повышенной температуре, на повышенных частотах при прямоугольной форме питающего напряжения. Эти разработки позволили освоить в промышленности ряд сердечников, учитывающих специфику различных областей техники, в которых применяют дроссели малой мощности. Развитие электроизоляционной техники и появление новых материалов позволили полностью отказаться от тяжелых конструкций и перейти к малогабаритным и высоконадежным открытым и плоским конструкциям. Значительно расширилось применение новых марок обмоточных проводов различного профиля, а также фольги.

Полный перевод всей РЭА на печатный монтаж находит отражение в конструкциях индуктивных элементов.

Конструкция индуктивных элементов определяется типоразмерами применяемых сердечников, расположением и числом выводов, наличием влагозащиты, расположением подстроечного узла и условиями

эксплуатации (рис. 4.1). По конструктивным признакам катушки индуктивности подразделяют на две группы: с магнитным сердечником и без него; которые, в свою очередь, делятся на *броневые, кольцевые, цилиндрические, спиральные*.

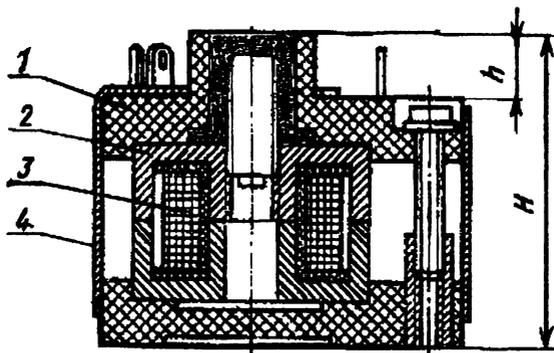


Рис. 4.1. Конструкция катушек индуктивности типа СБ для объемного (навесного) монтажа:

1 – основание; 2 – сердечник; 3 – катушка; 4 – экран

Индуктивные элементы можно систематизировать по эксплуатационным и рабочим характеристикам, которые зависят от многих факторов:

- от качества магнитного материала;
- потерь в сердечнике и обмотках, соотношения этих потерь;
- температуры окружающей среды;
- технологии изготовления;
- конструкции индуктивного элемента; места установки;
- способа и площади крепления на печатной плате;
- от температурного контактного сопротивления (для трансформаторов и дросселей) и др.

Индуктивные элементы являются обязательными элементами основных функциональных блоков радиоприемников, магнитол, тюнеров и других радиоприемных устройств бытовой РЭА. Они определяют практически все основные технические характеристики указанных изделий: добротность, надежность, устойчивую работу в различных условиях эксплуатации.

К изготовлению индуктивных элементов предъявляются жесткие технические требования, которые обеспечивают их качество и минимальные магнитные потери. Применяемые магнитные материалы с учетом экономических факторов должны обладать определенными и необходимыми свойствами: высокой магнитной проницаемостью в сильных электрических полях, имеющих переменные значения; малыми потерями на вихревые токи и перемагничивание; высокой технологичностью при изготовлении; невысокой стоимостью и др.

Конструкция сердечников отечественного производства, применяемых в катушках индуктивности, дросселях и других индуктивных элементах, унифицирована по типоразмерам, имеет регламентированные характеристики и апробирована в реально существующих изделиях. Номенклатура сердечников и магнитопроводов широка, достаточна для комплектации существующей РЭА. В вычислительной технике индуктивные элементы используются гораздо реже, чем в электротехнических и радиоэлектронных изделиях. Это связано с тем, что в устройствах цифровой вычислительной техники используются постоянные токи и напряжения (прямоугольные импульсы). Индуктивности в микроминиатюрном исполнении применяются в микросхемах и микромодулях (рис. 4.2); в виде навесных элементов и в печатном монтаже – в блоках питания вычислительной техники, мониторах, фильтрах и источниках бесперебойного питания, сетевом коммуникационном оборудовании (см. рис. 4.1).

В последнее время в переносных и стационарных источниках питания электронной аппаратуры (сетевых адаптерах) все чаще

используются импульсные схемы, исключая использование тяжелых моточных изделий (трансформаторов с медными обмотками и т.п.).

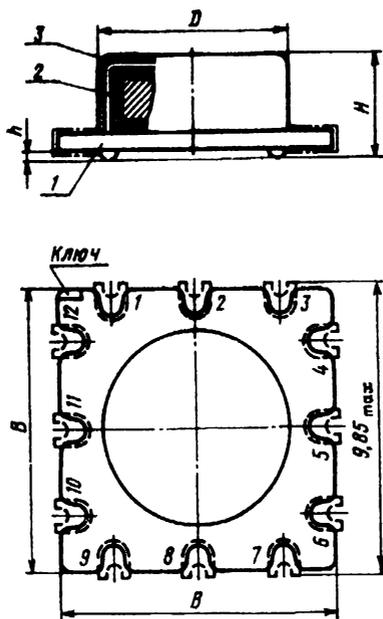


Рис. 4.2. Конструкция герметизированных микромодульных катушек индуктивности типа ФМ:

1 – плата керамическая; 2 – катушка с сердечником; 3 – колпачок (экран)

4.2. Некоторые основные термины и определения

Индуктивная катушка – элемент электрической цепи, предназначенный для использования индуктивности.

Катушка индуктивности – индуктивная катушка, являющаяся элементом колебательного контура и предназначенная для использования ее добротности.

Взаимная индукция – электромагнитная индукция, вызванная изменением сцепляющегося с контуром магнитного потока, обусловленного электрическими токами в других контурах.

Электромагнитная индукция – явление возбуждения электродвижущей силы в контуре при изменении магнитного потока, сцепляющегося с ним.

Электродвижущая сила (ЭДС) — скалярная величина, характеризующая способность стороннего поля и индуцированного электрического поля вызывать электрический ток.

Электромагнитная энергия – энергия электромагнитного поля, состоящая из энергий электрического и магнитного полей.

Добротность катушки индуктивности – отношение индуктивного сопротивления катушки индуктивности к ее активному сопротивлению (сопротивлению постоянному току). Чтобы увеличить добротность, пользуются разными конструктивными приемами, но наибольший эффект дает введение в катушку магнитопровода (сердечника) из специального магнитного материала.

Индуктивное сопротивление – реактивное сопротивление, обусловленное индуктивностью цепи и равное произведению индуктивности и угловой частоты.

Магнитная индукция – векторная величина, характеризующая магнитное поле и определяющая силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля. Магнитная индукция численно равна отношению силы, действующей на заряженную частицу, к произведению заряда и скорости частицы, если направление скорости таково, что эта сила максимальна и имеет направление, перпендикулярное векторам силы и скорости, совпадающее с поступательным перемещением правого винта при вращении его от направления силы к направлению скорости частицы с положительным зарядом.

Магнитный поток – поток магнитной индукции.

Магнитная постоянная – постоянная, равная в СИ $4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м.

Магнитное поле – одна из двух сторон электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и ее скорости.

Магнитомягкий материал – магнитный материал с коэрцитивной силой по индукции не более 4 кА/м.

Магнитотвердый материал – магнитный материал с коэрцитивной силой не менее 4 кА/м.

Намагничивание – процесс, в результате которого под воздействием внешнего магнитного поля возрастает намагниченность магнитного материала.

Намагниченность – векторная величина, характеризующая магнитное состояние вещества, равная пределу отношения магнитного момента элемента объема вещества к этому элементу объема, когда последний стремится к нулю.

Кольцевая катушка индуктивности с сердечником – катушка индуктивности, сердечник которой имеет форму кольца.

Броневая катушка индуктивности – катушка индуктивности, обмотка которой расположена внутри бронированного сердечника.

Магнитный сердечник катушки индуктивности – деталь или сборочная единица из магнитного материала, предназначенная для сосредоточения в ней магнитного потока.

Чашка бронированного сердечника – полый цилиндр с основанием из магнитного материала. Цилиндр может состояться из отдельных деталей.

Неподстраиваемая катушка индуктивности – катушка индуктивности, индуктивность которой постоянна.

Подстраиваемая катушка индуктивности – катушка индуктивности, индуктивность которой может быть изменена в заданных пределах.

Подстроечный сердечник катушки индуктивности – деталь, обеспечивающая возможность изменения индуктивности катушки без изменения числа витков обмотки.

Номинальная индуктивность – значение индуктивности, являющееся исходным для отсчета отклонений.

Собственная индуктивность катушки – отношение потокосцепления самоиндукции катушки индуктивности к току, протекающему через нее.

Температурный коэффициент добротности катушки индуктивности (ТКД) – отношение относительного изменения добротности катушки индуктивности к интервалу температур, вызвавшему это изменение.

Температурный коэффициент индуктивности катушки (ТКИ) – отношение относительного изменения индуктивности к интервалу температур, вызвавшему это изменение.

Температурный коэффициент катушки индуктивности (ТКК) – отношение относительного изменения эффективной индуктивности катушки к интервалу температур, вызвавшему это изменение.

4.3. Классификация индуктивных элементов

Индуктивные элементы, применяемые в РЭА, классифицируются по различным основаниям: по конструктивным признакам, функциональному назначению, используемым магнитным материалам, рабочей частоте, по типу электрической схемы и др.

Конструктивные признаки. Катушки индуктивности для аппаратуры связи по конструктивным признакам подразделяются на два типа: с магнитным сердечником и без него. В свою очередь, катушки индуктивности с магнитным сердечником подразделяются на *броневые, кольцевые и цилиндрические*. Катушки индуктивности без магнитного сердечника подразделяются на *кольцевые, спиральные и цилиндрические*.

Используемые материалы. Индуктивные элементы из ферритов и магнитодиэлектриков (сердечники, подстроечники, чашки, магниты и

другие изделия различных конфигураций) подразделяют на следующие подгруппы: на индуктивные элементы из магнитомягких марганец-цинковых ферритов; магнитомягких ферритов (кроме марганец-цинковых); ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ); сверхвысокочастотных ферритов; магнитострикционных ферритов; из магнитотвердых ферритов. Изделия из магнитодиэлектриков подразделяются на три подгруппы: из прессованного порошкообразного альсифера; прессованного порошкообразного карбонильного железа; из прессованного порошкообразного пермаллоя.

Функциональное назначение. Этот классификационный признак является основным для дросселей фильтров, катушек индуктивности, катушек фильтров нижних частот. Он характеризует основные функции, выполняемые индуктивным элементом в электрической схеме конкретных узлов РЭА.

Рабочая частота. Это главный признак индуктивного элемента, который определяет ряд характеристик радиоэлектронного блока, узла, в котором он работает. По этому признаку индуктивные элементы могут быть классифицированы на элементы, работающие на пониженной частоте (ниже 50 Гц); промышленной частоте (50 Гц); повышенной промышленной частоте (400, 1000 Гц); повышенной частоте (до 10000 Гц); высокой частоте (свыше 10000 Гц).

Тип электрической схемы. Индуктивные элементы по данному признаку подразделяются на одно-, двух- и многообмоточные. В однообмоточных элементах кроме электромагнитной связи между обмотками существует еще и непосредственная электрическая связь. Такой индуктивный элемент не имеет гальванической развязки. Двухобмоточный индуктивный элемент имеет две обмотки, которые электрически не связаны друг с другом.

Конструктивные признаки. Это основные классификационные признаки индуктивных элементов, в основе которых лежат конструкция магнитопровода, его форма и технология изготовления.

Конструктивно сердечники индуктивных элементов подразделяются на *броневые, стержневые и тороидальные*. Дроссели фильтров в зависимости от конструкции применяемого магнитопровода подразделяются соответственно на *броневые, стержневые и тороидальные*.

Магнитопроводы сглаживающих фильтров характеризуются наличием немагнитного (воздушного) зазора, что позволяет достичь больших значений индуктивности, а также существенно уменьшить степень изменения индуктивности дросселя при изменении тока в обмотке.

В зависимости от вида электромагнитного материала и технологии изготовления сердечника дроссели делятся на пластинчатые (шихтованные), ленточные (витые) и прессованные (или литые). Следует заметить, что сердечники из ферритов и магнитодиэлектриков находят наиболее широкое применение в индуктивных элементах бытовой РЭА. Классификация и система обозначений изделий из ферритов и магнитодиэлектриков тесно связаны с классификацией и обозначениями индуктивных элементов.

Деление индуктивных элементов на изделия с магнитными сердечниками и без них является удобным, так как позволяет учитывать их конструктивные особенности. Кроме того, целесообразно выделять индуктивные элементы, например катушки индуктивности с отводами, многообмоточные катушки с заданным коэффициентом связи, катушки нелинейные, дроссельные; для генераторных контуров, линий задержек и др.

В целях микроминиатюризации бытовой РЭА ведутся работы по созданию индуктивных элементов для интегральных микросхем – это спиральные катушки на тонких и толстых пленках, плоские спиральные проволочные катушки, а также катушки с планарными выводами на базе классических катушек индуктивности. Новые виды катушек индуктивности могут быть отнесены к самостоятельной классификационной группе.

Изделия из ферритов и магнитоэлектриков подразделяются на девять классификационных подгрупп. Шесть подгрупп занимают изделия из ферритов и три подгруппы — изделия из магнитоэлектриков. Одновременно в научно-технической литературе принята система сокращенных обозначений, позволяющая в буквенно-цифровой форме представить все типы изделий из ферритов и магнитоэлектриков, выпускаемых отечественной промышленностью.

На рис. 4.3 и рис. 4.4 показаны УГО и внешний вид некоторых катушек индуктивности. Индуктивность катушек, используемых в колебательных контурах радиовещательных приемников, в зависимости от диапазона частот составляет от долей и единиц микрогенри (УКВ и КВ) до нескольких миллигенри (ДВ).

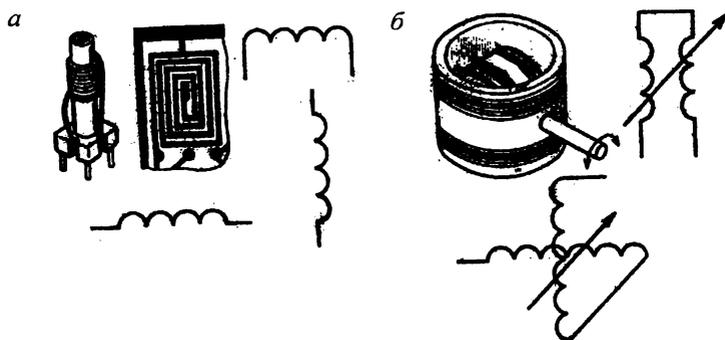


Рис. 4.3. УГО и конструкции катушек индуктивности:

а – неподстраиваемой катушки (в навесном и интегральном исполнении);

б – подстраиваемой катушки (вариометр)

В антенных контурах коротковолновых передатчиков и специальных приемников УКВ применяют вариометры с переменным числом витков. Вариометры характеризуются плавным изменением индуктивности.

При внесении магнитопровода в катушку силовые линии магнитного поля концентрируются в магнитопроводе, так как его сопротивление

магнитному потоку значительно меньше, чем воздуха. В результате магнитный поток, а следовательно, и индуктивность катушки увеличиваются в несколько раз, что позволяет уменьшить количество витков, а значит, и сопротивление катушки постоянному току. При использовании магнитопроводов удастся значительно уменьшить размеры катушек и очень простым способом (перемещением магнитопровода) осуществить регулировку их индуктивности. На рис. 4.4 изображена катушка с регулируемой индуктивностью.

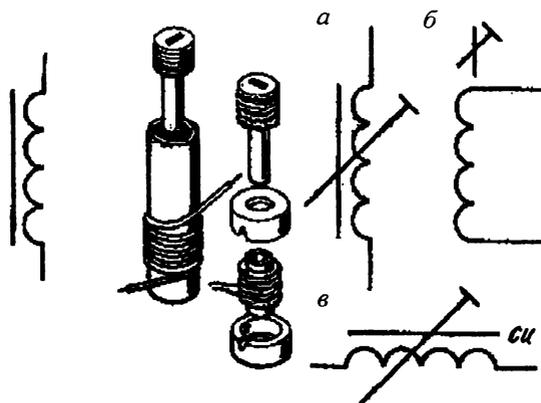


Рис. 4.4. УГО и конструкция регулируемых катушек с магнитопроводом:

- а, б* – индуктивность изменяется с помощью магнитопровода;
- в* – индуктивность изменяется с помощью немагнитного магнитопровода–
подстроечника из меди

5. МИКРОСХЕМЫ

5.1. Общие сведения

Интегральной микросхемой (ИМС) называется микроэлектронное устройство, выполняющее определенную функцию преобразования и

обработки сигнала и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и(или) кристаллов, которые с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации рассматриваются как единое целое.

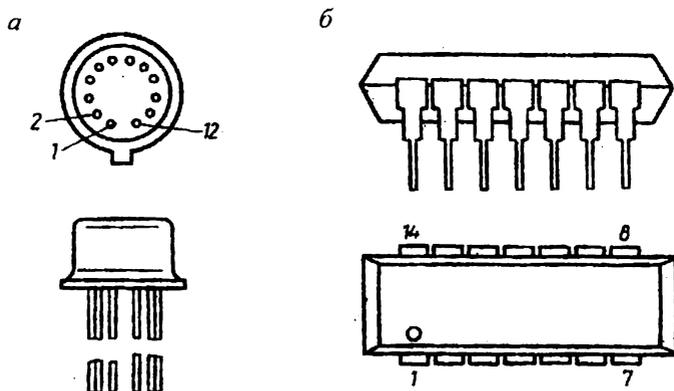


Рис. 5.1. Корпуса ИМС:

а – круглый металлический; *б* – прямоугольный пластмассовый со штырьковыми выводами

5.2. Обозначения интегральных микросхем

Для обозначения первого вывода ИМС используется ключ – выемка, "флажок" (рис. 5.1, *а*), цветная точка (рис. 5.1, *б*).

Условные обозначения ИМС состоят из четырех основных цифробуквенных элементов.

Первый элемент – цифра, обозначающая конструктивно-технологическую группу: полупроводниковые ИМС имеют обозначения 1,5,6,7; группа гибридных ИМС – 2,4,8; прочие ИМС – 3.

Второй элемент является двух- или трехзначным числом, обозначающим порядковый номер серии.

Третий элемент состоит из двух букв, определяющих функциональное назначение ИМС. Первая из букв определяет принадлежность ИМС к конкретной подгруппе, а вторая – к виду. Например, в аббревиатуре ЛА буква Л обозначает логические элементы, ЛА – элемент И-НЕ.

Четвертый элемент – это порядковый номер разработки ИМС данного функционального типа.

Первый и второй элементы совместно обозначают серию ИМС, перед которой могут быть поставлены буквы, характеризующие конструкцию корпуса, например, К155ЛА3 означает:

- К – ИС широкого применения, в пластмассовом корпусе;
- 1 – полупроводниковая, 55 – порядковый номер серии;
- ЛА – логический элемент И-НЕ, 3 – порядковый номер разработки ИС в данной серии по функциональному признаку (например, по количеству входов) (рис. 5.2).

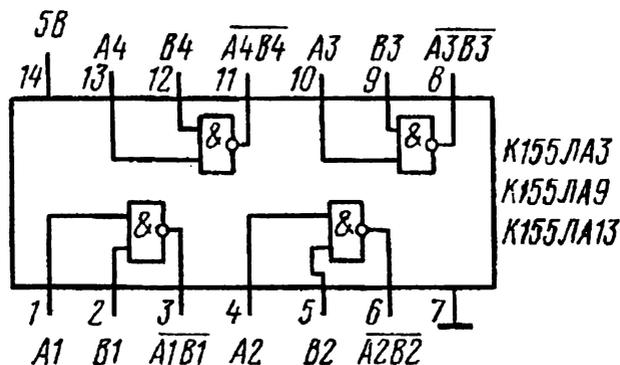


Рис. 5.2. Нумерация выводов микросхемы ("цоколевка")

На принципиальных схемах позиционные обозначения элементов, входящих в одну ИМС, приводятся в виде буквенно-цифрового кода.

Например, DD1.4; здесь 1 – номер корпуса ИМС, 4 – номер элемента в корпусе. В приведенной ниже таблице даны обозначения некоторых распространенных ИМС, а на рис. 5.3 приводится образец оформления УГО цифровой микросхемы.

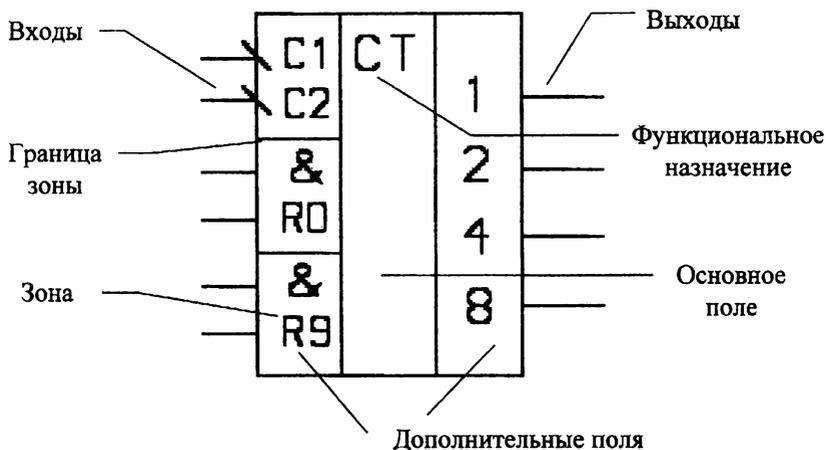


Рис. 5.3. Общий вид условного обозначения ИМС (пример для двоично-десятичного счетчика)

Входы ИМС изображают слева, выходы – справа, остальные выводы -- с любой стороны. При необходимости допускается поворачивать условное обозначение на угол 90° по часовой стрелке, т.е. располагать входы сверху, в выходы – снизу (рис. 5.4).

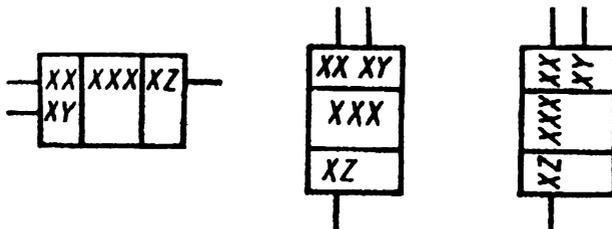


Рис. 5.4. Способы расположения входов и выходов ИМС в условном графическом обозначении

Некоторые виды интегральных схем

Вид	Обозначение на корпусе	Обозначение на схемах
<i>Схемы цифровых устройств:</i>		
Регистры	ИР	RG
Сумматоры	ИМ	SUM
Счетчики	ИЕ	CT
Шифраторы	ИВ	CD
Дешифраторы	ИД	DC
Мультиплексоры	КП	MS
<i>Коммутаторы и ключи:</i>		
тока	КТ	—
напряжения	КН	SW
<i>Логические элементы:</i>		
Элемент И	ЛИ	&
Элемент НЕ	ЛН	1
Элемент ИЛИ	ЛЛ	1
Элемент И-НЕ	ЛА	&
Элемент ИЛИ-НЕ	ЛЕ	—
Элемент И-ИЛИ	ЛС	—
Элемент "Исключающее ИЛИ"	ЛП	=1
<i>Триггеры:</i>		
типа JK	ТВ	T
типа RS	ТР	T
типа D	ТМ	T
счетные типа T	ТТ	ТТ
Шмитта	ТЛ	—

6. ЭЛЕКТРОМОНТАЖ

6.1. Общие сведения

Электромонтаж и электрические соединения занимают большое место в конструкции любой радио- и электронной аппаратуры, ЭВМ.

На всех уровнях конструктивной иерархии используются самые разнообразные виды монтажа:

- проволочный (навесной, объемный);
- жгутовой;
- печатный.

Все виды соединений призваны обеспечивать электрическую и механическую неразрывность схемы и конструкции ЭВМ. Электромонтаж в конструкции ЭВМ должен:

- 1) обеспечивать нормальную ее работу в заданных условиях механических и климатических воздействий;
- 2) соответствовать техническим условиям, принципиальным и электромонтажным схемам, таблицам соединения;
- 3) обеспечивать высокую надежность электрического соединения.
- 4) допускать удобную и быструю замену вышедших из строя элементов;
- 5) допускать возможность подключения контрольно-измерительной аппаратуры к любой точке схемы;
- 6) быть технологичным и выполняться с максимальным использованием автоматизации;
- 7) иметь минимально короткие длины связей и малый уровень наводимых помех.

Электрическое соединение (паяное, сварное, изготовленное методом накрутки и т.д.) в микросхемах должно:

- иметь прочность не ниже прочности соединяемых элементов;

- иметь минимальное омическое сопротивление;
- не изменяться со временем;
- при выполнении не вносить изменения в соединяемые элементы;
- не содержать материалы, вызывающие коррозию;
- контролироваться простыми и надежными средствами.

Виды электрических соединений:

1. *Постоянные*. Демонтаж таких соединений приводит к разрушению одного или обоих присоединяемых проводов (например, сварка).
2. *Полупостоянные*. К ним относится, например, пайка. Демонтаж таких соединений требует использования специального оборудования.
3. *Временные* (быстроразъемные). К ним относятся, например, штепсельные соединения. Электрический контакт в этом случае обеспечивается силой трения.

6.2. Пайка монтажных соединений

Пайка – физико-химический процесс получения неразъемного соединения в результате взаимодействия твердого паяемого и жидкого припаяемого металлов соединяемых деталей. Пайка имеет сходство со сваркой плавлением, но между ними имеются принципиальные различия. Формирование шва при пайке происходит путем заполнения припоем зазора между соединяемыми деталями, т.е. процесс пайки связан с капиллярным течением, что не имеет места при сварке плавлением. В отличие от сварки плавлением пайка осуществляется при температурах ниже температуры плавления паяемого материала.

Пайка используется как для механического, так и для электрического соединения проводников. Пайка на сегодняшний день является основной радиомонтажной операцией.

В процессе пайки происходит взаимное растворение и диффузия припоя и основного металла, чем обеспечивается после затвердения припоя определенная механическая прочность паяного соединения.

Существует несколько технологических процессов пайки, в том числе пайка:

- 1) волной припоя;
- 2) с общим погружением;
- 3) паяльником с постоянным нагревом;
- 4) паяльником с импульсным подогревом;
- 5) струей горячего газа.

При пайке с общим погружением в расплавленный припой печатную плату с установленными на ней радиодеталями закрепляют в специальном держателе и погружают в ванну с расплавленным припоем.

Другим способом групповой пайки с использованием защитных масок является *избирательная (фильтрная) пайка* (рис. 6.1), при которой припой 3 через фильтр 5 подается к точкам паяния 4, уменьшая тем самым нагрев радиоэлементов и основания платы 1.

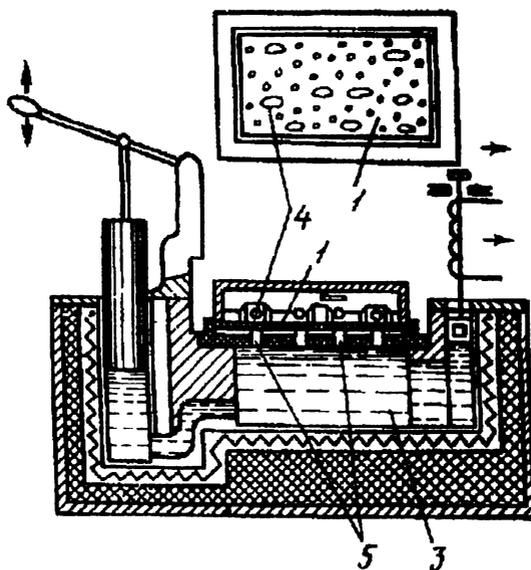


Рис. 6.1. Избирательная пайка

Наиболее эффективным способом механизированной групповой пайки является *пайка волной припоя* (рис. 6.2).

Этот способ пайки заключается в том, что монтажная плата 1 проходит с определенной скоростью по первому и второму гребням двойной волны 6 расплавленного припоя 3, создаваемого на его поверхности специальным устройством.

Данный способ дает возможность легко автоматизировать процесс пайки печатных плат. Непрерывное движение конвейера с паяемой платой позволяет создавать автоматизированные линии производства печатных плат, включающие в себя полный комплекс операций: установку элементов, их обезжиривание, флюсование, наклейку маски, предварительный подогрев, пайку, снятие маски, отмывку от флюса, сушку и лакирование.

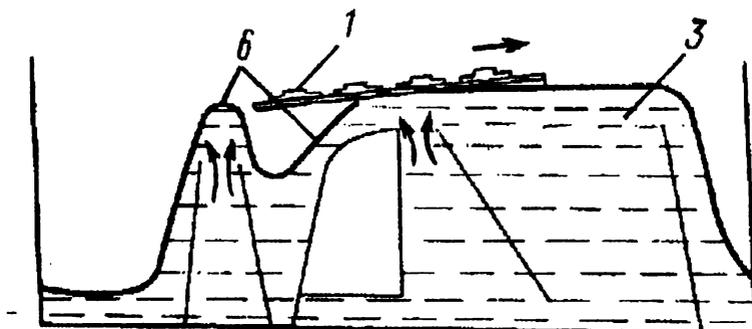


Рис. 6.2. Пайка волной припоя

Автоматизация сборки печатных плат чаще всего осуществляется в массовом и крупносерийном производстве.

Пайка, при которой расплавленный припой заполняет зазор и удерживается в нем под действием капиллярных сил, называется *капиллярной пайкой*. Этот способ пайки является самым распространенным. Обычно под этим способом подразумевают пайку с

зазорами, не превышающими 0,5–0,7 мм. Величина зазора при прочих равных условиях определяет структуру, механические свойства соединения, экономичность процесса и т.д.

6.3. Припой

В качестве припоев используют различные цветные металлы и сплавы.

Качество паяного соединения наряду с другими факторами зависит от используемого припоя, к которому предъявляют следующие требования:

- температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления соединяемых материалов;
- припой должен обладать хорошей жидкотекучестью, смачивать поверхности соединяемых материалов, растекаться по ним, проникать в узкие зазоры;
- коррозионная стойкость припоя, паяных швов и паяемого материала должна быть примерно одинаковой во избежание образования микрогальванических пар (электрокоррозия);
- температурные коэффициенты линейного расширения припоя и соединяемых материалов должны быть максимально близкими во избежание образования остаточных напряжений и трещин в паяном соединении;
- припой не должен в значительной степени снижать прочность (статическую и вибрационную) и пластичность соединяемых материалов, а также способствовать их хрупкому разрушению.

Помимо общих требований к припоям в зависимости от их использования может предъявляться и ряд специфических требований, например, по электропроводности, теплопроводности, коррозионной

стойкости в специальных средах, деформации в горячем и холодном состояниях и др.

Механическая прочность припоев возрастает с увеличением содержания олова.

Электропроводность припоев зависит от содержания олова и составляет 8–14% электропроводности чистой меди.

Теплопроводность припоев находится в обратной пропорции содержанию олова.

Коррозийная стойкость припоев в различных агрессивных средах зависит от содержания олова. С увеличением его содержания стойкость к кислотам повышается, к щелочам – понижается.

Олово, как и свинец, в отдельности сравнительно редко применяют в качестве припоя.

Хотя олово и обладает высокой коррозионной стойкостью, паять им не всегда целесообразно, так как оно, подобно свинцу, имеет низкий предел ползучести.

Наибольшее применение нашли припои, содержащие 30–60% олова.

Оловянно-свинцовые припои применяют в различных отраслях промышленности при низкотемпературной пайке сталей, никеля, меди и ее сплавов. Они обладают высокими технологическими качествами, пластичны и при выполнении не требуют дорогостоящего оборудования и сложных способов пайки. Пайку оловянно-свинцовыми припоями производят обычно при нагреве паяльником.

Как правило, на практике чаще всего используются следующие припои:

1. Припой ПОС-40 (содержит 39–41% олова, остальное – свинец). Применяется для лужения и пайки электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами. $T_{\text{пл}} = 235^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{пайки}} = 290^{\circ}\text{C}$.

2. Припой ПОС-61 (содержит 60–62% олова, остальное – свинец). Применяется для лужения и пайки электро- и радиоаппаратуры, печатных

плат, точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев. $T_{пл} = 190^{\circ}\text{C}$, $T_{пайки} = 240^{\circ}\text{C}$.

3. Припой ПОС-90 (содержит 89–91% олова, остальное – свинец). Применяется для лужения и пайки внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры.

На рис. 6.3 показана *диаграмма состояния*, которая показывает зависимость температур плавления и затвердевания от процентного содержания компонентов сплава.

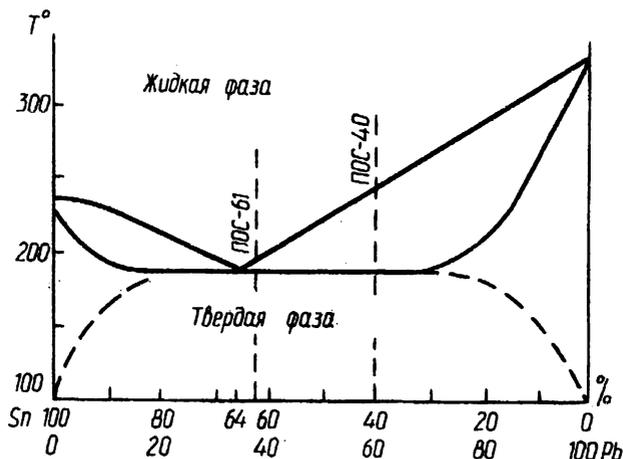


Рис. 6.3. Диаграмма состояний для сплава "олово-свинец" (Sn – Pb)

Из диаграммы видно, что оптимальным является соотношение 64% олова и 36% свинца, при котором температуры плавления и затвердевания совпадают и имеют самое низкое значение (183°C).

6.4. Флюсы

Паяльный флюс – вспомогательный материал, применяемый для удаления окислов с поверхности паемого материала и припоя и

предотвращения их образования в процессе пайки (флюс не допускает кислород к месту пайки).

Для обеспечения высокого качества паяного соединения свойства флюсы:

1) должны вступать во взаимодействие с окислами, прежде чем расплавится припой. Для каждого флюса существует температура его активного действия, которая несколько превышает температуру плавления флюса, но она должна быть ниже температуры плавления припоя;

2) должны быть жидкими и достаточно подвижными при температуре пайки, легко и равномерно растекаться по основному металлу, заполнять монтажные отверстия;

3) не должны образовывать соединений с основным металлом и припоем;

4) должны равномерно растекаться у места пайки, не давая окислиться ему в процессе пайки;

5) не должны давать остатка, способного вызвать коррозию.

Дымы в процессе пайки должны быть безвредными для окружающих деталей в случае осаждения копоти на их поверхность.

В качестве флюсов используются различные одно- и многокомпонентные соединения. Компоненты флюса выбирают в зависимости от характера окисла на поверхности металла. Для кислого окисла флюс должен иметь основной характер; для окислов, являющихся основанием, флюс должен быть кислым. В тех случаях, когда химическая активность компонентов флюса недостаточна, в него вводят соединения, растворяющие окисную пленку.

Иногда для разрушения окислов может быть использовано вещество, более активно вступающее во взаимодействие с самим металлом, чем с его окисной пленкой. Через трещины в окисной пленке это вещество может вступить в реакцию с металлом, а продукт реакции, образующийся при этом, диспергирует окисную пленку, очищая поверхность детали.

6.5. Классификация флюсов

По наиболее общей классификации флюсы делятся на неактивные (бескислотные) и активные (кислотные).

По температурному интервалу пайки флюсы делятся на высокотемпературные (выше 450°C) и низкотемпературные (ниже 450°C).

По природе растворителя флюсы бывают водные и неводные.

По природе активаторов высокотемпературные флюсы делятся на галогенидные, фторборатные, боридно-углекислые; низкотемпературные – на канифольные, кислотные, галогенидные, фторборатные, анилиновые, стеариновые.

В наименованиях флюсов, имеющих несколько активаторов, указываются все активаторы.

По механизму действия различают флюсы защитные, химического действия, электрохимического действия, реактивные. По агрегатному состоянию флюсы бывают твердые, жидкие и пастообразные.

При производстве радиомонтажных работ часто используют канифольные и спирто-канифольные (жидкие) флюсы.

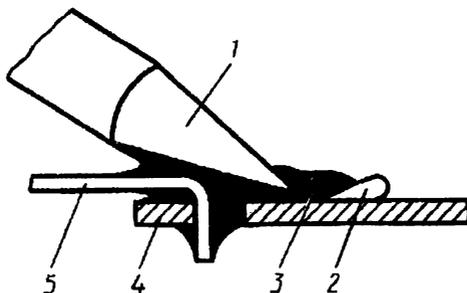


Рис. 6.4. Схема процесса пайки:

- 1 – паяльник, 2 – замещение флюса припоем, 3 – расплавленный припой,
4 – контактный лепесток, 5 – контактный вывод детали (провод)

Оптимальным рецептом таких флюсов является следующий. Большая часть их активаторов (очищающих веществ) испаряется в процессе пайки. На паяльнике флюс вскипает и не образует нагара (рис. 6.4).

6.6. Паяльники

Наибольшее распространение в промышленности и в бытовых условиях получили электрические паяльники, которые в зависимости от материалоемкости паяемых изделий имеют различные размеры. Рабочая часть паяльника представляет собой стержень из меди, медных сплавов и других материалов. Электронагреватель, расположенный с внешней стороны стержня или внутри его, изготовлен из материала с большим электросопротивлением; подачу теплоты в рабочую часть стержня – "жала" – регулируют изменением входного напряжения. Эффективность электропаяльника зависит от теплоемкости стержня и скорости восстановления температуры.

По режиму нагрева паяльники разделяют на паяльники *непрерывного и периодического нагрева*. Паяльники непрерывного нагрева рассчитаны на длительную работу во включенном состоянии.

Паяльники периодического нагрева подразделяют на паяльники форсированного и импульсного режима нагрева. Импульсные паяльники используются для пайки выводов микроминиатюрных радиокомпонентов, перегрев которых недопустим. У низковольтных паяльников импульсного типа паяльный стержень заменен тонкой нихромовой проволокой, время разогрева которой практически мгновенное. В этом случае время пайки, припой и флюс дозированы (в виде таблеток).

По форме рабочей части ("жала") паяльники разделяются на торцевые, курковые, молотковые и угловые (рис. 6.5).

Торцевые паяльники применяют для монтажа в открытых и труднодоступных местах аппаратуры, курковые и угловые – для пайки открытых швов и монтажных соединений, молотковые – для пайки электромагнитных экранов, шасси и других массивных элементов РЭА.

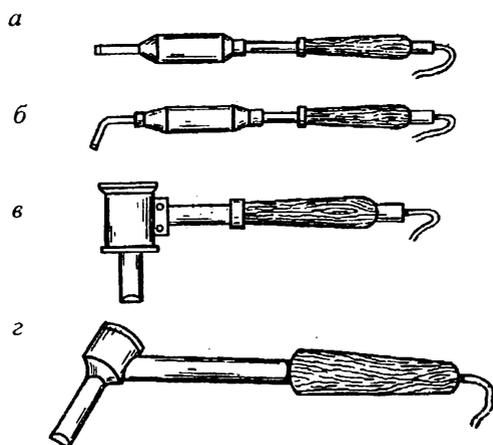


Рис. 6.5. Различные формы электрических паяльников:
 а – торцевой, б – курковый, в – молотковый, з – угловой

Для быстрого и равномерного прогрева паяемых деталей стержень паяльника должен соприкасаться с проводами и выводами радиоэлементов на возможно большей площади. Поэтому конец стержня паяльника затачивают на соответствующий угол (25–45°). Периодически стержень нужно очищать от оксидов, а его поверхность выравнивать и снова затачивать [2, с.19].

В зависимости от размеров паяемых деталей выбирают паяльники различной мощности нагревательного элемента и напряжения питания. Для обеспечения большей безопасности работающих наиболее широко используют паяльники с низким напряжением питания: 6, 12, 24, 36 В или 42 В.

Микропаяльник (рис. 6.6, а) предназначен для пайки выводов микроминиатюрных изделий РЭА (например, ИМС) к установочным элементам печатного и объемного монтажа, лужения и пайки микровыводов. Температура рабочего стержня в установившемся режиме 280–340°С, напряжение 6В, мощность 6 Вт, диаметр стержня 1,5 мм.

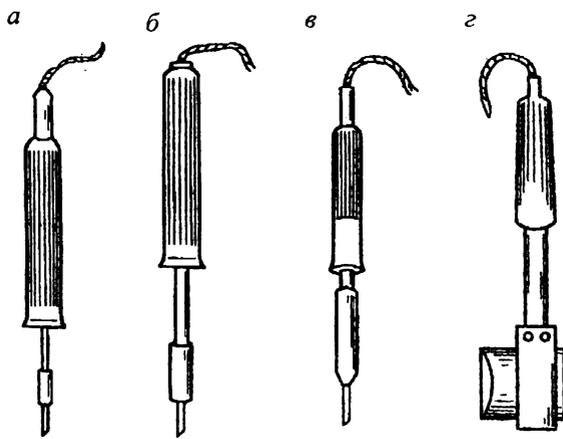


Рис. 6.6. Электрические паяльники различной мощности:

а – микропаяльник, *б* – маломощный (до 40 Вт),

в – средней мощности (40 – 60 Вт),

г – большой мощности (свыше 60 Вт)

Маломощный паяльник (рис. 6.6, *б*) предназначен для пайки выводов микроминиатюрных изделий РЭА к монтажным элементам печатного и объемного монтажа. Температура рабочего стержня 280–340°C, напряжение 6В, мощность 15 Вт, диаметр стержня 3 мм.

Паяльник средней мощности (рис. 6.6, *в*) предназначен для пайки и лужения монтажных проводов сечением до 0,18 мм², лужения монтажных элементов пайки и проводов намоточных изделий диаметром до 0,4 мм. Температура рабочего стержня 280–340°C, напряжение 24 или 36 В, мощность 25, 30 и 40 Вт, диаметр стержня 4–6 мм.

Мощный паяльник (рис. 6.6, *г*) предназначен для пайки и лужения выводов компонентов РЭА и приборов, а также лужения и пайки монтажных проводов сечением до 0,5 мм² и проводов моточных изделий диаметром до 0,8 мм. Напряжение 36 или 42 В, мощность 65 Вт, диаметр стержня 16 мм.

При пайке выводов радиодеталей, особенно малогабаритных (рис.6.7), в монтажные отверстия *а,б*, к контактным лепесткам *в*, в пистоны и т.п. необходимо обеспечивать теплоотвод. В качестве теплоотвода используют пинцет *1* с губками из красной меди *2* или специальные зажимы-теплоотводы. Теплоотвод устанавливается между корпусом детали и местом пайки (не ближе 5 мм).

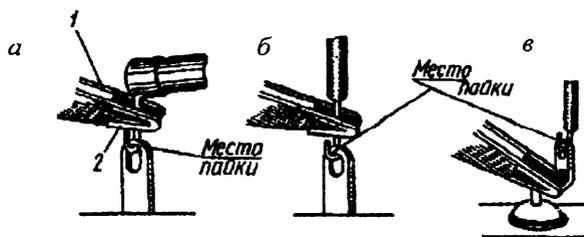


Рис. 6.7. Пайка вывода радиодеталей с теплоотводом:

- а* – на расстоянии от места пайки до корпуса детали менее 8 мм,
- б* – неизолированных проводов или выводов, заключенных в трубки,
- в* – герметизированных деталей

6.7. Контроль качества пайки

Форма паяных соединений должна иметь вогнутые галтели припоя (без избытка припоя). Паяная поверхность должна быть светлой, блестящей (светло-матовой) без темных пятен, посторонних включений. Через припой должны четко проявляться контуры входящих в соединение выводов и проводников (рис. 6.8, 6.9).

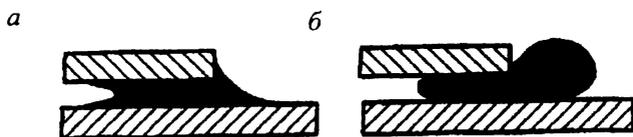


Рис. 6.8. Примеры пайки соединяемых деталей при хорошей (*а*) и плохой (*б*) смачиваемости припоем

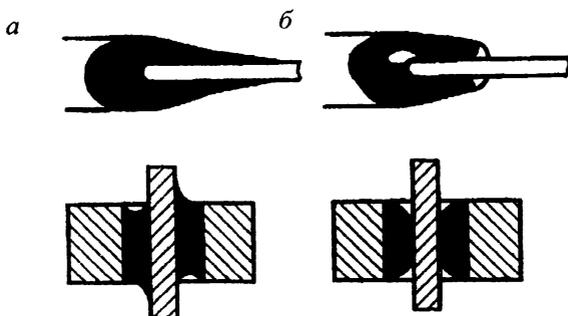


Рис. 6.9. Визуальный контроль качества паяных соединений:

а – правильная пайка, *б* – неправильная пайка

Ошибки при пайке:

1. Припой лежит "комком" (на паяльнике был в виде "кашицы"). Такая пайка называется "холодной" (без достаточного прогрева паяльника или соединения).
2. На паяльнике нагар, который попадает в паяное соединение.

Раздел II. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА

Данная практическая работа выполняется с использованием компьютера для закрепления навыков конструирования электронных устройств.

Цель работы:

1. Научиться разрабатывать печатные платы электронных устройств.
2. Приобрести первоначальные навыки автоматизированной трассировки печатных плат при использовании ЭВМ.

При подготовке к работе необходимо проработать теоретический материал по данному пособию и рекомендованной литературе.

7.1. Общие сведения

Несколько десятилетий назад был разработан способ монтажа радиоэлектронных устройств на так называемых печатных платах (ПП). Что он собой представляет?

Прежде радиотехнические устройства собирали с применением объемного монтажа, для которого характерно крепление деталей на различных стойках, колодках, планках, а основными крепежными узлами для выводов деталей служили металлические лепестки, штырьки, пистоны. Устройства, выполненные методом объемного монтажа, имеют большие габариты, массу и множество соединительных проводов.

Операции сборки, монтажа и регулировки вычислительных машин, где электрические соединения функциональных элементов и узлов выполнены монтажными проводами, очень трудоемки. Общая сумма затрат на эти виды работ доходит до 60–70 % от всех прямых производственных расходов на изделие.

К принципиально новым конструкциям относятся *печатные схемы* (печатные платы – ПП), производство которых позволяет осуществить широкую механизацию и автоматизацию технологических процессов. Конструктивная особенность ПП заключается в том, что все элементы монтажа представляют собой тонкие слои электропроводящего материала, сцепленные с поверхностью плат из электроизоляционных материалов.

К особенностям печатного монтажа относятся:

- плоскостное расположение печатных проводников на плате, что не позволяет осуществить переход с одной платы на другую без перемычек, переходных колодок или разъемов;
- использование при изготовлении ПП одинаковых или однородных приспособлений;
- введение в конструкцию необходимой для механизации системы расположения отверстий в ПП - координатной сетки;

- установка навесных элементов и крепление их выводов только посредством пропускания их в отверстия;
- одновременная запайка выводов всех установленных на ПП элементов;
- определенная последовательность сборочно-монтажных работ, размещение навесных радиоэлементов на плате и предварительное механическое крепление их, запайка выводов навесных элементов, установка прочих элементов с механическим креплением (рис.7.1).

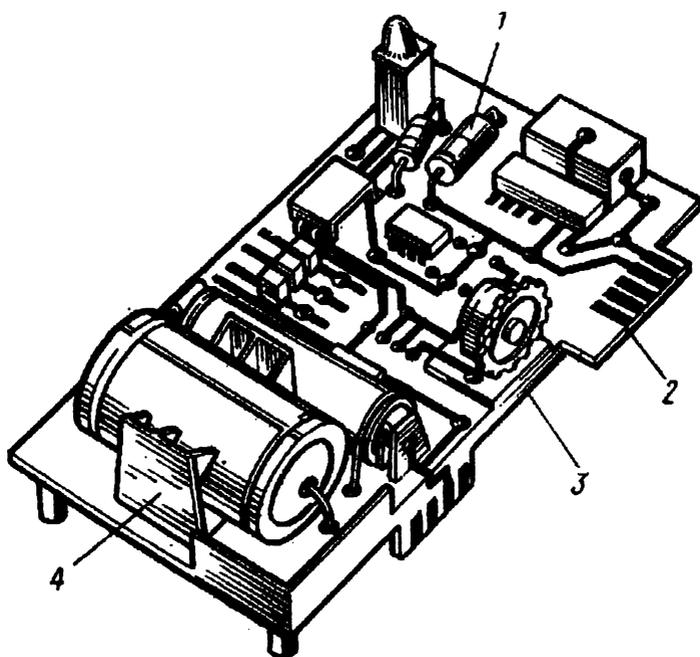


Рис. 7.1. Вид унифицированного модуля с основанием – печатной платой:

- 1 – радиоэлементы, 2 – печатные проводники, 3 – печатная плата,
4 – навесные элементы, монтируемые на кронштейнах

Печатные платы делаются из фольгированного изоляционного материала (гетинакса, стеклотекстолита, фторопласта). На одну из сторон изоляционного материала прочно наклеена металлическая фольга, из которой в дальнейшем можно получить проводники любой формы. Такой проводник представляет собой полосу фольги, соединяющую выводы двух или более деталей, установленных на печатной плате в соответствии с принципиальной схемой радиотехнического устройства.

Форма проводников, их количество и взаимное расположение определяются схемой устройства, применяемыми элементами, а также в соответствии с опытом человека, разрабатывающего чертеж печатной платы.

Печатные проводники характеризуются в целом двумя параметрами: электрическим сопротивлением и прочностью сцепления проводника с основанием.

Благодаря сильно развитой поверхности, обеспечивающей хороший теплообмен между проводниками и диэлектрическим основанием, а также окружающей средой, печатные проводники допускают значительно большие удельные плотности тока по сравнению с проволочными.

При всех методах получения печатного монтажа в целях упрощения расчетов плотность тока для печатного монтажа принимается равной 20 А/мм^2 ; прочность сцепления – не менее $25\text{--}30 \text{ кгс/см}^2$.

Печатные проводники хорошо соединяются с навесными радиоэлементами схемы путем пайки и сварки. Наличие больших фольгированных участков позволяет предохранить изоляционную плату от воздействия влаги, защитить основание от местных перегревов (*хорошее распределение и отвод теплоты*), оказывает экранирующее действие при заземлении участков фольги, не используемых в качестве токопроводящих элементов.

В зависимости от варианта технологического процесса изготовления печатного монтажа для печатных плат применяют либо обычный диэлектрик, на который затем наносят металлизированную схему, либо

диэлектрик, покрытый сплошным слоем металла (фольгированный), с которого затем стравливают лишний металл.

Конструкция печатного узла разрабатывается с учетом особенностей печатного монтажа и методов изготовления плат.

7.2. Классификация печатных плат

При классификации ПП используют следующие основания:

1. **Число проводящих слоев.** ПП могут быть одно-, двух- и многослойными. Одно- и двухслойные ПП называются также одно- или двусторонними, так как проводящие слои в них располагаются с одной или двух сторон диэлектрика.

Многослойные печатные платы (МПП) по сравнению с двумя другими видами плат обладают существенно большей плотностью размещения печатных проводников, меньшими потерями сигналов в них, меньшими массой и габаритами.

2. **Вид материала основы.** Наибольшее применение для изготовления ПП получили фольгированные диэлектрические материалы (гетинакс, стеклотекстолит), представляющие собой диэлектрик с нанесенной с одной или двух сторон медной фольгой. Для изготовления микромодулей, микросхем и микросборок применяются подложки из эластичных полимеров, полиэфирных пленок, керамики и стекла.

Для изготовления ПП применяют следующие диэлектрики:

- фольгированный гетинакс (ГФ-1, ГФ-1-П, ГФ-2-П, ГФ-1-Н, ГФ-2-Н);
- фольгированный стеклотекстолит (СФ-1, СФ-2, СТФ);
- низкочастотный фольгированный диэлектрик (НФД-180-1, НФД-180-2);
- фольгированный гальваностойкий диэлектрик (ФДГ);
- фольгированный низкочастотный диэлектрик (НФДФ-8).

Чаще всего для изготовления ПП применяют фольгированный стеклотекстолит марки СТФ или фольгированный гетинакс марки ГФ. Гетинакс по сравнению со стеклотекстолитом имеет несколько худшие характеристики, но он вполне пригоден для большинства электронных схем. При работе с гетинаксом используются легкоплавкие припой (ПОСК-50, ПОС-40, ПОС-61), так как фольга при перегреве печатных проводников во время пайки может легко отслаиваться.

Промышленность выпускает фольгированные материалы различной толщины. Обычно используют материалы толщиной 1,5 мм. Но в тех случаях, когда плата имеет большие размеры и на ней необходимо разместить массивные элементы, применяют материалы толщиной 2–2,5 мм [7].

3. Вид соединений между слоями. ПП изготавливаются с металлизированными отверстиями, пистонами, послойным наращиванием, открытыми контактными площадками, выступающими, а затем подогнутыми выводами каждого слоя.

4. Плотность проводников. Различают ПП свободные (ширина проводников и расстояние между ними не менее 0,5 мм) и уплотненные (ширина проводников и расстояние между ними до 0,25 мм).

5. Способ нанесения проводников. ПП получают обработкой фольгированных диэлектриков и нанесением тонких слоев токопроводящих паст.

6. Способ изготовления. ПП разделяют на платы, полученные химическим травлением, электрохимическим осаждением, комбинированным способом. От способа изготовления зависят конечные характеристики ПП, так как характер химической обработки влияет на диэлектрические свойства материала основы.

Изготовление ПП состоит в нанесении изображения рисунка схемы и создании проводников на диэлектрическом основании платы. Существует несколько способов нанесения рисунка схемы на плату, выбор которых зависит от материала платы и способа металлизации

проводников. Наибольшее распространение получили фотографический, сеточно-графический и офсетный способы (таблица).

Методы изготовления ПП

Название метода	Сущность метода	Способ нанесения рисунка схемы	Область применения
Химический	Печатную плату получают химическим травлением фольгированного диэлектрика	Фотографический, сеточно-графический, офсетный	В серийном и опытно-производстве сложных односторонних печатных плат
Электрохимический	Печатную плату получают химическим и электрохимическим (гальваническим) осаждением металла на изоляционное основание и в монтажные отверстия	То же	В серийном производстве при большой номенклатуре двусторонних печатных плат – фотохимический. При малой номенклатуре – сеточно- и офсетно-электрохимический
Электрохимическое осаждение с переносом	Печатную плату получают переносом готового рисунка схемы со стальной матрицы на изоляционное основание	—"	В серийном и опытно-производстве при большой номенклатуре двусторонних плат – фотоэлектрохимический. При малой номенклатуре – сеточно- и офсетно-электрохимический

Название метода	Сущность метода	Способ нанесения рисунка схемы	Область применения
Комбинированный (позитивный, негативный)	Печатную плату получают химическим травлением фольгированного диэлектрика с последующей металлизацией отверстий гальваническим способом	—	В серийном и опытно-производстве при изготовлении одно- и двусторонних печатных плат

7.3. Конструкция печатных плат

Печатный узел может быть одноплатным, межплатным или сборным, состоящим из двух или трех одноплатных печатных узлов (рис. 7.2).

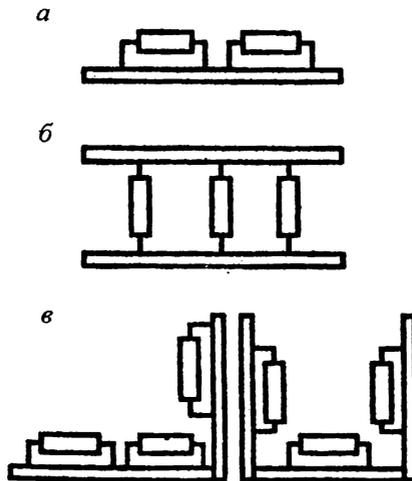


Рис. 7.2. Конструкции печатных узлов:
a – одноплатные; *b* – межплатные; *в* – сборные

Навесные радиоэлементы устанавливают на плате таким образом, чтобы можно было выполнить пайку погружением, исключив воздействие припоя на эти элементы. Поэтому независимо от назначения и габаритных размеров все элементы в одноплатной конструкции располагаются с одной стороны платы [1, с.24].

Навесные элементы РЭА размещают на плате рядами, в определенном порядке. Иногда допускаются некоторые отступления от этого требования, но совершенно исключено расположение деталей под различными углами друг к другу (рис. 7.3).

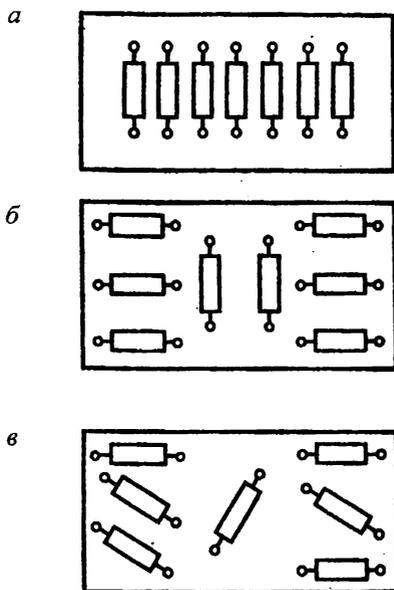


Рис. 7.3. Расположение навесных элементов на плате:
a – желательное; *б* – допустимое; *в* – недопустимое

Выводы навесных элементов РЭА крепят в отверстиях платы. В каждом отверстии размещают выводы только одного элемента (рис.7.4).



Правильно



Неправильно

Рис. 7.4. Крепление выводов навесных элементов

Радиоэлементы значительной массы и больших габаритов (например, силовые трансформаторы, радиаторы мощных полупроводниковых диодов, громкоговорители) размещают вне платы и присоединяют к ней жгутами из монтажного провода со специальными соединителями.

Элементы и узлы с большим количеством выводов закрепляются на плате в зависимости от их конструктивного оформления или механической прочности.

Конструкция каждого узла должна предусматривать свободный доступ к любому элементу печатной платы и легкую замену его в процессе настройки и эксплуатации. Во избежание замыкания печатного проводника на корпус прибора плату изолируют от шасси. Заземление осуществляется посредством перемычек и лепестков, впаянных в монтажные отверстия и контактирующих с шасси. Непосредственный контакт печатного проводника с шасси не допускается.

Перед пайкой выводы навесных элементов, а также перемычки из монтажного провода закрепляют в отверстиях платы, чтобы они не выпали в процессе транспортировки и групповой пайки. Элементы крепят, пропуская выводы в отверстия и подгибая их под платой в любом направлении. Длина подогнутого вывода должна быть не менее 0,6 мм, а

место изгиба вывода – не ближе 2 мм от корпуса элемента. Длина вывода от корпуса элемента до места пайки должна соответствовать установленным техническим условиям [8].

На рис. 7.5 показаны различные способы крепления навесных радиоэлементов (резисторов, конденсаторов, ИМС) на платах 1 с печатными проводниками 2. На рис. 7.5, а, б изображен односторонний монтаж (под корпусом нет печатных проводников), а на рис. 14, в, г – двусторонний (под корпусом радиоэлемента проходит печатный проводник).

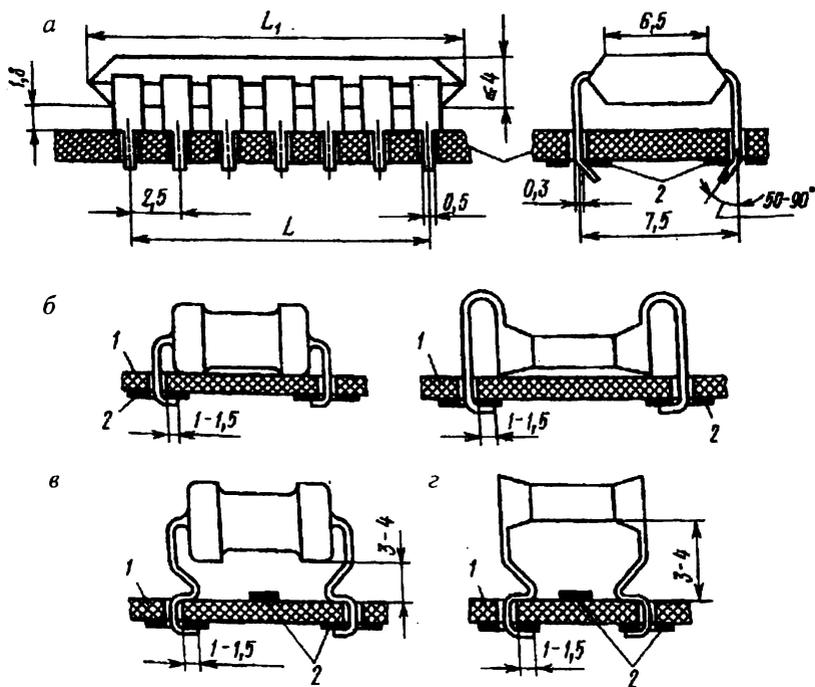


Рис. 7.5. Способы крепления навесных радиоэлементов и ИМС на печатных платах:

а, б – односторонний монтаж, в, г – двусторонний монтаж; 1 – печатная плата, 2 – проводники

Расстояние между корпусом или выводами элемента и краями платы должно быть не менее 2 мм, между корпусами соседних элементов или узлов – не менее 1 мм, а от края корпуса элемента до центра отверстий под выводы других элементов, расположенных перпендикулярно, – не менее 2,5 мм (рис. 7.6).

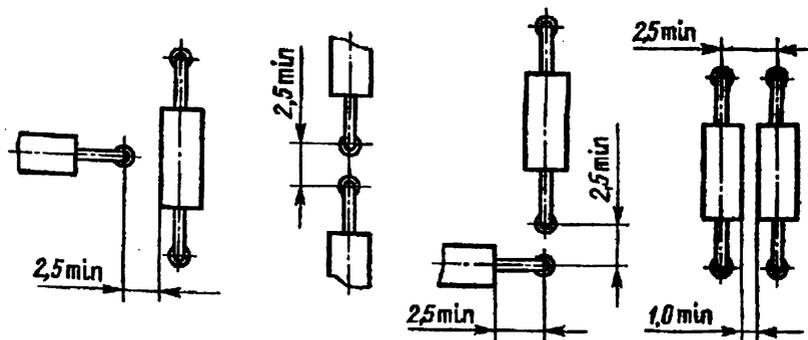


Рис. 7.6. Расположение навесных элементов на плате

7.4. Проектирование печатных плат

Усложнение конструкции электронной вычислительной аппаратуры неизбежно ведет к усложнению ПП как основы для осуществления электрических связей между составляющими аппаратуру элементами. Увеличение числа и типов элементов, числа выводов корпусов интегральных схем усложняет электрическую схему машины, насыщает ее электрическими проводниками. Соединение (*трассировка*, т.е. указанный путь, трасса) этих проводников между собой в одной, двух или нескольких плоскостях (для одно-, двух- и многослойных ПП) представляет собой сложную математическую и инженерную задачу, решение которой на современном этапе развития техники ЭВМ невозможно без использования мощных вычислительных средств.

Принципиально задача размещения элементов и проводников между ними может быть решена вручную. Однако в таком случае потребуются много конструкторов, длительное время для трассировки проводников, скрупулезная проверка и исключение ошибок. Задача еще более усложнится, если учитывать (а это, как правило, необходимо делать) специфичность отдельных проводников, например особую чувствительность к перекрестным помехам, необходимость выполнения минимальной длины и т.д.

По существу, задача трассировки проводников в одной или нескольких плоскостях сводится к полному перебору всех возможных вариантов размещения соединяемых элементов и нахождению оптимального. Критерием оптимальности является минимальная сумма длин всех размещенных на плате печатных проводников.

Стремление к минимизации суммарной длины проводников диктуется необходимостью уменьшения задержек сигналов, потерь на сопротивлениях проводов, уровня помех и т.д.

Размещение проводников состоит в определении пути соединения между двумя несвязанными соединениями. Этот этап проектирования печатного монтажа является наиболее трудоемким.

Исходные данные для решения задачи проектирования печатного монтажа:

- размер монтажного поля;
- минимально допустимая ширина печатных проводников и расстояний между ними;
- форма контактных площадок;
- число слоев (монтажных плоскостей);
- способы перехода из одного слоя в другой (с помощью металлизированных отверстий или перемычек, пистонов);
- расположение выводов элементов;
- геометрия и координаты участков, запрещенных для раскладки проводников;
- электрическая схема размещаемого на плате узла.

7.5. Основные правила конструирования печатных плат

Конструирование ПП производится в соответствии со следующими правилами:

1. Максимальный размер стороны печатной платы – как однослойной, так и многослойной – не должен превышать 500 мм. Это ограничение определяется требованиями прочности и плотности монтажа: чем больше плата, тем меньше плотность монтажа. Для плат с большими размерами предусматривают специальные меры повышения жесткости (дополнительные точки крепления в устройстве, введение ребер жесткости и т.д.).

2. Для упрощения компоновки блоков и унификации размеров печатных плат рекомендуются следующие соотношения размеров сторон печатной платы: 1:1; 2:1; 3:1; 4:1; 3:2; 5:2 и т.д.

3. Целесообразно в целях максимального использования физического объема ЭВМ и других электронных устройств и упрощения их изготовления разрабатывать печатные платы прямоугольной формы.

4. По краям печатной платы следует предусматривать технологическую зону шириной 1,5 – 2,0 мм. Размещение установочных и других отверстий, а также печатных проводников в этой зоне не допускается.

Все отверстия должны располагаться в узлах координатной сетки. В том случае, если шаг расположения выводов микросхем не соответствует шагу координатной сетки, одно из отверстий под вывод (желательно первый) микросхемы должно обязательно находиться в узле координатной сетки.

5. Для правильной ориентации микросхем при их установке на печатную плату на последней должны быть "ключи", определяющие положение первого вывода микросхемы.

6. Конденсаторы, резисторы и другие навесные элементы следует располагать параллельно координатной сетке. Расстояние между их

корпусами должно быть не менее 1 мм, а расстояние между ними по торцу – не менее 1,5 мм.

7. Диаметры монтажных отверстий необходимо принимать равными 0,5; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0; 2,4 мм. Обычно диаметр отверстия берут больше диаметра вывода на 0,5 мм, так как при этом обеспечивается наиболее полное заполнение его припоем при пайке. Отверстия под выводы микросхем и навесных деталей зенкуют с обеих сторон платы. Установочные, проходные и технологические отверстия не зенкуют. Отверстия под выводы микросхем и навесных деталей и отверстия, соединенные печатными проводниками, должны иметь контактные площадки, диаметры которых могут не менее чем на 1 мм превышать диаметр зенковки. Установочные, проходные и технологические отверстия контактных площадок не имеют.

8. На печатных платах должны быть предусмотрены ориентировочный паз (или срезанный левый угол) или технологические базовые отверстия, необходимые для правильной ориентации при изготовлении двусторонней печатной платы. С краев печатной платы следует снимать фаски.

9. Печатные проводники не должны иметь резких перегибов и острых углов. Переходы при разветвленном проводнике или переходы проводника к контактной площадке необходимо изготавливать плавными с радиусом закругления не менее 2 мм.

10. Печатные проводники по возможности следует выполнять максимально короткими. При изготовлении особо длинных печатных проводников $L > 200$ мм целесообразно предусматривать дополнительные монтажные площадки и отверстия.

11. Ширину печатных проводников и расстояние между ними следует устанавливать после проведения соответствующих расчетов.

12. Прокладка рядом входных и выходных печатных проводников схемы, одного печатного проводника параллельно другому, аналогичному проводнику на той или на иной стороне платы не рекомендуется во избежание возникновения паразитных наводок.

13. Проводники входных высокочастотных цепей должны прокладываться в первую очередь и быть максимально короткими.

14. Заземляющие проводники, по которым протекают суммарные токи всех цепей, следует изготавливать максимально широкими или использовать для этой цели латунные полосы шириной 3–5 мм, монтируемые на плату.

15. На печатных платах с использованием микросхем серий K155, K555, KP1533 для защиты от низкочастотных помех, проникающих по цепям питания, необходима установка блокировочных конденсаторов между цепью +5 В и общим проводом. Их число определяется одним-двумя конденсаторами емкостью 0,033...0,15 мкФ на каждые пять микросхем, расположенных на плате равномерно, или это может быть один электролитический конденсатор, устанавливаемый непосредственно у контактов разъема питания платы. Такие же конденсаторы следует установить рядом со всеми микросхемами с мощным выходом или с потребляемой мощностью более 0,5 Вт. Для защиты от высокочастотных наводок используются керамические конденсаторы емкостью не менее 2 пФ, устанавливаемые непосредственно к выводам питания каждой микросхемы.

16. Число отверстий различных диаметров следует сводить к минимуму. Чем меньше это число, тем меньше усилий потребуются при изготовлении печатной платы.

К печатным проводникам применимы те же способы монтажа, которые используются в обычных конструкциях. Однако если при монтаже изолированным проводом возможны пересечения проводников, то при печатном монтаже их размещают только в одной плоскости, а в результате этого невозможно их пересечение. Чтобы в точках пересечения проводников не возникали контакты, необходимо изменять пути прокладки (трассы) проводников (рис. 7.7). В некоторых случаях для избежания контакта при пересечениях применяют переходы на противоположную сторону с помощью металлизированных переходных

отверстий. При выборе формы проводников используют один из вариантов: либо применяют плавные линии печатных проводников, которые обеспечивают кратчайшие соединения элементов (см. рис. 7.7, *а*), либо вычерчивают рисунок печатных проводников в виде прямых линий и прямых углов (см. рис. 7.7, *б*). Этот метод характеризуется тем, что место каждой линии заранее определяется координатной сеткой; рисунок проводников получается простым.

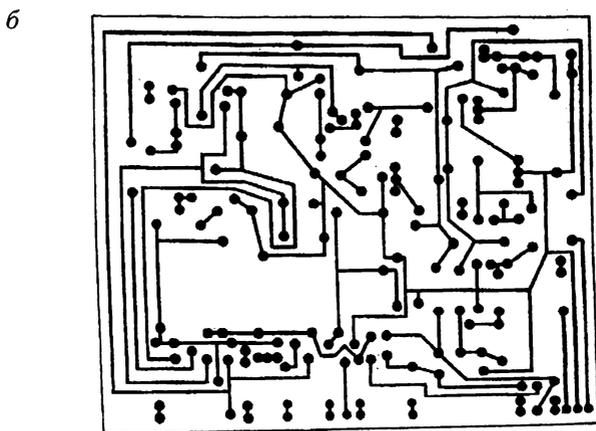
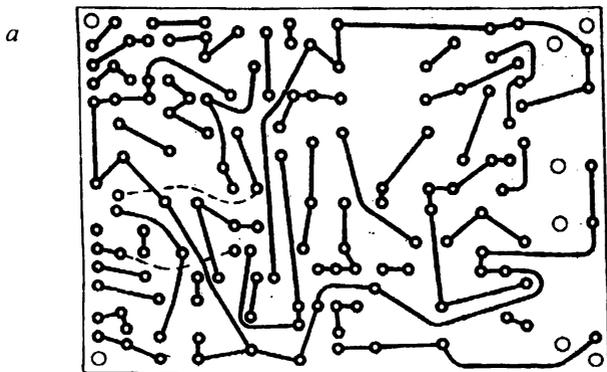


Рис. 7.7. Образцы печатного монтажа:
а – с кратчайшими соединениями элементов;
б – с установкой элементов в узлах координатной сетки

Неавтоматизированная разработка одно- и двусторонних печатных плат включает в себя ряд выполняемых последовательно операций и решений, принимаемых в зависимости от результатов, полученных после выполнения некоторых операций (рис. 7.8) [3, с.135].

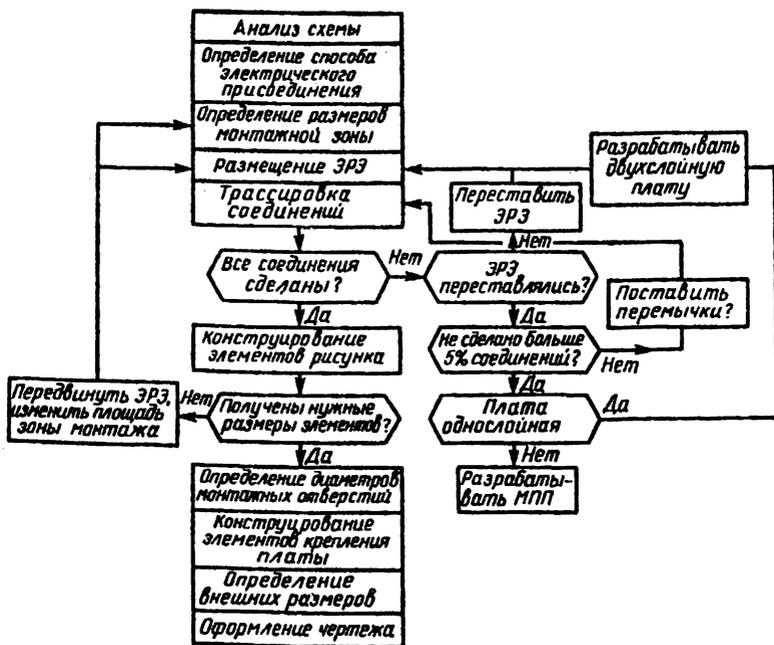


Рис. 7.8. Этапы разработки одно- и двусторонних печатных плат

7.6. Чертежи печатных плат

На чертеже прямоугольной ПП размеры элементов проводящего рисунка, координаты центров отверстий указывают в соответствии с ГОСТ 2.417-78 путем нанесения координатной сетки (рис. 7.9). На простых чертежах размеры можно, если это рационально, указывать способом, принятым в машиностроительном черчении, – посредством

размерных чисел, размерных и выносных линий. Возможно совместное применение обоих способов.

Основной шаг координатной сетки – 2,5 мм (ГОСТ 10317–79), а для зарубежных элементов – 2,54 мм. Для чертежей со сложным и мелким проводящим рисунком может быть принят шаг 1,25 мм (соответственно 1,27 мм для зарубежных аналогов) или 0,50 мм.

Чертежи ПП выполняют в масштабах 1:1, 2:1, 4:1. Чертежи с шагом координатной сетки 0,50 мм выполняют в масштабе не менее 4:1.

При задании размеров нанесением координатной сетки линии сетки нумеруют (рис.7.9). Шаг нумерации устанавливают с учетом насыщенности и масштаба изображения. Для упрощения процедуры определения координат элементов чертежа допускается отдельные линии (обычно каждую десятую) выделять.

За ноль в прямоугольной системе координат на главном виде ПП (у односторонней ПП – вид со стороны проводящего рисунка) принимают левый нижний угол печатной платы или центр крайнего нижнего отверстия, находящегося на поле платы (рис. 7.9, 7.10).

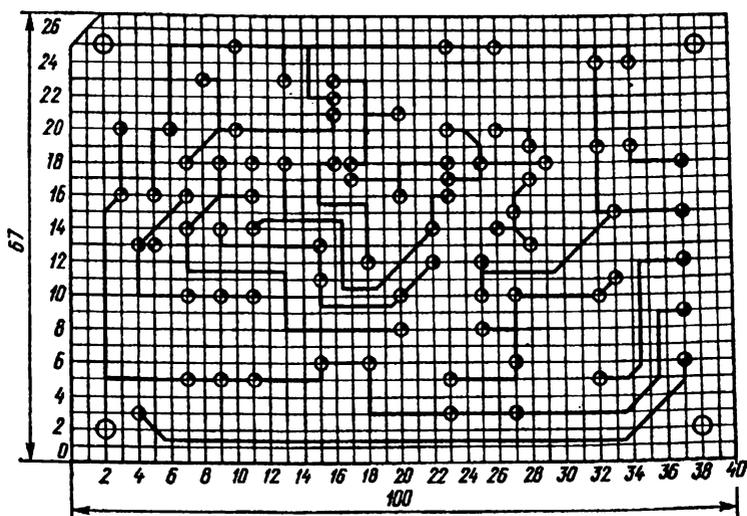


Рис. 7.9. Печатная плата со стороны проводящего рисунка

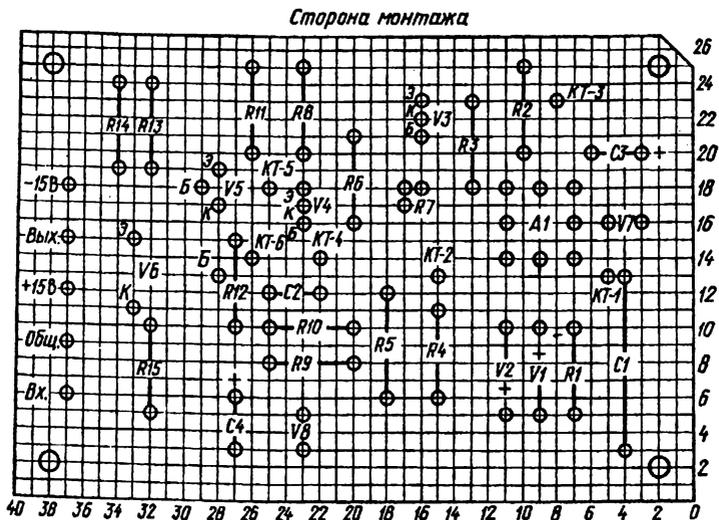


Рис. 7.10. Печатная плата со стороны монтажа

При необходимости границы участка ПП, на котором не должно быть печатных проводников, например на двухсторонней ПП, на чертеже выделяют утолщенной штрихпунктирной линией [3, с.182].

Проводники на чертеже изображают одной линией, являющейся осью симметрии проводника, при этом их ширину указывают в текстовой части чертежа. Проводники шириной более 2,5 мм могут изображаться двумя линиями. Проводники, имеющие заданную ширину, на чертеже показываются без упрощений.

Отдельные элементы проводящего рисунка печатной платы можно выделять штриховкой, зачернением и т.п. На чертеже односторонней печатной платы показывают виды обеих ее сторон, при этом на стороне монтажа наносят позиционные обозначения элементов РЭА в соответствии с принципиальной электрической схемой и знаки, уточняющие расположение навесных элементов.

7.7. Описание используемого оборудования

В данной работе используется учебная программа для автоматизированной разработки ИП, отражающая основные принципы работы пакета программ автоматизированного проектирования электронных устройств PCAD.

Программа предоставляет возможности проектирования одно- и двусторонних печатных плат в ручном и автоматическом режиме трассировки. По принципу функционирования пакет следует основным правилам проектирования печатных плат (минимизация длины соединений, учет размеров и взаимного расположения деталей на плате, ширины печатных проводников и т.п.).

Для описания работы с программой в тексте используются следующие сокращения:

- <...> – опции команд;
- [...] – необязательные параметры;
- # – числовая переменная.

Пользовательский интерфейс программы представлен следующими элементами:

1) Рабочее поле (**workspace**).

Это зона, где производятся все действия по размещению элементов схемы и выполняется печатный рисунок (соединения).

Для более удобной работы предусмотрено включение (выключение) координатной сетки с шагом 1/20 дюйма (1,27 мм) (**Alt-F9**).

2) Строка статуса/командная строка (**status line**).

Переключение между ними производится по нажатию **Enter**.

Командная строка содержит подсказку **COMMAND>** и в ней вводятся команды, выполняемые затем по нажатию **Enter**. Звуковой сигнал высокого тона после выполнения команды говорит о правильном действии, низкого тона – о неправильном.

Отключение строки производится по **Alt-F8**.

В строке статуса указывается текущее положение курсора в позициях; одна позиция – это 0,05 дюйма (1,27 мм).

Максимальный размер рабочей зоны – 9,95 дюйма по вертикали и 15,95 дюйма по горизонтали (252,27 мм x 405,13 мм соответственно). Кроме того, в середине строки статуса указывается позиционное обозначение элемента и номер вывода, если в этот момент курсор расположен в точке вывода и прежде этому элементу (или точке) было присвоено позиционное обозначение.

Исходными данными для работы программы являются:

- графический файл;
- текстовый файл автотрассировщика.

Графический файл, или рисунок, содержит информацию об элементах (монтажная схема). Изображения и атрибуты радиоэлементов выводятся в рабочую зону с помощью системы команд. Команды вводятся в командной строке. Этот графический файл содержит изображения всех радиоэлементов (разъемов, микросхем, резисторов, диодов, конденсаторов, транзисторов, контактных площадок под проволочные выводы и т.д.) с указанием их габаритных размеров и других параметров, а именно:

1. Для **микросхем**: <ориентация корпуса на плате>, <#число выводов>, <#расстояние между рядами выводов> (для микросхем в DIP-корпусах), [позиционное обозначение] (например, DD4).

Нумерация выводов производится автоматически (первый вывод будет в точке текущего положения курсора), расстояние между выводами стандартное и равно 1/10 дюйма (2,54 мм). Если при вводе команды необязательные параметры не указываются, то выводы по умолчанию обозначаются как точка (с указанием размера и формы).

Пример: **DIP S 20 3 DD1**

Выводится микросхема вниз от текущего расположения курсора (S) с двадцатью выводами, расстояние между рядами выводов 3 x 2,54 мм = 7,62 мм. Каждому выводу будет присвоен номер (DD1 No).

2. Для *диодов, резисторов*: <ориентация на плате>, <#расстояние между выводами>, [позиционное обозначение], [обозначение первого вывода], [обозначение второго вывода].

Если при вводе команды необязательные параметры не указываются, то выводы по умолчанию обозначаются как точка (с указанием размера и формы). Диоды выводятся с указанием одного из выводов (по умолчанию первого) утолщенной линией.

Пример: **D E 10 VD3 A C**

В данном случае будет выведен диод вправо **E** от курсора; расстояние между выводами – 12,7 мм; позиционное обозначение **VD3**; первый вывод будет обозначен как **A** (анод), второй – как **C** (катод).

3. Для *конденсаторов* специального графического изображения не предусмотрено, поэтому рекомендуется выводить их с помощью, например, команды **d** (диод); в этом случае для удобства можно обозначать выводы полярных конденсаторов, например, как "+" и "-".

4. Для *транзисторов*: специального графического обозначения не предусмотрено, поэтому рекомендуется, например, транзисторы с расположением выводов в ряд (типа КТ315) выводить как однорядный разъем, а затем для удобства переименовывать контакты (о чем будет рассказано ниже). Контактные площадки транзисторов с гибкими проволочными выводами можно рисовать как точки (учитывая масштаб координатной сетки), а затем присваивать каждой новое позиционное обозначение с указанием принадлежности данного вывода соответствующему элементу (транзистору).

5. Для *разъемов (однорядных и двурядных)*: <ориентация на плате>, <#число выводов>, [позиционное обозначение].

Нумерация контактов двурядных разъемов производится в шахматном порядке.

Для вывода разъемов используются команды **sip** и **conn**. Первая из них позволяет рисовать однорядный разъем, вторая – двурядный.

При этом выводы нумеруются от первого (который будет в точке расположения курсора). Прорисовывается контур разъема с ключом.

Расстояние между контактами стандартное (1/10 дюйма).

Пример: **SIP S 9 X2**

Выводится однорядный разъем вниз **S** от текущего расположения курсора с 9 контактами, каждый из которых будет обозначен как X2 No.

Пример: **CONN E 25 X4**

Здесь выводится двурядный разъем вправо **E** от текущего расположения курсора с 25 контактами, позиционное обозначение – X4.

Пример: **PAD <size> <shape>** – точка (монтажное отверстие).

В этом примере указывается стандартный размер **<size>** (62 или 75) и вид точки **<shape>** (круг **R** или квадрат **S**). Эта команда задает размер и вид точки, выводимый по нажатию **F3** (прил. 2).

Нажатием **F3** также изменяется вид и размер точки.

Пример: **PAD 62R**

7.8. Команды работы с учебной программой

При работе с графическими объектами рабочего поля используются следующие команды:

1. Команды работы с графическим файлом:

- **clear** – очистка всего экрана или блока;
- **cleave** – раздвижка рабочего поля в указанном направлении, на указанное расстояние (используется при неудачном расположении элементов, например когда в процессе трассировки не удалось произвести некоторые соединения);
- **color** – установка цветовой палитры для различных объектов (курсора, сетки, фона, печатных проводников, заполнения, элементов);
- **fill** – заполнение. Заполнение рабочего поля одним из трех покрытий. Сюда относятся: **SOL (SOLDERING)** – пайка, **COM (COMPOUND)** – диэлектрик, **SIL (SILVERING)** – серебрение;

- **fill** – отмена заполнения;
- **find <x> <y>** – перенос курсора к указанной точке;
- **move** – перемещение рисунка к курсору;
- **jump [<x>],[<y>],<layer>** – перенос курсора к точке с покрытием;
- **jump <site>,<pin>** – перенос курсора к контакту указанного элемента.

2. Команды ввода(вывода):

- **DIR <drive:> <directory>** – вывод содержимого указанной в пути директории без выхода из программы (удобно использовать эту команду, если Вы забыли имя файла, необходимого для работы);
- **DD <drive:> <directory>** – установление диска и директории, из которой по умолчанию будет подгружаться файл графики;
- **LOAD <filename>** – загрузка файла. Указывается стандартный путь для DOS;
- **SAVE <filename>** – сохранение файла;
- **QUIT** – выход из программы (запрашивается: уничтожить ли текущие изменения в графическом файле);
- **TYPE <filename>** – вывод содержимого любого файла в ASCII (без возможности редактирования);
- **COPY** – копирование рисунка, отмеченного блоком, в место, указанное курсором. Левый нижний угол переносимого блока будет в точке текущего расположения курсора;
- **TEXT** – введение в рабочее поле текста (в целях удобства чтения готовой монтажной схемы). Возможна печать в горизонтальном и вертикальном направлении. Следует учесть, что вертикально расположенный текст стереть нельзя.

3. Специальные команды:

- **FLIP** – поворот рабочего поля (платы) на 180° относительно горизонтальной оси. Эта команда используется по окончании всех операций по разработке печатной платы (для получения негатива с распечатки рабочей зоны);

• **SWAP** – обмен сторонами. Печатный рисунок, расположенный на противоположной стороне печатной платы, становится доступным для редактирования;

• **STAT** – вывод информации о текущем состоянии рабочей зоны. В специальном окне выводятся:

- приблизительный размер будущей печатной платы;
- количество и вид монтажных отверстий (точек);
- площадь фольгированного материала, занимаемого проводящим рисунком (со стороны пайки и монтажа);

- число текстовых символов на рисунке;
- число использованных контактных площадок;
- число элементов, имеющих позиционные обозначения;
- текущее распределение оперативной памяти;
- приблизительный размер выходного файла (графики);

• **TERM** – присвоение (изменение) позиционного обозначения элементу (точке). Позволяет изменять имя любого элемента схемы, на который установлен курсор. Например, необходимо вывести транзистор КТ315 (с планарным расположением выводов). Сначала рисуем корпус с выводами, используя команду.

Пример: **SIP E 3 VT1**

Затем переименовываем каждый из контактов как **b** (база), **c** (коллектор), **e** (эмиттер), предварительно устанавливая курсор на каждый из них.

Пример: **TERM VT1 B**

• **TLIST** – проверка на корректность схемы. С опцией **I** выводится сообщение о корректности(некорректности) расположения выводов элементов и контактных площадок. С опцией **f** выводится список всех элементов, имеющих присвоенные позиционные обозначения, с указанием имеющихся у них выводов.

• **RLIST** – вывод списка трасс после выполнения автотрассировки (номер трассы, элемента, его контакта и всех точек, гальванически связанных с контактом указанного элемента).

7.9. Автоматическая трассировка

Автоматическая трассировка производится следующим образом:

1) Создается графический файл с обозначением всех элементов схемы. Компоновка выполняется с учетом размеров и взаимного расположения элементов.

2) Создается текстовый файл в любом текстовом редакторе с перечнем всех трасс. Каждая строка данного файла – это список всех точек, гальванически связанных с первой выбранной точкой. Повторения уже описанных точек не допускается (прил. 2).

Пример: **DD1 1 R4 1 VD2 3**

Подгружаются последовательно оба этих файла по команде **LOAD**.

3) Запускается автотрассировщик командой **ar**.

4) В окне автотрассировщика можно устанавливать следующие режимы:

- **Состояние автотрассировщика:**

- **остановлен;**

- **запущен.**

- **Трассировку производить:**

- **двусторонней платы** (с преимущественно горизонтальным расположением проводников со стороны пайки);

- **двусторонней платы** (с преимущественно вертикальным расположением проводников со стороны пайки);

- **односторонней платы** (печатные проводники только со стороны пайки).

- **Пока идет трассировка, показывать:**

- **печатную плату (схему);**

- **окно автотрассировщика.**

- **Остановить автотрассировку:**

- **при полном завершении работы;**

– при неудаче в процессе трассировки (невозможно при заданном расположении элементов схемы и толщине проводников выполнить какое-либо соединение).

- После завершения трассировки:
 - вернуться к неудачно проведенной трассе;
 - обратиться к следующей трассе;
 - возобновить работу.

Если была выбрана трассировка двусторонней платы, печатные проводники разных сторон обозначаются разными цветами.

Для вывода разработанной монтажной схемы на печать необходимо предварительно запустить файл **graphics.com**, затем запустить файл учебной программы **editold.exe**. Далее следует отключить координатную сетку **Alt-F9** и строку статуса **Alt-F8**. Печать производится нажатием **Sift+PrintScreen**; если необходимо уменьшить масштаб изображения, можно воспользоваться **Alt-F7**. В этом случае рабочая зона выводится перпендикулярно листу бумаги.

7.10. Порядок выполнения работы

Необходимо ознакомиться с технической документацией по работе с учебной программой. Освоить навыки и провести пробную работу с основными командами программы по вводу(выводу) графической информации.

Для *принципиальной электрической схемы*, выданной преподавателем, требуется разработать электромонтажные схемы печатных плат при одностороннем и двустороннем монтаже в режиме автотрассировки.

Этапы выполнения работы:

1. Используя справочную литературу, выписать для данной схемы основные параметры (тип элементов, маркировку выводов, габариты,

технологические особенности монтажа и эксплуатации) используемых элементов радиоэлектронной аппаратуры.

2. Зарисовать принципиальную электрическую схему в свою тетрадь с учетом дополнений.

3. В текстовом редакторе указать пути для автотрассировки.

4. Запустить программу (файл **editold.exe**).

5. Используя команды ввода графической информации, разместить на разрабатываемой ПП элементы РЭА.

6. Загрузить в программу файл автотрассировщика и произвести трассировку ПП в режиме одностороннего и двустороннего монтажа.

7. Полученные монтажные схемы вывести на печать.

По итогам проведенной работы необходимо представить отчет. В содержание отчета входят:

1. Принципиальная схема с указанием типов используемых элементов и маркировкой выводов.

2. Распечатанный текст файла автотрассировщика.

3. Распечатанные на принтере монтажные схемы для одностороннего и двустороннего монтажа.

Заключение

Данное пособие призвано дать основные сведения об элементной базе электротехники и электроники, а также некоторых технологических процессах, применяемых при монтаже радиоэлектронной аппаратуры. Изучение представленного материала позволит освоить элементарные навыки по подбору электрорадиоэлементов в соответствии с требуемыми технологическими параметрами и условиями эксплуатации. Практическая часть работы ориентирована на обучение приемам самостоятельного конструирования печатной платы электронного устройства с использованием компьютера и подготовки конструкторской документации на устройство. Пособие может продуктивно использоваться в самостоятельной работе студентов, при организации внеаудиторной работы студентов и старших школьников, в программах переподготовки кадров.

Библиографический список

1. *Белевцев А.Т.* Ремонт и обслуживание вычислительных машин: Практик. пособие. – М.: Высш.шк., 1990. – 319 с.
2. *Вершинин О.Е., Мироненко И.Г.* Монтаж радиоэлектронной аппаратуры и приборов: Учеб. пособие. – М.: Высш.шк., 1991. – 208 с.
3. *Воробьев Н.И.* Проектирование электронных устройств. – М.: Высш. шк., 1989. – С. 184 – 187.
4. Конденсаторы: Справ. / *И.И.Четвертков, М.Н.Дьяконов, В.И.Присняков и др.*; Под ред. И.И.Четверткова, М.Н.Дьяконова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993. – 392 с.
5. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справ. / *А.Б.Гитцевич, А.А.Зайцев, В.В.Мокряков и др.*; Под ред. А.В.Голомедова. – М.: Радио и связь, 1989. – 528 с.
6. Резисторы: Справ. / *В.В.Дубровский, Д.М.Иванов, Н.Я.Пратусевич и др.*; Под ред. И.И.Четверткова и В.М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
7. Справочная книга радиолюбителя-конструктора: В 2 кн. – Кн. 2 / *Р.Г.Варламов, В.Я.Замятин, Л.М.Капчинский и др.*; Под ред. Н.И.Чистякова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Радио и связь, 1993.– 336 с.
8. Справочник радиолюбителя-конструктора / Под ред. Р.М. Малинина. – М.: Энергия, 1978. – С. 545–551.
9. *Фролов В.В.* Язык радиосхем. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 29–35.

РУКОВОДСТВО ПО КОМАНДАМ**"Горячие" клавиши**

Клавиша	Назначение команды	Клавиша	Назначение команды
F1	Провести трассу	Alt-F1	Черно-белое изображение
F2	Отменить трассу	Alt-F2	Интенсивность цвета
F3	Поставить точку	Alt-F3	Цветная схема
F4	Отменить точку	Alt-F4	Цвет фона
F5	Широкая трасса	Alt-F5	Цвет точки (монтажного отверстия)
F6	Узкая трасса	Alt-F6	Переключение редактируемой поверхности
F7	Поставить контактную площадку	Alt-F7	Размер окна
F8	Повторить нарисованную трассу	Alt-F8	Отключение(включение) строки статуса
F9	Отметить блок	Alt-F9	Координатная сетка (шаг – 1,27 мм)
F10	Отменить выделение блока	Alt-F10	Переключение терминал/ дисплей

Таблица 2

Служебные команды

Клавиша	Выполняемое действие
?	Вызов справки
"+" или "-"	Изменение заполнения (sol, com, sil)
← (Backspace)	Маршрут возврата
Ctrl-Break	Прерывание возврата
Arrow	Перемещение курсора на 1 позицию
Shift-PrintScreen	Перемещение курсора на 10 позиций
Enter	Ввод (исполнение) команды

КОМАНДЫ РЕДАКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Таблица 1

Синтаксис команд

Обозначение	Команда
ar	Запуск автотрассировки
clear <layer>	Очистка зоны монтажа
cleave <direction> [<#cells>]	Раздвижка зоны монтажа
color	Цвет
conn <direction> <#pins> [<site>]	Разъем (2-х рядный)
copy	Копировать
d <direction> <#cells> [<site> [<pin1><pin2>]]	Деталь (с полярными выводами, например, диод)
dd <drive:><directory>	Установка текущего каталога
dip <direction> <#pins> <#tenths> [<site>]	Корпус (микросхема)
dir <drive:><directory>	"Оглавление"
fill <layer>	Заполнение
-fill	Отмена заполнения
find <X> <Y>	Перенос курсора
flip	Поворот
help	Инструкция
jump [<X>],[<Y>],[<layer>]	Перенос курсора
jump <site> <pin>	Перенос курсора к точке
load <filename>	Чтение файла
mouse	Мышка
move	Переместить рисунок к курсору
pad <size><shape>	Точка
quit	Выход из программы

Обозначение	Команда
r <direction> <#cells> [<site>[<pin1> <pin2>]]	Деталь (с неполярными выводами, например резистор)
rlist [<routetypes>]	Список трасс после автотрассировки ar
save <filename>	Запись файла
sip <direction> <#pins> [<site>]	Разъем (однорядный)
swap	Обмен сторонами
stat	Состояние
term <site> <pin>	"Вывод (контакт)" (позиционное обозначение элемента, точки)
-term	Отмена "вывода"
text [<direction>]	Текст
tlist [<termtypes>]	Список трасс до выполнения автотрассировки ar
type <filename>	Распечатка файла (в ASCII)

Таблица 2

Расшифровка опций команд

Опция	Описание
<#cells>	Расстояние между выводами ($N \times 1.27$, $N > 1$)
<direction>	n (вверх); s (вниз); e (вправо); w (влево) – направление прорисовки детали относительно первого (базового) вывода
<layer>	sol (пайка); com (компоненты, детали); sil (покрытие) – уровни (слои)
<pin>	Вывод детали (номер) или буква (например, e – эмиттер, b – база)
<#pins>	Число выводов
<routetypes>	+ (); – () – список трасс и их путей после ar

Опция	Описание
<#tenths>	Расстояние между выводами корпуса ($N \times 2.54$, $N > 0$)
<termtypes>	f (); l () – список элементов, имеющих позиционное обозначение до ag
<shape>	s (квадрат); r (круг) – вид точки (контактной площадки)
<site>	"Место" (позиционное обозначение элемента, например, DD4 , VD7 и т.п.)
<size>	62 или 75 – размер точки (контактной площадки)
[]	Необязательный параметр

Примечание. Вид файла автотрассировщика:

<filename>.TXT(.DAT) {<site1>[]<pin>[] [] []<site2>[]<pin>.....}

[] – пробел

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

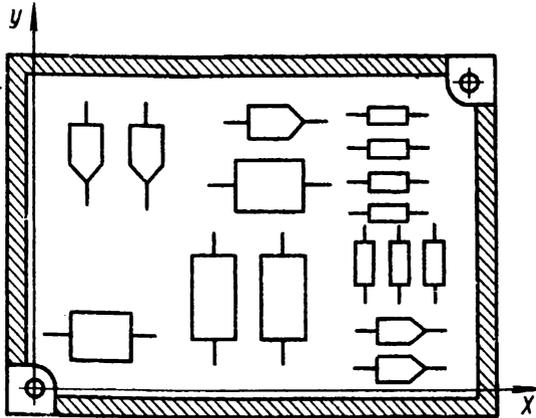


Рис. 1. Расположение элементов на печатной плате (компоновка)

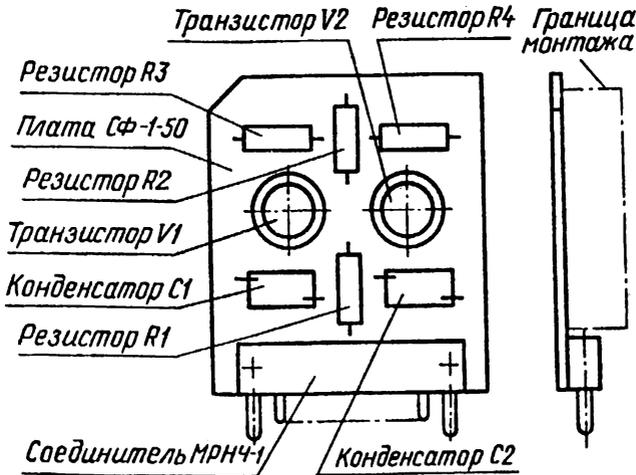


Рис. 2. Наименование и обозначение составных частей изделия на полках линий-выносок (сборочный чертеж)

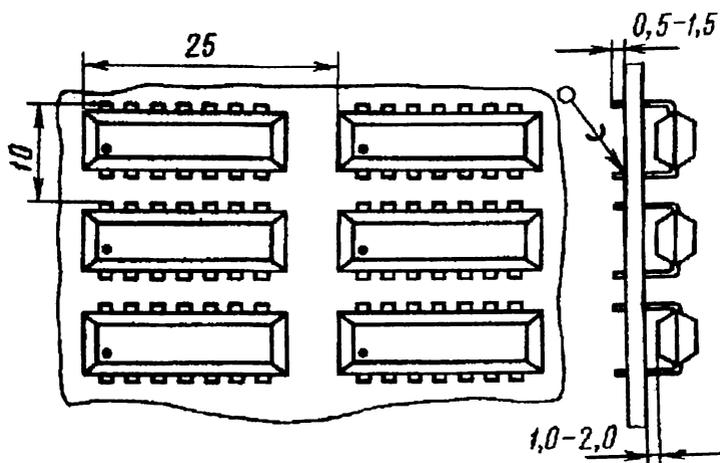


Рис. 3. Размещение микросхем в DIP-корпусах на печатной плате

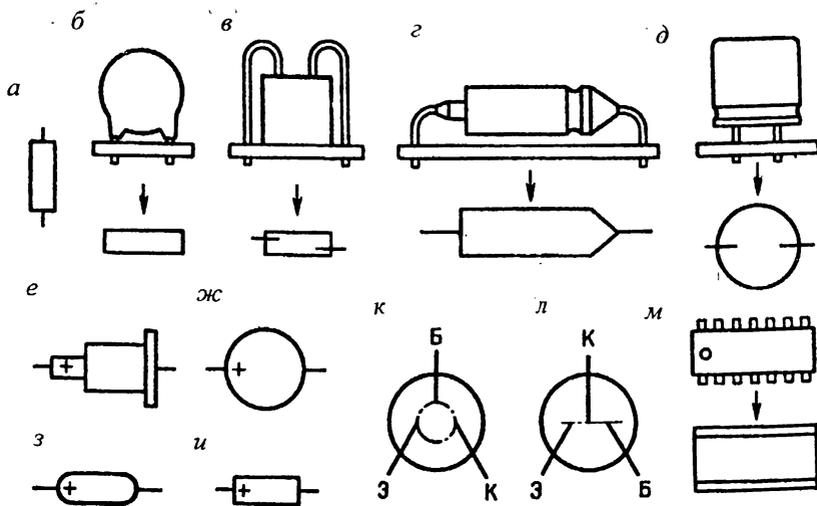


Рис. 4. Примеры упрощенного изображения: а – постоянного резистора; б-д – конденсаторов; е-и – диодов; к-л – транзисторов; м – микросхемы

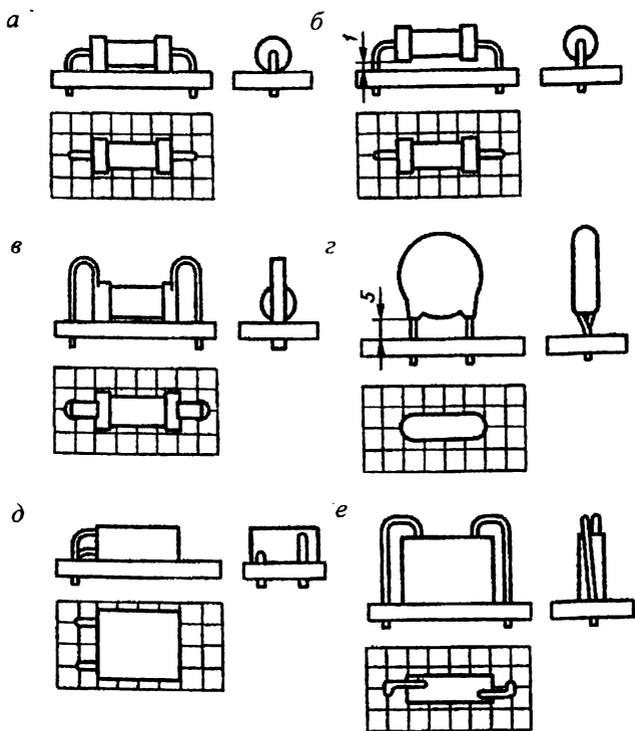


Рис. 5. Установка элементов: *а* – над изоляционной поверхностью;
б – над проводящей поверхностью; *в* – с плоскими выводами;
г-е – с диэлектрическим покрытием

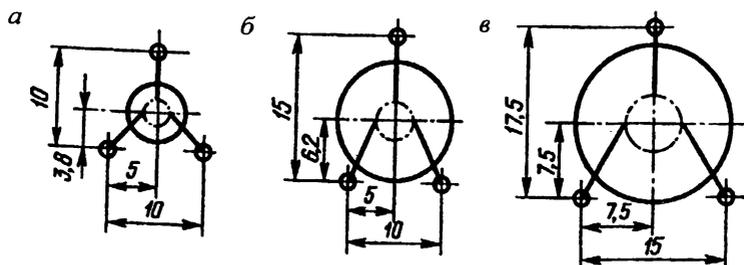


Рис. 6. Расположение монтажных отверстий при установке выводами
 вверх транзистора диаметром: *а* – 10 мм; *б* – до 15 мм; *в* – до 20 мм

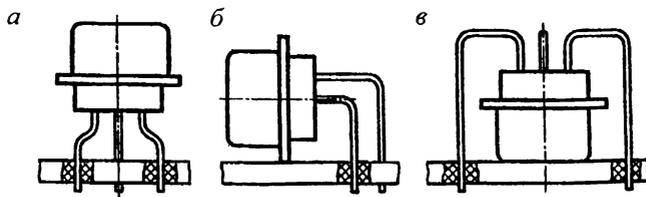


Рис. 7. Способы установки транзистора на плату: *a* – выводами вниз;
б – горизонтально; *в* – выводами вверх

ЧЕРТЕЖИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

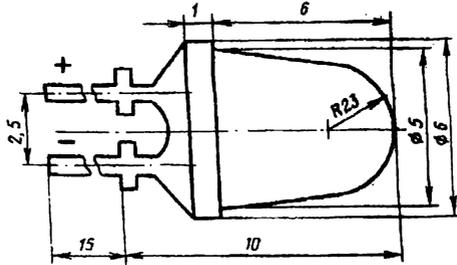


Рис. 1. Светодиоды АЛ307А, АЛ307Б

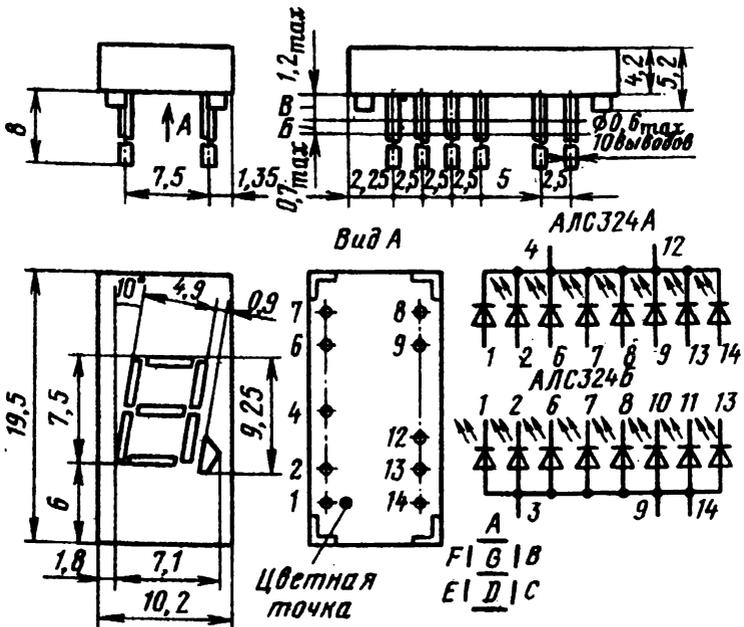
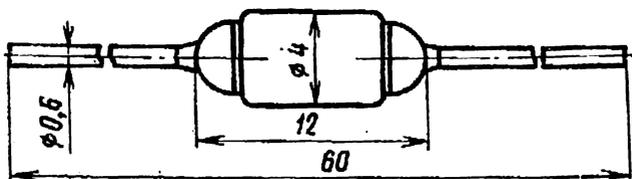
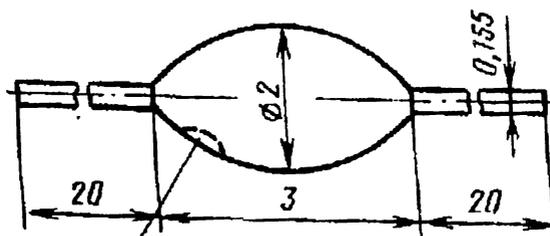


Рис. 2. Семисегментные индикаторы АЛС324А и АЛС 324Б

Д223, Д223А, Д223Б



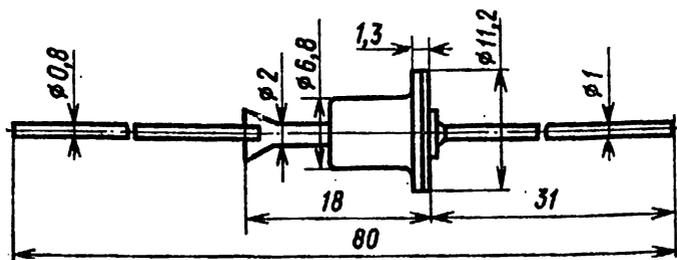
Д223, Д223А, Д223Б



Красная точка



КД103А



Д226

Рис. 3. Диоды

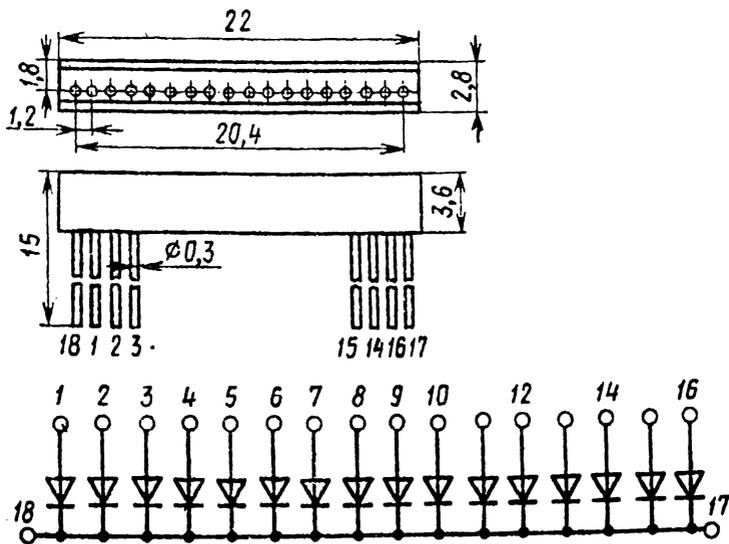


Рис. 4. Диодная сборка 2Д919, КД919А

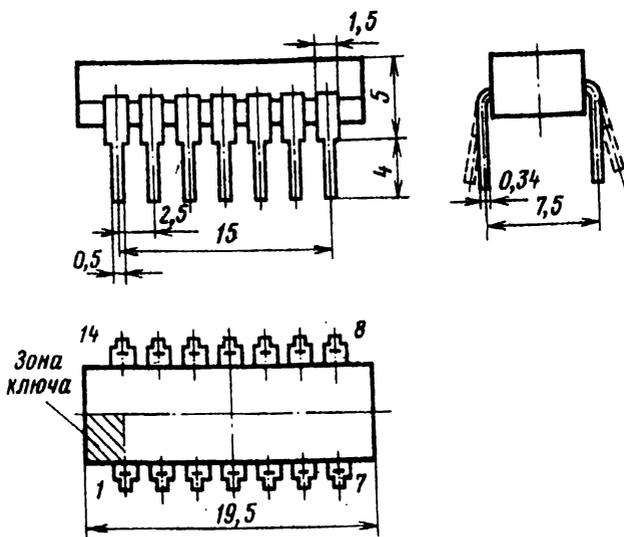


Рис. 5. Корпус микросхемы типа 201.14-1, 201.14-2

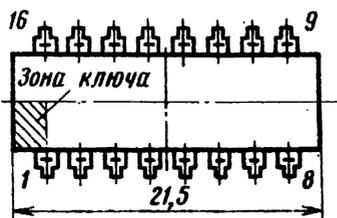
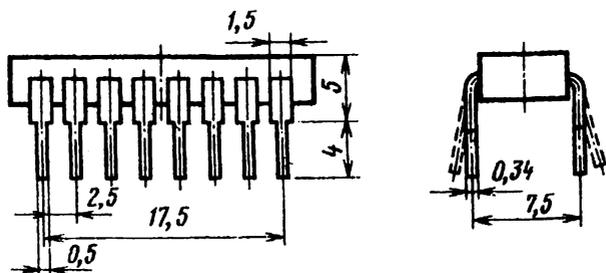


Рис. 6. Корпус микросхемы типа 238.16-1, 238.16-2

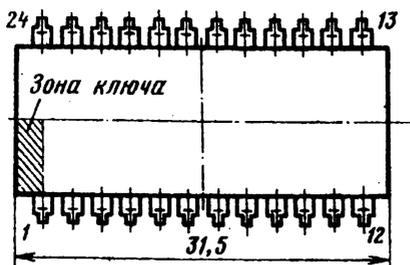
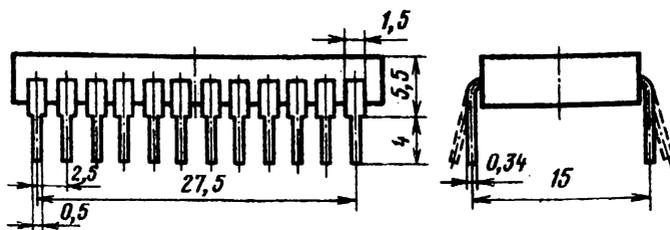


Рис. 7. Корпус микросхемы типа 238.24-1, 239.24-2

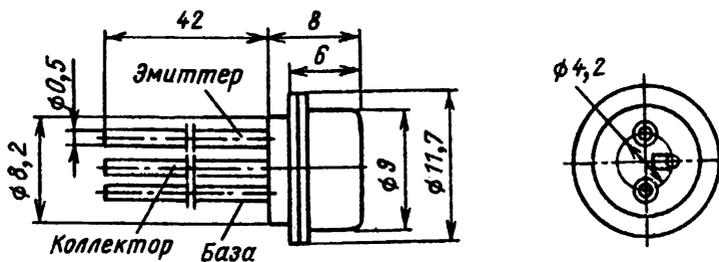


Рис. 8. Транзистор 2Т603(А-И), КТ603(А-Е)

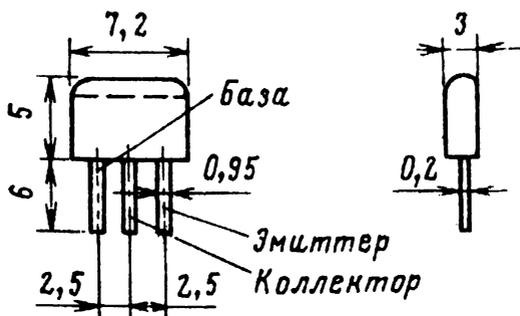


Рис. 9. Транзистор КТ315(А-Р)

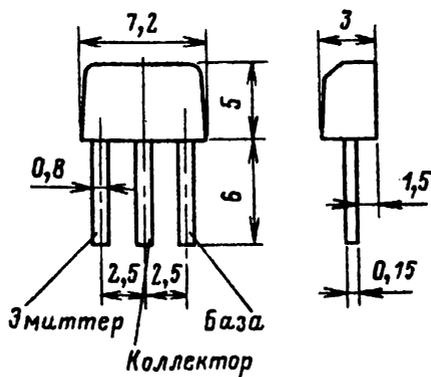


Рис. 10. Транзистор КТ361(А-Е)

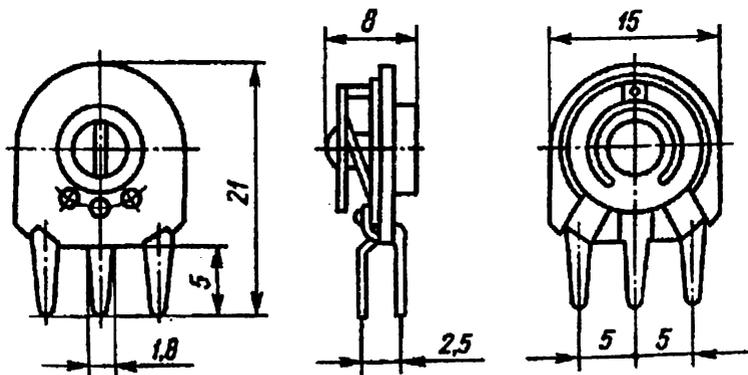


Рис. 11. Резистор подстроечный СПЗ-16

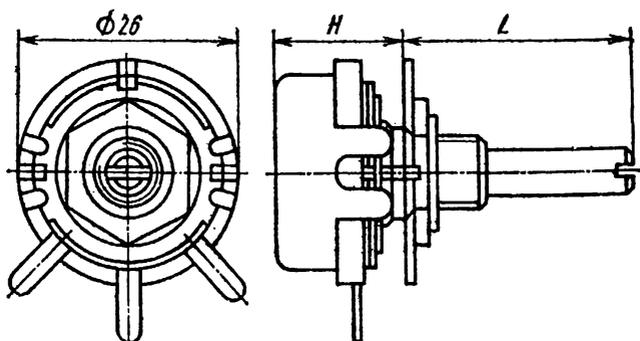
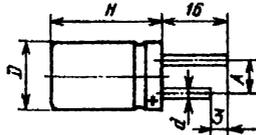


Рис. 12. Резистор регулировочный СПЗ-30а

**ПРИМЕР СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ
НА КОНДЕНСАТОР К50-16**

*вариант 1
с однонаправленными
пробочными выводами*



Номинальная емкость, мкФ	Номинальное напряжение, В	Размеры, мм				Масса, г, не более	
		<i>D</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>d</i>		
20	6,3	4	13	2	0,5	0,6	
30 50		6		2,5		0,8	
100		7,5	15	5		1,7	
200		10,5	13			2,3	
500		12	16			4	
10	10	4	13	2	0,5	0,6	
20 30		6		2,5		0,8	
50		18	13	5		1,2	
100						10,5	2,3
200		15	2,5				
500		12	18	4,5			
2000		18	26	7,5		0,8	12
5	16	4	13	2	0,5	0,6	
10 20		6		2,5		0,8	
30		15		5		1,4	
50			1,7				
100		10,5	13	5		2,3	
200		12	16			4	
500		14	18			6	
1000		16	26	7,5		0,8	8
2000		18	45				25

Шабалдин Евгений Дмитриевич
Смолин Георгий Константинович

Практикум по профессии

Учебное пособие

Редактор Н.М. Юркова

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 28.05.03. Формат 60х84/16. Бумага для множ.
аппаратов. Усл.печ.л. 6,1. Уч.-изд.л. 6,4. Тираж 100 экз. Заказ *№245*
Издательство Российского государственного профессионально-
педагогического университета. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

Ризограф РГПШУ. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

