

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Электроника и микроэлектроника»

Тексты проблемных лекций

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:

«КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

для студентов направления

5521700 «Электроника и микроэлектроника»

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Электроника и микроэлектроника»

Тексты проблемных лекций

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:

«КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

для студентов направления

5521700 «Электроника и микроэлектроника»

Утверждено
Методическим советом
ФерПИ протокол № ____

« ____ » _____ 2008 г

Фергана – 2008

Лекция №1.

Введение. Пассивные компоненты электронной техники.

План

1. Введение.
2. Пассивные компоненты электронной техники

Ключевые слова.

Элементы, компоненты, активные компоненты, пассивные компоненты, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы.

1.1 Введение

Современная электронная аппаратура содержит огромное количество компонентов, т.е. самостоятельных (комплектующих) изделий, выполняющих определенные функции. В качестве компонентов могут выступать транзисторы, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т.д., а также интегральные микросхемы (ИМС), которые в свою очередь состоят из большого числа элементов, реализующих функции транзистора, резистора и т.д.

Понятия "элемент" и "компонент" во многом тождественны. Во всяком случае, функции, выполняемые ими, одинаковы. Дискретный транзистор, выступающий как компонент, выполняет те же функции, что и транзистор в ИМС, с той лишь разницей, что дискретный транзистор, как компонент при необходимости можно заменить другим, а транзистор, входящий в состав ИМС, принципиально не может быть заменен другим.

1.2 Пассивные компоненты электронной техники

Компоненты электронной техники делятся на активные и пассивные. К активным относятся транзисторы, электронные лампы, микросхемы и т.д., т. е. элементы, способные усиливать или преобразовывать электрические сигналы. К пассивным относятся резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, коммутационные элементы, т. е. такие элементы, которые предназначены для перераспределения электрической энергии. Главная задача этой группы элементов – выполнение простейших операций (накопление заряда, сопротивление протекающему току, концентрация электромагнитной энергии и т.д.). В настоящее время в связи с бурным развитием электроники потребность в пассивных элементах возрастает.

Пассивные элементы могут выступать как дискретные компоненты и как элементы ИМС. Несмотря на то, что ИМС имеют большой удельный вес в электронной аппаратуре, пассивные компоненты являются самыми распространенными изделиями электронной промышленности. Объясняется это в первую очередь тем, что ряд элементов трудно выполнить в микросхемном исполнении. Практически невозможно в ИМС изготовить конденсаторы большой емкости, резисторы с большим сопротивлением, практически нет интегральных катушек индуктивности и трансформаторов. Да и технические характеристики дискретных элементов лучше, чем интегральных.

В современной электронной аппаратуре доля дискретных резисторов составляет от 15 до 50% всех элементов принципиальной схемы, доля дискретных конденсаторов составляет около 25%, практически все катушки индуктивности и трансформаторы являются дискретными компонентами.

Всё большее усложнение электронной техники предъявляет к компонентам повышенные требования. Эти требования направлены на микроминиатюризацию, снижение массы и габаритов, повышение стойкости к внешним факторам, рост надежности

Контрольные вопросы

1. **Перспективы развития электронной техники?**
2. Какие компоненты называются активными компонентами электронной техники?
3. Какие компоненты называются пассивными компонентами электронной техники?
4. Чем отличаются элементы от компонентов?
5. Назначение пассивных компонентов?
6. Требования к пассивным компонентам?
7. **Что такое резистор?**
8. **Что такое конденсатор?**
9. **Что такое катушка индуктивности?**
10. **Что такое трансформатор?**

Лекция №2.

Резисторы. Классификация. Конструкция

План:

1. Резисторы
2. Классификация резисторов
3. Конструкция резисторов

Ключевые слова

Резисторы, классификация резисторов, сопротивление, плёночные резисторы, объёмные резисторы, переменные резисторы, подстроечные резисторы, нелинейные резисторы, конструкция резисторов, диэлектрическое основание, резистивный элемент, выводы.

2.1 Резисторы.

Резисторы являются компонентами электронной аппаратуры и могут применяться как дискретные компоненты или как составные части интегральных микросхем. Они предназначены для перераспределения и регулирования электрической энергии между элементами схемы. Принцип действия резисторов основан на использовании свойства материалов оказывать сопротивление протекающему через них электрическому току. Особенностью резисторов является то, что электрическая энергия в них превращается в тепло, которое рассеивается в окружающую среду.

2.2 Классификация резисторов.

По назначению дискретные резисторы делятся на резисторы общего назначения, прецизионные, высокочастотные, высоковольтные и высокоомные.

По постоянству значения сопротивления резисторы подразделяются на постоянные, переменные и специальные. Постоянные резисторы имеют фиксированную величину сопротивления, у переменных резисторов предусмотрена возможность изменения сопротивления в процессе эксплуатации, сопротивление специальных резисторов изменяется под действием внешних факторов: протекающего тока или приложенного напряжения (варисторы), температуры (терморезисторы), освещения (фоторезисторы) и т.д.

Переменные резисторы, в зависимости от назначения, подразделяются на подстроечные и регулировочные. Подстроечные резисторы рассчитаны на однократную настройку аппаратуры. Их подвижная ось обычно выводится под шлиц, в некоторых случаях предусматривается стопорение оси после настройки. Износоустойчивость подстроечных резисторов невелика — 150–200 поворотов оси. Регулировочные резисторы используются при многократных регулировках аппаратуры, обладают большой износоустойчивостью (до нескольких сот тысяч циклов).

К регулировочным резисторам следует отнести те, чье основное назначение - оперативное регулирование (изменение) эксплуатационных (или "потребительских") параметров радиоаппаратуры: громкости и тембра звучания, уровня записи, установки стереобаланса в звукозаписывающей и звуковоспроизводящей аппаратуре; яркости, контрастности, цветовой насыщенности в телевизорах и т.п.

Для этих целей практически всегда используются потенциометры с выводимой на лицевую панель аппарата осью необходимой длины или плоской пластиной (в случае "ползунковых" потенциометров) с декоративной ручкой управления.

Регулировочные резисторы по конструктивному исполнению могут быть одиночными, спаренными, сдвоенными, строенными и даже счетверенными (например, отечественные резисторы типа СПЗ-33) с одной общей или двумя (тремя) отдельными концентрическими осями управления. Они могут сочетаться с сетевым или иного назначения выключателем - в свою очередь однополюсным или многополюсным.

По виду токопроводящего элемента резисторы делятся на проволочные и непроволочные.

По эксплуатационным характеристикам дискретные резисторы делятся на термостойкие, влагостойкие, вибро- и ударопрочные, высоконадежные и т.д.

Резисторы гибридных ИМС изготавливаются в виде резистивных пленок, наносимых на поверхность подложки. Эти резисторы могут быть тонкопленочными (толщина пленки порядка 1 мкм) и толстопленочными (толщина пленки порядка 20 мкм).

Резисторы полупроводниковых ИМС представляют собой тонкую (толщиной 2-3 мкм) локальную область полупроводника, изолированную от подложки и защищенную слоем SiO_2 .

В зависимости от конкретных условий работы в электронной аппаратуре применяются различные типы резисторов.

Непроволочные тонкослойные постоянные резисторы. У резисторов группы С1 токопроводящий слой представляет собой пленку пиролитического углерода, а у резисторов группы С2 - пленку сплава металла или оксида металла. Эти резисторы являются резисторами широкого применения с допусками ± 5 , ± 10 или $\pm 20\%$ и мощностью от 0,125 до 2 Вт. Помимо резисторов С1 и С2 к этой категории резисторов относятся резисторы типов МЛТ, МТ и ВС. Поскольку металл обладает более высокой термостойкостью, чем углерод, то резисторы С2 при равной мощности имеют меньшие габариты, чем С1. Резисторы С2 обладают более высокой стабильностью при циклических изменениях температуры. Недостатком металлопленочных резисторов является небольшая стойкость к импульсной нагрузке и меньший частотный диапазон, чем у углеродистых. Объясняется это тем, что токопроводящий слой у этих резисторов толще, чем у углеродистых, поэтому увеличивается паразитная емкость между витками резистивной спирали. На основе резисторов С2 создаются также прецизионные резисторы с допусками $\pm(0,1-1)\%$. Прецизионные резисторы имеют большие габариты, чем резисторы общего применения. Это облегчает тепловые режимы и повышает стабильность свойств проводящего слоя.

Композиционные резисторы. У этих резисторов токопроводящий материал получают путем смешивания проводящей компоненты (графита или сажи) со связывающими компонентами, наполнителем, пластификатором и отвердителем. В резисторах группы С3 полученная композиция наносится на поверхность изоляционного основания, а в резисторах группы С4 спрессовывается в виде объемного цилиндра или параллелепипеда. В зависимости от состава композиционные материалы имеют очень широкий диапазон удельных сопротивлений. Объемные композиционные резисторы С4 имеют прямоугольную форму и предназначены для компоновки на печатных платах. Они обладают высокой термостойкостью (до 350°C) и имеют небольшие габариты. Недостатком композиционных резисторов является высокий уровень токовых шумов, что объясняется крупнозернистой структурой проводящего материала.

Проволочные постоянные резисторы. Для изготовления этих резисторов используют провода из специальных сплавов, имеющих высокое удельное сопротивление, хорошую термостойкость и малый температурный коэффициент сопротивления. Эти резисторы обладают очень высокой допустимой мощностью рассеивания (десятки ватт) при относительно небольших размерах, высокой точностью и хорошей температурной стабильностью. Так как резисторы изготавливают путем намотки провода на каркас, то они имеют большую индуктивность и собственную емкость. Для уменьшения индуктивности применяют бифилярную намотку, при которой обмотку резистора выполняют сдвоенным проводом, благодаря чему поля расположенных рядом витков направлены навстречу друг другу и вычитаются. Уменьшение индуктивности достигается также путем намотки на плоский каркас. Недостатком бифилярной намотки является большая собственная емкость. Для получения малой индуктивности и емкости применяют разбивку обмотки на несколько секций, в каждой из которых поочередно меняется направление намотки. Проволочные резисторы значительно дороже тонкопленочных, поэтому применяют их в тех случаях, когда характеристики тонкопленочных резисторов не удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Высокочастотные резисторы и резисторы СВЧ. Эти резисторы обладают небольшой собственной индуктивностью и емкостью, что обеспечивается отсутствием спиральной нарезки, но при этом величина сопротивления не превышает 200 - 300 Ом. Однако это не является недостатком, так как на СВЧ высокие номиналы сопротивлений не применяются. В ряде случаев высокочастотные резисторы изготавливаются без проволочных выводов и эмалевого покрытия, что уменьшает паразитную индуктивность и шунтирующее действие диэлектрика. На сверхвысоких частотах применяют резисторы группы Сб, способные работать на частотах до 10 ГГц. К категории высокочастотных относятся также резисторы типов: С2-11, С2-34, МОН (маталлоокисные незащищенные) и МОУ - (металлоокисные ультравысокочастотные). На высоких частотах находят применение, кроме того, микропроволочные малогабаритные резисторы типа С5-32 Т, имеющие длину 6 мм и диаметр 2,6 мм, и паразитную индуктивность не более 0,1 мкГн. Эти резисторы имеют мощность 0,125 Вт и номинальные сопротивления от 0,24 до 300 Ом с точностью 0,5, 1,2, и 5%.

Резисторы с линейной вольт - амперной характеристикой называются линейными резисторами. В отличие от аналогичных элементов, например, варисторов, термисторов, у которых вольт - амперная характеристика имеет нелинейный характер. Резисторы с нелинейной вольт - амперной характеристикой называются нелинейными. Чем больше номинальное сопротивление резистора, тем меньше угол наклона вольт - амперной характеристики к оси абсцисс, тем более полого на графике располагается вольт - амперная характеристика. Полупроводниковые нелинейные резисторы, в отличие от линейных резисторов, обладают способностью изменять свое сопротивление под действием управляющих факторов: температуры, напряжения, магнитного поля и др. Такие резисторы также относятся к категории специальных резисторов.

Варисторы - полупроводниковые резисторы, сопротивление которых зависит от приложенного к ним напряжения. Варисторы изготавливаются путем спекания кристаллов карбида кремния и связующих веществ. В готовой структуре варистора между кристаллами кремния существуют мельчайшие зазоры. При приложении к варистору внешнего напряжения происходит перекрытие этих зазоров, в результате чего сопротивление варистора уменьшается. Типичный вид вольт - амперной характеристики показан на рис. 2.1.

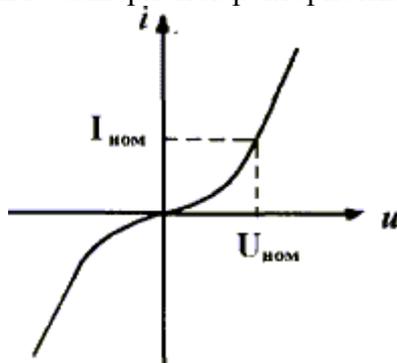


Рисунок 2.1 Вольт - амперная характеристика варистора

Параметрами варистора являются:

- номинальное напряжение $U_{ном}$;
- номинальный ток $I_{ном}$;

- статическое сопротивление $R = \frac{U_{ном}}{I_{ном}}$

- дифференциальное сопротивление $\tau_{диф} = \frac{du}{di}$

- коэффициент нелинейности $\beta = \frac{R}{\tau_{диф}}$

Поскольку сопротивление варисторов значительно изменяется с изменением приложенного напряжения, то они находят применение в качестве регулирующих элементов в устройствах автоматики. В обозначении варисторов содержится буквы СН (сопротивление нелинейное).
Терморезисторы - это полупроводниковые резисторы, сопротивление которых меняется в зависимости от температуры (рис. 2.2, а)

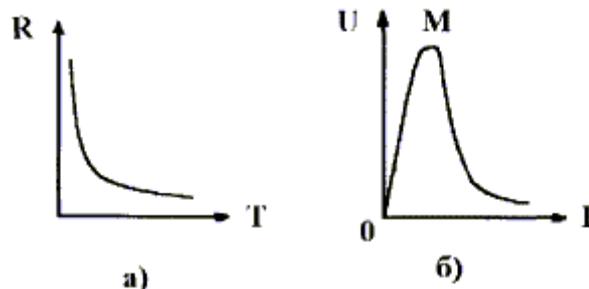


Рисунок 2.2. Характеристики терморезистора

Вследствие нелинейности температурной характеристики вольт - амперная характеристика (ВАХ) будет также нелинейной (рис. 2.11,б). При малых токах ВАХ практически линейна (участок ОМ), поскольку мощность, выделяемая в терморезисторе, недостаточна для того, чтобы заметно нагреть его. При больших токах сопротивление резистора уменьшится, что сопровождается уменьшением напряжения на нем.

Параметрами терморезистора являются:

- номинальное сопротивление R_n при $T=20^{\circ}\text{C}$,
- температурный коэффициент сопротивления ТКС,
- максимально допустимая мощность рассеивания P_{max} ,
- постоянная времени t , численно равная времени, в течение которого температура резистора при перенесении его из воздушной среды с температурой 0°C в воздушную среду с температурой 100°C изменяется на 63%.

Терморезисторы используются в системах измерения и регулирования температуры. В обозначении терморезисторов содержится буквы СТ.

Фоторезисторы - это полупроводниковые резисторы, сопротивление которых меняется под воздействием света. Они используются в качестве датчиков освещенности в системах телеметрии.

Тензорезисторы — это резисторы, сопротивление которых меняется под влиянием механических воздействий.

Магниторезисторы - это резисторы с резко выраженной зависимостью электрического сопротивления от магнитного поля. Свойства магниторезисторов оцениваются магниторезистивным отношением, которое показывает, во сколько раз изменяется сопротивление магниторезистора при помещении его в магнитное поле с индукцией 0,5Т (или 1Т).

2.2 Конструкция резисторов

Основным элементом конструкции постоянного резистора является резистивный элемент, который может быть либо пленочным, либо объемным. Величина объемного сопротивления материала определяется количеством свободных носителей заряда в материале, температурой, напряженностью поля и т.д. и определяется известным соотношением

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (2.1)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление материала,

l - длина резистивного слоя,

s - площадь поперечного сечения резистивного слоя.

В чистых металлах всегда имеется большое количество свободных электронов, поэтому они имеют малую величину ρ и для изготовления резисторов не применяются. Для изготовления проволочных резисторов применяют сплавы никеля, хрома и т.д., имеющие большую величину ρ .

Для расчета сопротивления тонких пленок пользуются понятием удельного поверхностного сопротивления ρ_s , под которым понимается сопротивление тонкой пленки, имеющей в плане форму квадрата. Величина ρ_s связана с величиной ρ и легко может быть получена из 2.1, если принять в ней $s = \delta w$, где w - ширина резистивной пленки, δ - толщина резистивной пленки.

Тогда

$$R = \rho_s \frac{l}{s} \quad (2.2)$$

где

$\rho_s = \frac{\rho}{\delta}$ - удельное поверхностное сопротивление, зависящее от толщины пленки δ . Если $l = w$, то $R = \rho_s$, причем величина сопротивления не зависит от размеров сторон

На рис.2.3 представлено устройство пленочного резистора. На диэлектрическое цилиндрическое основание 1 нанесена резистивная пленка 2. На торцы цилиндра надеты контактные колпачки 3 из проводящего материала с припаянными к ним выводами 4. Для защиты резистивной пленки от воздействия внешних факторов резистор покрывают защитной пленкой 5.

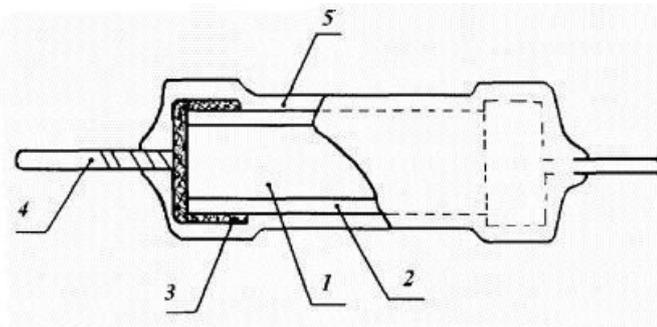


Рисунок 2.3 Устройство пленочного резистора.

Сопротивление такого резистора определяется соотношением

$$R = \rho_s \frac{l}{\pi D} \quad (2.3)$$

где l - длина резистора (расстояние между контактными колпачками), D - диаметр цилиндрического стержня резистора (расстояние между контактными колпачками), D - диаметр цилиндрического стержня.

Такая конструкция резистора обеспечивает получение сравнительно небольших сопротивлений (сотни Ом). Для увеличения сопротивления резистора резистивную пленку 2 наносят на поверхность керамического цилиндра 1 в виде спирали (рис. 2.4).

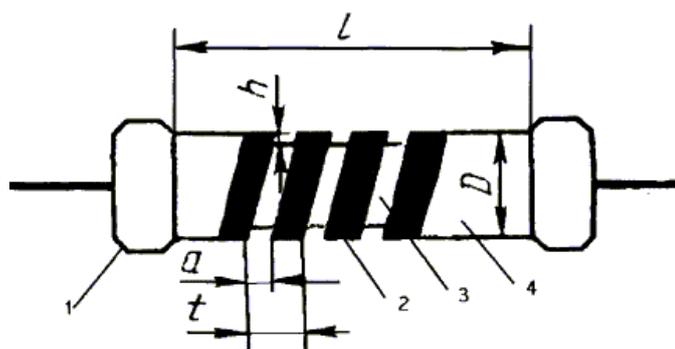


Рисунок 2.4 Конструкция пленочного резистора с резистивной пленкой, нанесенной на поверхность керамического цилиндра.

Сопротивление такого резистора определяется соотношением

$$R = \rho_s \frac{N\pi D}{t - a} \quad (2.4)$$

где t - шаг спирали, a - ширина канавки (расстояние между соседними витками спирали),

$N = \frac{l}{t}$ число витков спирали.

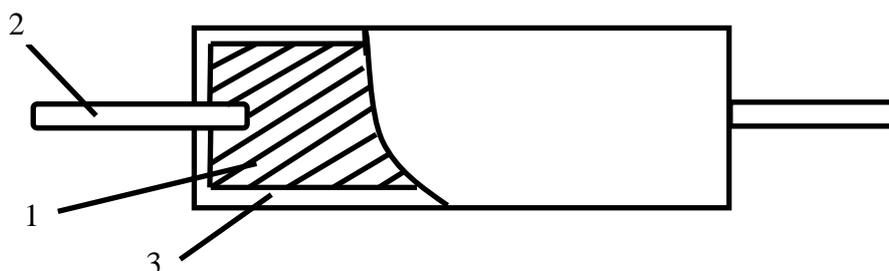


Рисунок 2.5. Конструкция объёмного резистора

На рис. 2.5 показана конструкция объёмного резистора, представляющего собой стержень 1 из токопроводящей композиции круглого или прямоугольного сечения с запрессованными проволочными выводами 2. Снаружи стержень защищен стеклоэмалевой или стеклокерамической оболочкой 3. Сопротивление такого резистора определяется соотношением (2.1).

Постоянный проволочный резистор представляет собой изоляционный каркас, на который намотана проволока с высоким удельным электрическим сопротивлением. Снаружи резистор покрывают термостойкой эмалью, спрессовывают пластмассой либо герметизируют металлическим корпусом, закрываемым с торцов керамическими шайбами.

Для гибридных ИМС выпускаются микромодульные резисторы, представляющие собой стержень из стекловолокна с нанесенным на поверхность тонким слоем токопроводящей композиции. Такие резисторы приклеиваются к контактным площадкам подложек токопроводящим клеем - контактолом.

Конструкции переменных резисторов гораздо сложнее, чем постоянных. На рис. 2.6 представлена конструкция переменного непроволочного резистора круглой формы.

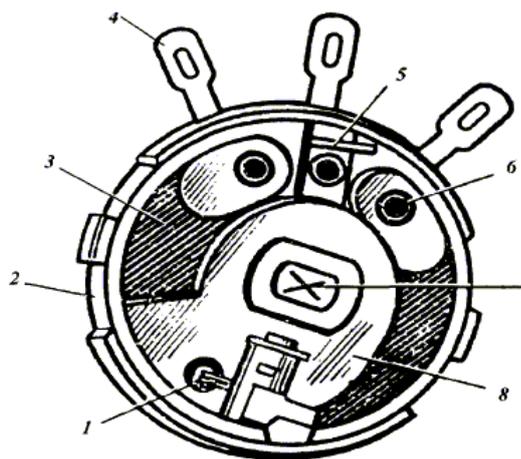


Рис. 2.6 Конструкция переменного резистора.

Он состоит из подвижной и неподвижной частей. Неподвижная часть представляет собой пластмассовый корпус 2, в котором смонтирован токопроводящий элемент 3, имеющий подковообразную форму. Посредством заклепок 6 он крепится к круглому корпусу. Эти заклепки соединены с внешними выводами 4. Подвижная часть представляет собой вращающуюся ось, с торцом которой 7 посредством чеканки соединена изоляционная планка 8, на которой смонтирован подвижный контакт 1 (токосъемник), соединенный с внешним выводом. Угол поворота оси составляет 270° и ограничивается стопором 5.

Существуют и другие конструкции переменных непроволочных резисторов.

Токопроводящий элемент в них бывает тонкослойным металлическим или металлооксидным (резисторы типа СП2), пленочным композиционным (резисторы типа СП4).

Переменные резисторы могут иметь разный закон изменения сопротивления в зависимости от угла поворота оси (рис.2.7).

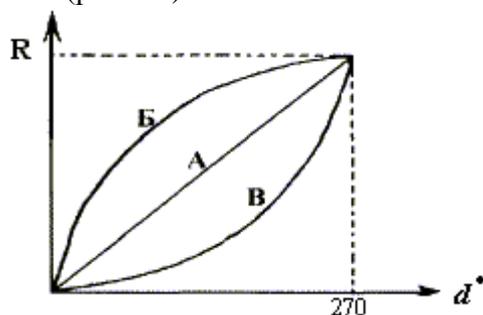


Рисунок 2.7 Закон изменения сопротивления переменных резисторов в зависимости от угла поворота оси

У линейных резисторов (типа А) сопротивление зависит от угла поворота линейно. У логарифмических резисторов (тип Б) сопротивление изменяется по логарифмическому закону, а у резисторов типа В - по обратнологарифмическому. Кроме того, существуют резисторы, у которых сопротивление изменяется по закону синуса (тип И) или косинуса (тип Б).

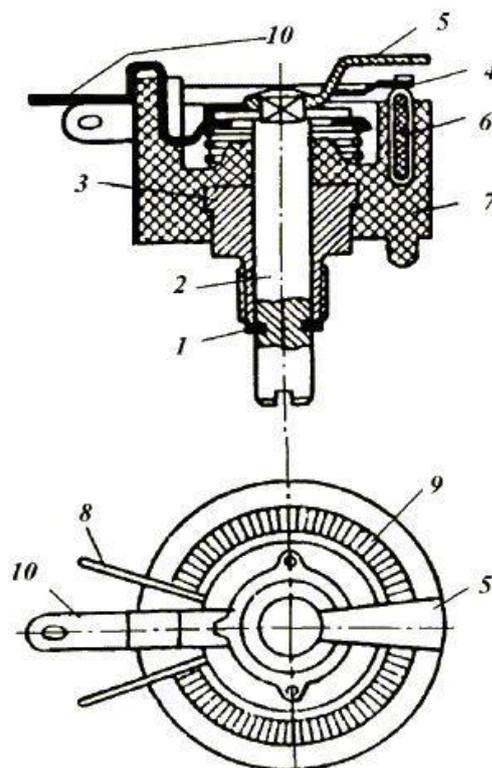


Рисунок 2.8 Конструкция переменного проволочного резистора с круговым перемещением токосъемника

Некоторые типы переменных резисторов состоят из двух переменных резисторов объединенных в единую конструкцию, в которой токосъемники расположены на общей оси. Существуют переменные резисторы, содержащие выключатель, контакты которого разомкнуты, если ось резистора повернута в крайнее положение при вращении против движения часовой стрелки. При повороте оси по движению часовой стрелки на небольшой угол контакты выключателя замыкаются. Некоторые типы резисторов комплектуются специальными стопорящими устройствами, жестко фиксирующими положение оси. На рис.2.8 показана конструкция переменного проволочного резистора с круговым перемещением токосъемника. В пластмассовом корпусе 7 с помощью цанговой втулки 3 укреплен поворотная ось 2, на которой закреплен изоляционный диск с контактной пружиной (ползуном) 4, скользящей по проводу обмотки 9, - укрепленной на гетинаксовой дугообразной пластине 6. Концы обмотки соединены с выводами 8, а ползун через контактное кольцо соединен с внешним контактным лепестком 10. Положение оси может быть зафиксировано стопорной разрезной гайкой 1, а угол поворота оси ограничен выступами корпуса, в которые упирается планка-ограничитель 5, закрепленная на оси.

Помимо переменных резисторов с круговым перемещением существуют резисторы с прямолинейным перемещением подвижного контакта. В этом случае контактный ползун укрепляется не на поворотной, а на червячной оси.

Выбор типа резистора (постоянного или переменного) для конкретной схемы производится с учетом условий работы и определяется параметрами резисторов.

Каждый из перечисленных регулировочных резисторов может иметь один или несколько дополнительных фиксированных отводов для подключения, например, схем тонкомпенсации или для других целей. Кроме того, любой из них может иметь линейную или нелинейную зависимость изменения сопротивления от угла поворота оси (или степени перемещения ползунка)

Резистор нельзя рассматривать как, элемент, обладающий только активным сопротивлением, определяемым его резистивным элементом.

Помимо сопротивления резистивного элемента он имеет емкость, индуктивность и дополнительные паразитные сопротивления. Эквивалентная схема постоянного резистора представлена на рис. 2.9.

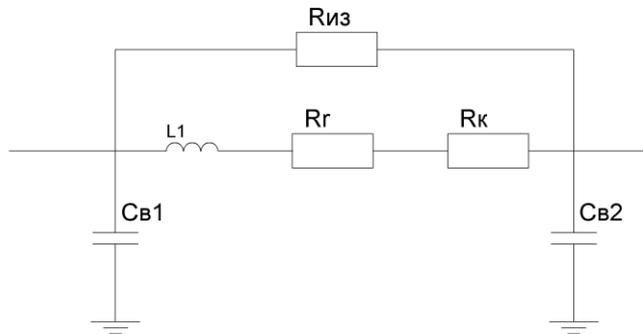


Рисунок 2.9 Эквивалентная схема постоянного резистора

На схеме R_r - сопротивление резистивного элемента, $R_{из}$ — сопротивление изоляции, определяемое свойством защитного покрытия и основания, $R_к$ - сопротивление контактов, L_R — эквивалентная индуктивность резистивного слоя и выводов резистора, C_R - эквивалентная емкость резистора, $C_{в1}$ и $C_{в2}$ - емкости выводов. Активное сопротивление резистора определяется соотношением

$$R = \frac{(R_r + R_к)}{R_r + R_к + R_{из}} \quad (2.5)$$

Сопротивление $R_к$ имеет существенное значение только для низкоомных резисторов. Сопротивление $R_{из}$ практически влияет на общее сопротивление только высокоомных резисторов. Реактивные элементы определяют частотные свойства резистора. Из-за их наличия сопротивление резистора на высоких частотах становится комплексным.

Относительная частотная погрешность определяется соотношением

$$\alpha_R = \frac{Z - R}{R} 100\% \quad (2.6)$$

где Z - комплексное сопротивление резистора на частоте ω

На практике, как правило, величины L и C неизвестны. Поэтому для некоторых типов резисторов указывается значение обобщенной постоянной времени τ_{max} , которая связана с относительной частотной погрешностью сопротивления приближенным уравнением:

$$\alpha_R \approx 50\omega^2 \tau_{MAX}^2 \quad (2.7)$$

Частотные свойства непроволочных резисторов значительно лучше, чем проволочных.

Контрольные вопросы.

1. Что такое резистор?
2. Назначение резистора?
3. Применение резисторов?
4. Классификация резисторов?
5. Какие резисторы называются постоянными?
6. Какие резисторы называются переменными?
7. Что такое нелинейные резисторы?
8. Какие резисторы называются терморезисторами?
9. Какие резисторы называются варисторами?
10. Конструкция резисторов постоянного сопротивления?
11. Конструкция резисторов переменного сопротивления?

Лекция №3.

Резисторы. Параметры. Маркировка

План:

1. Параметры резисторов
2. Маркировка

Ключевые слова:

Номинальное сопротивление, допустимое отклонение, номинальная мощность рассеивания, предельное рабочее напряжение, температурный коэффициент сопротивления, коэффициент старения, коэффициент напряжения, ЭДС шумов резистора.

3.1 Параметры резисторов.

Параметры резисторов характеризуют эксплуатационные возможности применения конкретного типа резистора в конкретной электрической схеме.

Сопротивление - величина, характеризующая противодействие электрической цепи (или её участка) электрическому току, измеряется в омах. Электрическое сопротивление обусловлено передачей или преобразованием электрической энергии в другие виды при необратимом преобразовании электрической энергии (преимущественно в тепловую) Электрическое сопротивление называется сопротивлением активным. Электрическое сопротивление, обусловленное передачей энергии электрическому или магнитному полю (и обратно), называется сопротивлением реактивным.

Номинальное сопротивление $R_{ном}$ и его допустимое отклонение от номинала $\pm \square R$ являются основными параметрами резисторов. Номиналы сопротивлений стандартизованы в соответствии с ГОСТ 10318-74, а допустимые отклонения - в соответствии с ГОСТ 9664-74. Для резисторов общего назначения ГОСТ предусматривает шесть рядов номинальных сопротивлений: E6, E12, E24, E48, E96 и E192. Цифра указывает количество номинальных значений в данном ряду, которые согласованы с допустимыми отклонениями (см. табл.2.1).

Таблица 3.1 Ряды номинальных сопротивлений резисторов

| E24 | E12 | E6 |
|------------|------------|------------|
| 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 1,1 | - | - |
| 1,2 | 1,2 | - |
| 1,3 | - | - |
| 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 1,6 | - | - |
| 1,8 | 1,8 | - |
| 2,0 | - | - |
| 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| 2,4 | - | - |
| 2,7 | 2,7 | - |
| 3,0 | - | - |
| 3,3 | 3,3 | 3,3 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 3,6 | - | - |
| 3,9 | 3,9 | - |
| 4,3 | - | - |
| 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| 5,1 | - | - |
| 5,6 | 5,6 | - |
| 6,2 | - | - |
| 6,8 | 6,8 | 6,8 |
| 7,5 | - | - |
| 8,2 | 8,2 | - |
| 9,1 | - | - |

Номинальные значения сопротивлений определяются числовыми коэффициентами, входящими в табл.2.1, которые умножаются на 10^p , где p -целое положительное число. Так например, числовому коэффициенту 1,0 соответствуют резисторы с номинальным сопротивлением, равным 10, 100, 1000 Ом и т.д. Допустимые отклонения от номинала для ряда E6 составляют $\pm 20\%$, для ряда E12 - $\pm 10\%$, для ряда E24 - $\pm 5\%$. Это значит, что резистор с сопротивлением 1,5кОм из ряда E12 может обладать сопротивлением в пределах от 1,35 до 1,65кОм, а тот же резистор из ряда E6 - в пределах от 1,2 до 1,8 кОм. Числовые коэффициенты, определяющие номинальные значения сопротивлений, подобраны так, что образуется непрерывная шкала сопротивлений, т.е. максимально возможное сопротивление какого-либо номинала совпадает (или несколько больше) с минимальной величиной сопротивления соседнего номинала.

Прецизионные резисторы имеют отклонения от номинала $\pm 2\%$; $\pm 1\%$; $\pm 0,5\%$; $\pm 0,2\%$; $\pm 0,1\%$; $\pm 0,05\%$; $\pm 0,02\%$ и $\pm 0,01\%$.

Номинальная мощность рассеивания $P_{ном}$ определяет допустимую электрическую нагрузку, которую способен выдержать резистор в течение длительного времени при заданной стабильности сопротивления.

Как уже отмечалось, протекание тока через резистор связано с выделением в нем тепла, которое должно рассеиваться в окружающую среду. Мощность, выделяемая в резисторе в виде тепла, определяется величиной приложенного к нему напряжения U и протекающего тока I и равна

$$P_{выд} = UI \quad (3.1)$$

Мощность, рассеиваемая резистором в окружающую среду, пропорциональна разности температур резистора T_R и окружающей среды T_0

$$P_{отв} = \frac{T_R - T_0}{R_T} \quad (3.2)$$

и зависит от условий охлаждения резистора, определяемых величиной теплового сопротивления R_T которое тем меньше, чем больше поверхность резистора и теплопроводность материала резистора.

Из условия баланса мощностей можно определить температуру резистора, что наглядно показано на рис. 3.1 а.

$$\text{Если } P_{выд} = P_{отв}, \text{ то } UI = \frac{T_R - T_0}{R_T}, \text{ откуда } T_R = UIR_T + T_0 \quad (3.3)$$

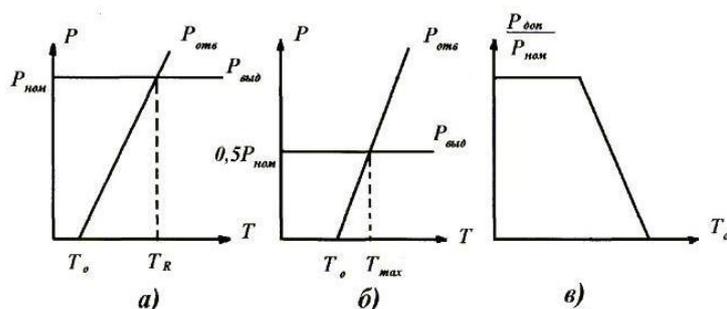


Рисунок 3.1

а) определение температуры резистора из условия баланса мощностей, б) уменьшение мощности, выделяемой в резисторе, в) зависимость мощности от температуры окружающей среды

Следовательно, при увеличении мощности, выделяемой в резисторе, возрастает его температура T_R , что может привести к выходу резистора из строя. Для того чтобы этого не произошло, необходимо уменьшить R_T , что достигается увеличением размеров резистора. Для каждого типа резистора существует определенная максимальная температура T_{max} , превышать которую нельзя.

Температура T_R , как следует из вышеизложенного, зависит также от температуры окружающей среды. Если она очень высока, то температура T_R может превысить максимальную, чтобы этого не произошло, необходимо уменьшать мощность, выделяемую в резисторе (3.1, б). Для всех типов резисторов в ТУ оговариваются указанные зависимости мощности от температуры окружающей среды (рис.3.1,в). Номинальные мощности стандартизованы (ГОСТ 9663-61) и соответствуют ряду: 0,01; 0,025; 0,05; 0,121; 0,25; 0,5; 1; 1,2; 5; 8; 10; 16; 25; 50; 75; 100; 160; 250; 500.

Предельное рабочее напряжение $U_{пред}$ определяет величину допустимого напряжения, которое может быть приложено к резистору. Для резисторов с небольшой величиной сопротивления (сотни Ом) эта величина определяется конструкцией резистора и рассчитывается по формуле:

$$U_{пред} = \sqrt{P_{ном} R_{ном}} \quad (3.4)$$

Для остальных резисторов предельное рабочее напряжение определяется конструкцией резистора и ограничивается возможностью электрического пробоя, который, как правило, происходит по поверхности между выводами резистора или между витками спиральной нарезки. Напряжение пробоя зависит от длины резистора и давления воздуха. При длине резистора, не превышающей 5 см, оно определяется по формуле:

$$U_{проб} \cong 300 \sqrt{Pl} \quad (3.5)$$

где P - давление в мм рт. ст., l - длина резистора в см.

Величина $U_{пред}$ указывает в ТУ, она всегда меньше $U_{проб}$. При испытании резисторов на них подают испытательное напряжение $U_{исп}$, которое больше $U_{пред}$ и меньше $U_{проб}$.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) характеризует относительное изменение сопротивления при изменении температуры

$$ТКС = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta T} \quad (3.6)$$

Он может быть как положительным, так и отрицательным. Если резистивная пленка толстая, то она ведет себя как объемное тело, сопротивление которого с ростом температуры возрастает. Если же резистивная пленка тонкая, то она состоит из отдельных "островков", сопротивление такой пленки с ростом температуры уменьшается, так как улучшается контакт между отдельными "островками". У различных резисторов эта величина лежит в пределах $(7-12)10^{-4}$.

Коэффициент старения β_R характеризует изменение сопротивления, которое вызывается структурными изменениями резистивного элемента за счет процессов окисления, кристаллизации и т.д.

$$\beta_R = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta T} \quad (3.7)$$

В ТУ обычно указывается относительное изменение сопротивления в процентах за определенное время (1000 или 10000 ч).

Коэффициент напряжения K_H характеризует влияние величины приложенного напряжения на сопротивление. В некоторых типах резисторов при высоких напряжениях изменяется величина сопротивления. В непроволочных резисторах это обусловлено уменьшением контактного сопротивления между отдельными зернами резистивной пленки. В проволочных резисторах это обусловлено дополнительным разогревом проволоки при повышенных напряжениях:

$$K_H = \frac{R_{100} - R_{10}}{R_{100}} \quad (3.8)$$

где R_{100} - сопротивление резистора при напряжении $U_{\text{ПРЕД}}$,

R_{10} - сопротивление резистора при напряжении $0,1 U_{\text{ПРЕД}}$.

ЭДС шумов резистора. Электроны в резистивном элементе находятся в состоянии хаотического теплового движения, в результате которого между любыми точками резистивного элемента возникает случайно изменяющееся электрическое напряжение и между выводами резистора появляется ЭДС тепловых шумов. Тепловой шум характеризуется непрерывным, широким, практически равномерным спектром. Величина ЭДС тепловых шумов определяется соотношением:

$$E_T = \sqrt{4KTR\Delta f} \quad (3.9)$$

где $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Д ж/град - постоянная Больцмана,

T - абсолютная температура в градусах шкалы Кельвина,

R - сопротивление. Ом,

Δf - полоса частот, в которой измеряются шумы. При комнатной температуре ($T = 300^\circ \text{K}$)

$$E_T = \frac{1}{8} \sqrt{R\Delta f} \quad (3.10)$$

Если резистор включен на входе высокочувствительного усилителя, то на его выходе будет слышен характерный шум. Уменьшить уровень этих шумов можно лишь уменьшая величину сопротивления R или температуру T .

Помимо тепловых шумов существует токовый шум, возникающий при протекании через резистор тока. Этот шум обусловлен дискретной структурой резистивного элемента. При протекании тока возникают местные перегревы, в результате которых изменяются контакты между отдельными частицами токопроводящего слоя и, следовательно, флюктуирует (изменяется) величина сопротивления, что ведет к появлению между выводами резистора ЭДС токовых шумов E_i . Токовый шум, также как и тепловой, имеет непрерывный спектр, но интенсивность его увеличивается в области низких частот.

Поскольку величина тока, протекающего через резистор, зависит от величины приложенного напряжения U , то в первом приближении можно считать, что

$$E_i = K_i U \quad (3.11)$$

где K_i - коэффициент, зависящий от конструкции резистора, свойств резистивного слоя и полосы частот. Величина K_i указывается в ТУ и лежит в пределах от 0,2 до 20 мкВ/В. Чем однороднее структура, тем меньше токовый шум. У металлопленочных и углеродистых резисторов величина $K_i \approx 1,5$ мкВ/В, у композиционных поверхностных $K_i \approx 40$ мкВ/В, у композиционных объемных $K_i \approx 45$ мкВ/В. У проволочных резисторов токовый шум отсутствует. Токовый шум измеряется в полосе частот от 60 до 6000 Гц. Его величина значительно превышает величину теплового шума.

3.2 Маркировка резисторов

До 1968г. обозначение резисторов состояло из букв, отражающих конструктивно-технологические особенности данного типа резистора, например, МЛП - металлопленочный лакированный теплостойкий.

С 1968г. в соответствии с ГОСТ 13453-68 постоянные резисторы стали обозначаться буквой С, а переменные буквами СП. По конструкции токонесущей части резисторы были разделены на шесть групп:

- 1 - непроволочные углеродистые или бороуглеродистые,
- 2- непроволочные металлопленочные или металлоокисные,
- 3- непроволочные тонкопленочные композиционные,
- 4- непроволочные объемные композиционные,
- 5- проволочные,
- 6- резисторы для сверхвысоких частот.

Согласно ГОСТ в обозначении резисторов после букв С или СП стоит цифра, указывающая номер группы, а затем через дефис - номер конкретной конструкции резистора. Например, обозначение С2-8: резистор постоянный второй группы, восьмой вариант конструкции.

С 1980г. стала применяться другая система обозначений, также состоящая из трех элементов.

Первый элемент - буквенный:

Р - постоянный резистор, РП - переменный резистор, РН - набор резисторов.

Второй элемент - цифра:

1 - непроволочный резистор, 2 - проволочный резистор.

Третий элемент - цифра, обозначающая разновидность конструкции.

Например, Р2-15 означает: резистор постоянный, проволочный, 15 вариант конструкции.

В конструкторской документации помимо типа резистора указывается номинальная мощность, номинальное сопротивление, допуск на сопротивления и ряд других параметров.

На принципиальных схемах резисторы изображаются в виде прямоугольника с указанием величины сопротивления, мощности и порядкового номера.

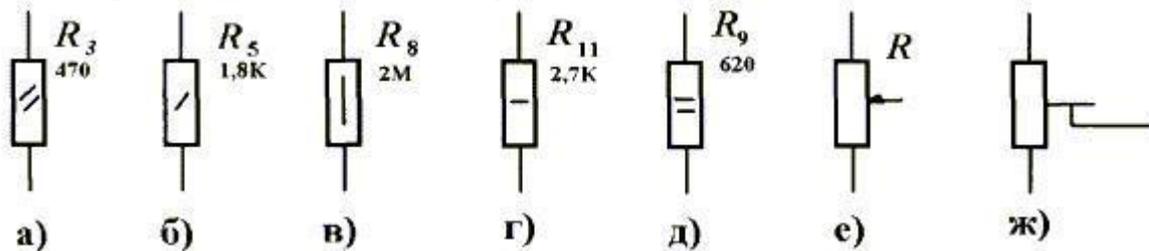


Рисунок 3.2. Обозначения резисторов на схемах.

Величина мощности указывается наклонными, продольными или поперечными линиями внутри прямоугольника: а) 0,125 Вт; б) 0,25 Вт; в) 0,5 Вт; г) 11 Вт; д) 2 Вт. Изображение переменных резисторов показано на рис. 2.9, е, а подстроечных - на рис. 2.9, ж

Основные параметры резисторов указываются на его корпусе, но для миниатюрных резисторов не хватает места на корпусе, поэтому ГОСТ 11076 - 69 предусматривает сокращенную буквенно-кодировую маркировку. При такой маркировке вместо запятой в наборе цифр, указывающих номинальное значение сопротивления, ставят букву, указывающую, в каких единицах выражено сопротивление: R (или E) - в Омах, К - в килоомах, М - мегаомах, Г - гигаомах, Т - тераомах. При этом ноль, стоящий до или после запятой, не ставят. После указания величины номинального сопротивления ставится буква, обозначающая допуск, в соответствии с таблицей 3.2.

Кроме того, в последние годы в соответствии с СТ СЭВ 1810 - 79 стала применяться международная система обозначений в соответствии таблицей 3.3.

Например, резистор с сопротивлением 0,47 кОм и допуском 20% маркируется K47B или K47M.

Таблица 3.2 Буквы, обозначающие допустимое отклонение сопротивления резистора в соответствии с ГОСТ 11076-69.

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|----|----|----|-----|-----|-----|
| Допустимое отклонение, % | ±0,1 | ±0,2 | ±0,5 | ±1 | ±2 | ±5 | ±10 | ±20 | ±30 |
| Обозначение | Ж | У | Д | Р | Л | И | С | В | Ф |

Таблица 3.3 Буквы, обозначающие допустимое отклонение сопротивления резистора в соответствии с международной системой обозначений.

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-----|-----|-----|
| Допустимое отклонение, % | ±0,001 | ±0,002 | ±0,005 | ±0,01 | ±0,02 | ± 0,05 | | | |
| Обозначение | E | L | R | P | U | X | | | |
| Допустимое отклонение, % | ±0,1 | ±0,25 | ±0,5 | ±1 | ±2 | ±5 | ±10 | ±20 | ±30 |
| Обозначение | B | C | D | F | G | I | K | M | N |

Помимо буквенно-цифровой применяется цветовая индексация величины номинального сопротивления и допуска на корпусе резистора (ГОСТ 17598-72). Вблизи одного из торцов корпуса наносятся 4 цветных полоски: первая обозначает первую цифру номинала, вторая обозначает вторую цифру номинала, третья - множитель; четвертая - величину допуска, цвет полосок стандартизован.

Контрольные вопросы

1. Как стандартизована величина номинального сопротивления?
2. Что такое номинальное напряжение?
3. Что такое номинальная мощность рассеяния?
4. Закон Ома?
5. Маркировка резисторов?
6. От каких факторов зависит надежность резисторов?
7. Какими буквами обозначаются постоянные и переменные резисторы?
8. Что означает цифра, стоящая за буквенным обозначением на резисторе?
9. Как обозначают резисторы на схемах?
10. Как обозначают номинальную мощность рассеяния резистора на схеме?

Лекция №4.

Конденсаторы. Классификация. Конструкция.

План:

1. Конденсаторы.
2. Классификация конденсаторов.
3. Конструкция.

Ключевые слова:

Конденсаторы, классификация конденсаторов, контурные конденсаторы, разделительные конденсаторы, блокировочные конденсаторы, фильтровые конденсаторы, подстроечные конденсаторы, керамические конденсаторы, стеклянные, стеклокерамические и стеклоэмалевые конденсаторы, слюдяные конденсаторы, бумажные конденсаторы, электролитические конденсаторы, пленочные конденсаторы, вариконды, варикапы, пакетная конструкция конденсаторов, трубчатая конструкция конденсаторов, дисковая конструкция конденсаторов, литая секционированная конструкция конденсаторов, рулонная конструкция конденсаторов, подстроенные (полупеременные) конденсаторы, конденсаторы переменной емкости

4.1 Конденсаторы.

Принцип действия конденсаторов основан на способности накапливать на обкладках электрические заряды при приложении между ними напряжения. Количественной мерой способности накапливать электрические заряды является емкость конденсатора. В простейшем случае конденсатор представляет собой две металлические пластины, разделенные слоем диэлектрика. Емкость такого конденсатора, пФ

$$C = 0,0885 \frac{\varepsilon S}{d} \quad (4.1)$$

где εS - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика ($\varepsilon S > 1$),
 S - площадь обкладок конденсатора (см²),
 d - расстояние между обкладками (см).

Конденсаторы широко используются в электронной аппаратуре для самых различных целей. На их долю приходится примерно 25% всех элементов принципиальной схемы.

4.2. Классификация конденсаторов.

По назначению конденсаторы делятся на конденсаторы общего назначения и специального назначения. Конденсаторы общего назначения делятся на низкочастотные и высокочастотные. К конденсаторам специального назначения относятся высоковольтные, помехоподавляющие, импульсные, дозиметрические, конденсаторы с электрически управляемой емкостью (варикапы, вариконды) и др.

По назначению конденсаторы подразделяются на контурные, разделительные, блокировочные, фильтровые и т.д., а по характеру изменения емкости на постоянные, переменные и полупеременные (подстроечные).

По материалу диэлектрика различают три вида конденсаторов: с твердым, газообразным и жидким диэлектриком. Конденсаторы с твердым диэлектриком делятся на керамические, стеклянные, стеклокерамические, стеклоэмалевые, слюдяные, бумажные, электролитические, полистирольные, фторопластовые и др.

По способу крепления различают конденсаторы для навесного и печатного монтажа, для микромодулей и микросхем.

В электронной аппаратуре применяются большое количество различных типов конденсаторов постоянной емкости. Рассмотрим основные особенности применяемых конденсаторов.

Керамические конденсаторы. Эти конденсаторы широко применяются в высокочастотных цепях. Основой конструкции керамического конденсатора является

заготовка из керамики, на две стороны которой нанесены металлические обкладки. Конструкция может быть секционированной, трубчатой или дисковой. Эти конденсаторы нетрудоемки в изготовлении и дешевы. Для изготовления конденсаторов применяется керамика с различными значениями диэлектрической проницаемости ($\epsilon > 8$) и температурного коэффициента, который может быть как положительным, так и отрицательным. Численные значения ТКЕ лежат в пределах от $-2200 \cdot 10^{-6}$ до $+100 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Применяя параллельное включение конденсаторов с разными знаками ТКЕ можно получить достаточно высокую стабильность результирующей емкости.

Промышленностью выпускается несколько разновидностей керамических конденсаторов:

- КЛГ - керамические литые герметизированные,
- КЛС - керамические литые секционированные,
- КМ - керамические малогабаритные пакетные,
- КТ - керамические трубчатые,
- КТП - керамические трубчатые проходные,
- КО - керамические опорные,
- КДУ - керамические дисковые,
- КДО - керамические дисковые опорные,
- К 10 предназначены для использования в качестве компонентов микросхем и микросборок,
- К 15 могут работать при напряжениях более 1 600В.

Стекланные, стеклокерамические и стеклоэмалевые конденсаторы. Эти конденсаторы, как и керамические, относятся к категории высокочастотных. Они состоят из тонких слоев диэлектрика, на которые нанесены тонкие металлические пленки. Для придания конструкции монолитности такой набор спекают при высокой температуре.

Конденсаторы обладают высокой теплостойкостью и могут работать при температурах до 300°C . Существуют три разновидности этих конденсаторов:

- К21 - стекланные,
- К22 - стеклокерамические,
- К23 - стеклоэмалевые.

Стеклокерамика имеет более высокую диэлектрическую проницаемость, чем стекло. Стеклоэмаль обладает более высокой электрической прочностью.

Слюдяные конденсаторы. Эти конденсаторы имеют пакетную конструкцию, в которой в качестве диэлектрика используются слюдяные пластинки толщиной от 0,02 до 0,06 мм, диэлектрическая проницаемость которых $\epsilon \approx 3$, а тангенс угла потерь $tg \delta = 10^{-4}$. В соответствии с принятой в настоящее время маркировкой обозначаются К31. В электронной аппаратуре применяются также ранее разработанные конденсаторы КСО - конденсаторы слюдяные спрессованные. Емкость этих конденсаторов лежит в пределах от 51 пф до 0,01 мкф. Слюдяные конденсаторы применяются в высокочастотных цепях.

Бумажные конденсаторы. В этих конденсаторах в качестве диэлектрика применяется конденсаторная бумага толщиной от 6 до 10 мкм с невысокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon \approx 2...3$), поэтому габариты этих конденсаторов большие. Обычно бумажные конденсаторы изготавливают из двух длинных, свернутых в рулон лент фольги, изолированных конденсаторной бумагой, т. е. конденсаторы имеют рулонную конструкцию. Из-за больших диэлектрических потерь и большой величины собственной индуктивности эти конденсаторы нельзя применять на высоких частотах. В соответствии с принятой маркировкой эти конденсаторы обозначаются К40 или К41.

Разновидностью бумажных конденсаторов являются металlobумажные (типа К42), у которых в качестве обкладок вместо фольги используют тонкую металлическую пленку, нанесенную на конденсаторную бумагу, благодаря чему уменьшаются габариты конденсатора.

Электролитические конденсаторы. В этих конденсаторах в качестве диэлектрика используется тонкая оксидная пленка, нанесенная на поверхность металлического электрода, называемого анодом. Второй обкладкой конденсатора является электролит. В качестве

электролита используются концентрированные растворы кислот и щелочей. По конструктивным признакам эти конденсаторы делятся на четыре типа: жидкостные, сухие, оксидно-полупроводниковые и оксидно-металлические.

В жидкостных конденсаторах анод, выполненный в виде стержня, на поверхности которого создана оксидная пленка, погружен в жидкий электролит, находящийся в алюминиевом цилиндре. Для увеличения емкости анод делают объемно-пористым путем прессования порошка металла и спекания его при высокой температуре.

В сухих конденсаторах применяется вязкий электролит. В этом случае конденсатор, изготавливается из двух лент фольги (оксидированной и неоксидированной), между которыми размещается прокладка из бумаги или ткани, пропитанной электролитом. Фольга сворачивается в рулон и помещается в кожух. Выводы делаются от оксидированной фольги (анод) и не оксидированной (катод).

В оксидно-полупроводниковых конденсаторах в качестве катода используется диоксид марганца. В оксидно-металлических конденсаторах функции катода выполняет металлическая пленка оксидного слоя.

Особенностью электролитических конденсаторов является их униполярность, т.е. они могут работать при подведении к аноду положительного потенциала, а к катоду - отрицательного. Поэтому их применяют в цепях пульсирующего напряжения, полярность которого не изменяется, например, в фильтрах питания.

Электролитические конденсаторы обладают очень большой емкостью (до тысячи микрофард) при сравнительно небольших габаритах. Но они не могут работать в высокочастотных цепях, так как из-за большого сопротивления электролита $tg\delta$ достигает значения 1,0.

Поскольку при низких температурах электролит замерзает, то в качестве параметра электролитических конденсаторов указывается минимальная температура, при которой допустима работа конденсатора. По допустимому значению отрицательной температуры электролитические конденсаторы делятся на четыре группы:

Н (неморозостойкие, $T_{min} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$);

М (морозостойкие, $T_{min} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$);

ПМ (с повышенной морозостойкостью, $T_{min} = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$);

ОМ (особоморозостойкие, $T_{min} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При понижении температуры емкость конденсатора уменьшается, а при увеличении температуры - возрастает.

Пленочные конденсаторы. В этих конденсаторах в качестве диэлектрика используются синтетические высокомолекулярные тонкие пленки. Современная технология позволяет получить пленки, наименьшая толщина которых составляет 2 мкм, механическая прочность 1000 кг/см, а электрическая прочность достигает 300 кВ/мм. Такие свойства пленок позволяют создавать конденсаторы с очень малыми габаритами. Конструктивно они аналогичны бумажным конденсаторам и относятся к 7-й группе.

Конденсаторы типа К71 в качестве диэлектрика имеют полистирол. В конденсаторах типа К72 применен фторопласт, в конденсаторах К73 - полиэтилентерефталат. В конденсаторах К75 применено комбинированное сочетание полярных и неполярных пленок, что повышает их температурную стабильность.

В конденсаторах К76 в качестве диэлектрика применена тонкая лаковая пленка толщиной около 3 мкм, что существенно повышает их удельную емкость. Высокой величиной удельной емкости и температурной стабильностью обладают конденсаторы К77, в которых в качестве диэлектрика применен поликарбонат.

В качестве обкладок в пленочных конденсаторах используют либо алюминиевую фольгу, либо напыленные на диэлектрическую пленку тонкие слои алюминия или цинка. Корпус таких конденсаторов может быть как металлическим, так и пластмассовым и иметь цилиндрическую или прямоугольную форму.

Вариконды. Это конденсаторы, емкость которых зависит от напряженности электрического поля. Они выполняются на основе сегнетоэлектриков (титаната бария, стронция, кальция и т.д.). Для них характерны высокие значения относительной диэлектрической проницаемости и ее сильная зависимость от напряженности электрического поля и температуры. Применяются вариконды как элементы настройки колебательных контуров. Если вариконд включить в цепь резонансного LC контура и изменять постоянное напряжение, подводимое к нему от источника, имеющего высокое внутреннее сопротивление (оно необходимо для того, чтобы источник не ухудшал добротность колебательного контура), то можно изменять резонансную частоту этого контура.

Варикапы. Это конденсаторы, емкость которых изменяется за счет изменения расстояния между его обкладками путем подведения внешнего напряжения. Варикап - это одна из разновидностей полупроводникового диода, к которому подводится обратное напряжение, изменяющее емкость диода. Благодаря малым размерам, высокой добротности, стабильности и значительному изменению емкости варикапы нашли широкое применение в электронной аппаратуре для настройки контуров и фильтров.

4.2 Конструкция конденсаторов

Конденсаторы гибридных ИМС представляют собой трехслойную структуру: на подложку наносится металлическая пленка, затем диэлектрическая пленка и снова металлическая пленка. В качестве конденсаторов полупроводниковых ИМС может использоваться один из электронно-дырочных переходов транзистора или МДП -структура : роль нижней обкладки выполняет подложка (П), роль диэлектрика (Д) выполняет слой окиси кремния SiO_2 и роль верхней обкладки конденсатора выполняет металлическая пленка (М).

Пакетная конструкция. Она применяется в слюдяных, стеклоэмалевых, стеклокерамических и некоторых типах керамических конденсаторов и представляет собой пакет диэлектрических пластин (слюды) I толщиной около 0,04 мм, на которые напылены металлизированные обкладки 2, соединяемые в общий контакт полосками фольги 3 (рис.4.1). Собранный пакет спрессовывается обжимками 4, к которым присоединяются гибкие выводы 5, и покрывается влагозащитной эмалью. Количество пластин в пакете достигает 100 . Емкость такого конденсатора зависит от числа пластин в пакете, пФ ,

$$C = 0,0885 \frac{\epsilon \cdot S}{d} (n - 1) \quad (4.2)$$

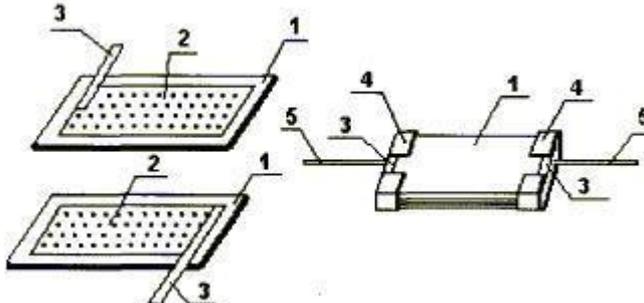


Рисунок 4.1 Пакетная конструкция конденсаторов

Трубчатая конструкция. Она характерна для высокочастотных трубчатых конденсаторов и представляет собой керамическую трубку I (рис.2.13) с толщиной стенок около 0,25 мм, на внутреннюю и внешнюю поверхность которой методом вжигания нанесены серебряные обкладки 2 и 3. Для присоединения гибких проволочных выводов 4 внутреннюю обкладку выводят на внешнюю поверхность трубки и создают между ней и внешней обкладкой изолирующий поясok 5, снаружи на трубку наносится защитная пленка из изоляционного вещества.

Емкость такого конденсатора

$$C = 0,241 \frac{\epsilon l}{D_2 \lg \frac{D_1}{D_2}} \quad (4.3)$$

Где l - длина перекрывающейся части обкладок в см,
 D_1 и D_2 - наружный и внутренний диаметры трубки

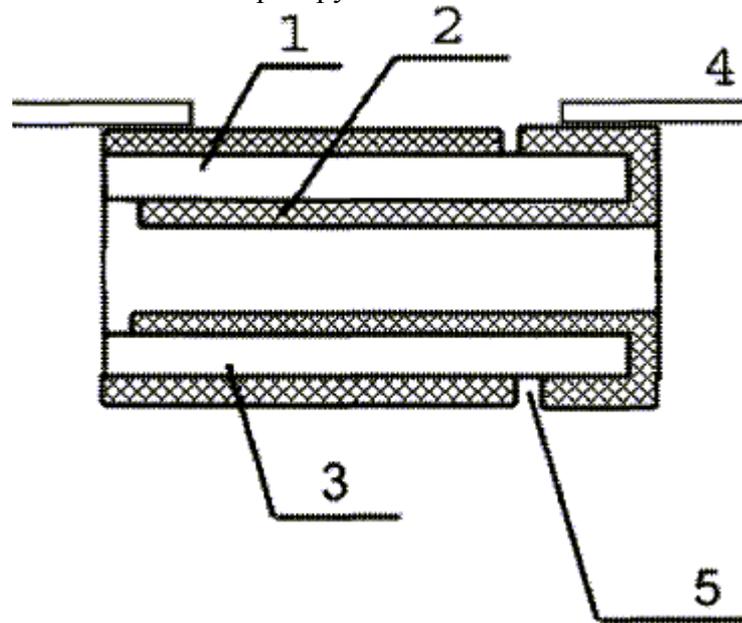


Рисунок 4.2 Трубчатая конструкция конденсаторов

Дисковая конструкция. Эта конструкция (рис.4.3) характерна для высокочастотных керамических конденсаторов: на керамический диск 1 с двух сторон вжигаются серебряные обкладки 2 и 3, к которым присоединяются гибкие выводы 4. Емкость такого конденсатора определяется площадью обкладок и рассчитывается по (4.1).

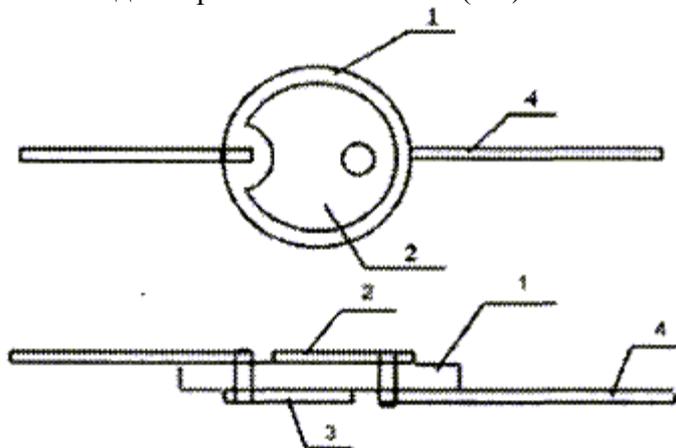


Рисунок 4.3 Дисковая конструкция конденсаторов

Литая секционированная конструкция. Эта конструкция характерна для монокристаллических многослойных керамических конденсаторов (рис.4.4), получивших в последние годы широкое распространение, в том числе в аппаратуре с ИМС.

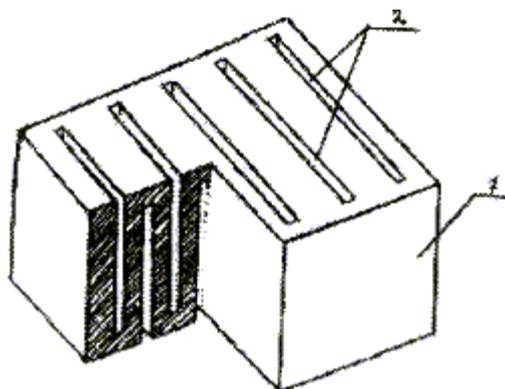


Рисунок 4.4 Литая секционная конструкция конденсаторов

Такие конденсаторы изготавливают путем литья горячей керамики, в результате которого получают керамическую заготовку 1 с толщиной стенок около 100 мкм и прорезями (пазами) 2 между ними, толщина которых порядка 130-150 мкм. Затем эта заготовка окунается в серебряную пасту, которая заполняет пазы, после чего осуществляют вжигание серебра в керамику. В результате образуются две группы серебряных пластин, расположенных в пазах керамической заготовки, к которым припаиваются гибкие выводы. Снаружи вся структура покрывается защитной пленкой. В конденсаторах, предназначенных для установки в гибридных ИМС, гибкие выводы отсутствуют, они содержат торцевые контактные поверхности, которые присоединяются к контактным площадкам ГИС.

Рулонная конструкция. Эта конструкция (рис.4.5) характерна для бумажных пленочных низкочастотных конденсаторов, обладающих большой емкостью. Бумажный конденсатор образуется путем свертывания в рулон бумажной ленты 1 толщиной около 5-6 мкм и ленты из металлической фольги 2 толщиной около 10-20 мкм. В металlobумажных конденсаторах вместо фольги применяется тонкая металлическая пленка толщиной менее 1 мкм, нанесенная на бумажную ленту.

Рулон из чередующихся слоев металла и бумаги не обладает механической жесткостью и прочностью, поэтому он размещается в металлическом корпусе, являющемся механической основой конструкции.

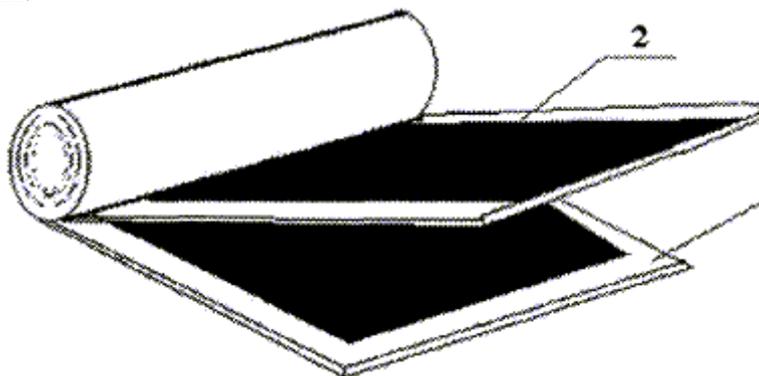


Рисунок 4.5 Рулонная конструкция конденсаторов

Емкость таких конденсаторов

$$C = 0,1768 \frac{\epsilon b l}{d} \quad (4.4)$$

где b - ширина ленты, l - длина ленты, d - толщина бумаги.

Емкость бумажных конденсаторов достигает 10 мкф, а металlobумажных 30 мкф.

Подстроенные (полупеременные) конденсаторы. Особенностью этих конденсаторов является то, что их емкость изменяется в процессе производства электронной аппаратуры

(регулировки), а в процессе эксплуатации емкость таких конденсаторов должна сохраняться постоянной и не изменяться под воздействием вибрации и ударов.

Они могут быть с воздушным или твердым диэлектриком. На рис.4.6 показано устройство подстроечного конденсатора с твердым диэлектриком типа КПК (конденсатор подстроечный керамический). Такой конденсатор состоит из основания 2 (статора) и вращающегося диска 1 (ротора). На основание и диск напылены серебряные пленки полукруглой формы. При вращении ротора изменяется площадь перекрытия пленок, а следовательно, емкость конденсатора. Как правило, минимальная емкость (когда пленки не перекрыты) составляет несколько пикофард, а при полном перекрытии пленок емкость конденсатора будет максимальной, величина этой емкости составляет несколько десятков пикофард. От ротора и статора сделаны внешние выводы 3 и 4. Плотное прилегание ротора к статору обеспечивается прижимной пружиной 5.

На рис.4.7 показано устройство подстроечного конденсатора с воздушным диэлектриком. На керамическом основании 1 установлены колонки 2 для крепления пластин статора 3. Пластины ротора 4 закреплены на оси ротора 5. Посредством пружины - токосъема 6 ротор подключается к соответствующим точкам принципиальной схемы. Крепление конденсатора осуществляется с помощью колонок 7, имеющих внутреннюю резьбу.

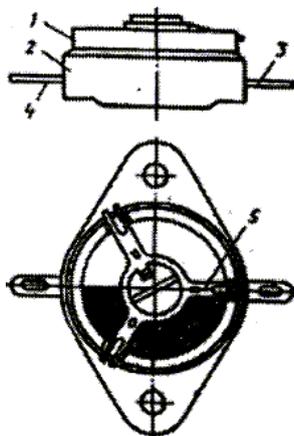


Рисунок 4.6 Конструкция подстроечного конденсатора с твердым диэлектриком типа КПК

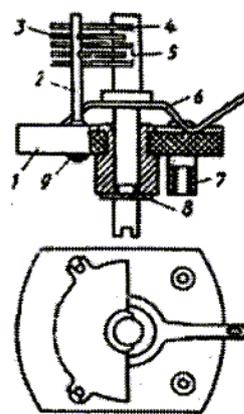


Рисунок 4.7 Конструкция подстроечного конденсатора с воздушным диэлектриком

Конденсаторы переменной емкости. Емкость этих конденсаторов может плавно изменяться в процессе эксплуатации электронной аппаратуры, например, для настройки колебательных контуров. Так же, как и подстроечный конденсатор, он состоит из статора и ротора, но в отличие от подстроечных количество роторных и статорных пластин велико, что необходимо для получения максимальной емкости порядка 500 пФ. Как правило, эти конденсаторы имеют воздушный диэлектрик. На рис.4.8 показано устройство трехсекционного конденсатора переменной емкости. Каждая секция служит для настройки своего колебательного контура. Такие конденсаторы применяются в радиоприемной аппаратуре. Конструктивной основой является корпус 4, содержащий валики крепления 7 и планку крепления 9, в котором размещены статорная и роторная секции. Статорная секция 5 изолирована от корпуса, а роторная секция 1 состоит из неразрезных (внутренних) пластин 11 и разрезных (внешних) пластин 10. Отгибая или подгибая часть сектора внешней пластины, можно изменять емкость в небольших пределах, что бывает необходимо в процессе заводской настройки аппаратуры. Роторные пластины закреплены на оси 2. Плавность вращения оси обеспечивается шариковым подшипником 3 и подпятником 8. На корпусе конденсатора около каждой роторной секции установлены специальные пружины -токосъемы 6, которые плотно прижимаются к ротору. Посредством токосъемов производится подключение роторных секций к соответствующим точкам схемы аппаратуры.

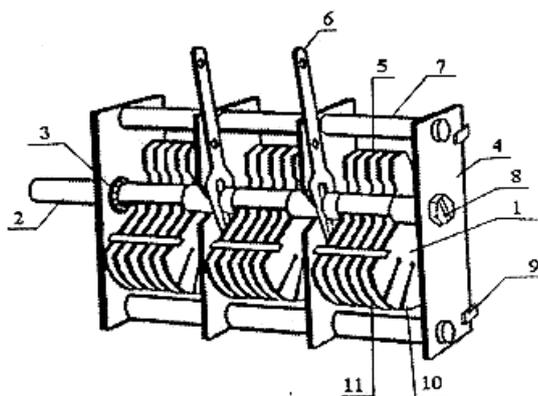


Рисунок 4.8 Конструкция трехсекционного конденсатора переменной емкости

Контрольные вопросы:

1. Что такое конденсатор?
2. Применение конденсаторов?
3. Классификация конденсаторов?
4. Какие конденсаторы называются конденсаторами постоянной ёмкости?
5. Какие конденсаторы называются конденсаторами переменной ёмкости?
6. Какие конденсаторы называются подстроечными?
7. Основные типы конструкции конденсаторов?
8. Рулонная конструкция конденсатора?
9. Чем отличается конструкция бумажного конденсатора от конструкции слюдяного конденсатора?
10. Конструкция конденсаторов переменной ёмкости?

Лекция №5. Конденсаторы. Параметры. Маркировка

План:

1. Параметры конденсаторов
2. Маркировка конденсаторов

Ключевые слова:

Номинальная емкость, допустимое напряжение, ТКЕ, электрическая прочность, маркировка, обозначение конденсаторов постоянной ёмкости, обозначение конденсаторов переменной ёмкости.

5.1 Параметры конденсаторов.

Основными параметрами являются емкость и рабочее напряжение. Кроме того, свойства конденсаторов характеризуются рядом паразитных параметров.

При подключении конденсатора источнику постоянного тока на его обкладках накапливается электрический заряд $Q = C \cdot U$. Выражая Q в кулонах и U (напряжение на обкладках конденсатора) в вольтах, получим C – ёмкость конденсатора, измеряемую в фарадах.

Номинальная емкость $C_{ном}$ и допустимое отклонение от номинала $\square\square C$. Номинальные значения емкости $C_{ном}$ высокочастотных конденсаторов так же как и номинальные значения сопротивлений стандартизованы и определяются рядами E6, E12, E24 и т.д. (см.табл.3.1). Номинальные значения емкости электролитических конденсаторов определяются рядом: 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30;50; 100; 200; 300; 500; 1000; 2000;5000 мкФ.

Номинальные значения емкости бумажных пленочных конденсаторов определяются рядом: 0,5; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 20; 20; 40; 60; 80; 100; 200;400; 600; 800; 1000 мкФ.

По отклонению от номинала конденсаторы разделяются на классы (табл.5.1).

Таблица 5.1. Классы конденсаторов по отклонению от номинала

| Класс | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 00 | 0 | I | II | III | IV | V | VI |
|--------------|------|------|------|----|----|----|-----|-----|------------|------------|------------|
| Допуск, % | ±0,1 | ±0,2 | ±0,5 | ±1 | ±2 | ±5 | ±10 | ±20 | -10 +20 | -20 +30 | -20 +50 |

Конденсаторы I, II, и III классов точности являются конденсаторами широкого применения и соответствуют рядам E24, E12 и E6.

В зависимости от назначения в электронной аппаратуре применяют конденсаторы различных классов точности. Блокировочные и разделительные конденсаторы обычно выбирают по II и III классам точности, контурные конденсаторы обычно имеют 1,0 или 00 классы точности, а фильтровые - IV, V и VI классы точности.

Рабочее (номинальное) напряжение U_n , это напряжение при котором конденсатор надёжно работает длительный промежуток времени (обычно более 1000 ч). Это напряжение зависит от конструктивных особенностей конденсатора и электрических свойств применяемых в нем материалов.

Электрическая прочность конденсаторов характеризуется величиной напряжения пробоя и зависит в основном от изоляционных свойств диэлектрика. Все конденсаторы в процессе изготовления подвергаются воздействию испытательного напряжения в течении 2 - 5

с. В технической документации указывается номинальное напряжение, т.е. такое максимальное напряжение, при котором конденсатор может работать длительное время при соблюдении условий, указанных в технической документации. Для повышения надежности электронной аппаратуры конденсаторы используют при напряжении, которое меньше номинального.

Стабильность емкости определяется ее изменением под воздействием внешних факторов. Наибольшее влияние на величину емкости оказывает температура. Ее влияние оценивается температурным коэффициентом емкости (*TKE*):

$$TKE = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta T} \quad (5.1)$$

Изменение емкости обусловлено изменением диэлектрической проницаемости диэлектрика, изменением линейных размеров обкладок конденсатора и диэлектрика.

В основном же изменение емкости вызывается изменением диэлектрической проницаемости.

У высокочастотных конденсаторов величина *TKE* не зависит от температуры и указывается на корпусе конденсатора путем окраски корпуса в определенный цвет и нанесения цветной метки.

У низкочастотных конденсаторов температурная зависимость емкости носит нелинейный характер. Температурная стабильность этих конденсаторов оценивается величиной предельного отклонения емкости при крайних значениях температуры. Низкочастотные конденсаторы разделены на три группы по величине температурной нестабильности: Н20 - $\pm 20\%$; Н30 - $\pm 30\%$; Н90 - (+50 -90)%.

Стабильность конденсаторов во времени характеризуется коэффициентом старения

$$\beta = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta t} \quad (5.2)$$

Потери энергии в конденсаторах обусловлены электропроводностью и поляризацией диэлектрика и характеризуются тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta$. Конденсаторы с керамическим диэлектриком имеют $tg\delta \approx 10^{-4}$, конденсаторы со слюдяным диэлектриком - 10^{-4} , с бумажным - 0,01-0,02, с оксидным-0,1-1,0.

5.2 Маркировка конденсаторов.

В настоящее время принята система обозначений конденсаторов постоянной емкости, состоящая из ряда элементов: на первом месте стоит буква К, на втором месте – двухзначное число, первая цифра которого характеризует тип диэлектрика, а вторая - особенности диэлектрика или эксплуатации (см. табл.5.2), затем через дефис ставится порядковый номер разработки.

Например, обозначение К 10-17 означает керамический низковольтный конденсатор с 17 порядковым номером разработки. Кроме того, применяются обозначения, указывающие конструктивные особенности: КСО - конденсатор слюдяной спрессованный, КЛГ - конденсатор литой герметизированный, КТ -керамический трубчатый и т. д.

Подстроечные конденсаторы обозначаются буквами КТ, переменные -буквами К П. Затем следует цифра, указывающая тип диэлектрика: 1 - вакуумные; 2 - воздушные; 3 - газонаполненные; 4 - твердый диэлектрик; 5 - жидкий диэлектрик. В конструкторской документации помимо типа конденсатора указывается величина емкости, рабочее напряжение и ряд других параметров. Например, обозначение КП2 означает конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком, а обозначение КТ4 - подстроечный конденсатор с твердым диэлектриком.

На принципиальных схемах конденсаторы обозначаются в виде двух параллельных черточек и дополнительных элементов. На рис.5.1,а показан конденсатор постоянной емкости, на рис.5.1,б - полярный (электролитический) конденсатор, на рис.5.1, в - конденсатор переменной емкости, на рис.5.1, г - подстроечный, на рис.5.1, д - варикап, на рис.5.1, е - вариконд.

Таблица 5.2. Система обозначений конденсаторов постоянной ёмкости.

| Обозначение | Тип конденсатора | Обозначение | Тип конденсатора |
|-------------|---|-------------|---|
| K10 | Керамический, низковольтный (Uраб<1600В) | K50 | Электролитический, фольговый, Алюминиевый |
| K15 | Керамический, высоковольтный (Uраб>1600В) | K51 | Электролитический, фольговый, танталовый, ниобиевый и др. |
| K20 | Кварцевый | K52 | Электролитический, объемно-пористый |
| K21 | Стекланный | K53 | Оксидно-полупроводниковый |
| K22 | Стеклокерамический | K54 | Оксидно-металлический |
| K23 | Стеклоэмалевый | K60 | С воздушным диэлектриком |
| K31 | Слюдяной малой мощности | K61 | Вакуумный |
| K32 | Слюдяной большой мощности | K71 | Пленочный полистирольный |
| K40 | Бумажный низковольтный (ираб<2 кВ) с фольговыми обкладками | K72 | Пленочный фторопластовый |
| | | K73 | Пленочный полиэтилентерефталатный |
| K41 | Бумажный высоковольтный (ираб>2 кВ) с фольговыми обкладками | K75 | Пленочный комбинированный |
| | | K76 | Лакопленочный |
| K42 | Бумажный с металлизированными Обкладками | K77 | Пленочный, Поликарбонатный |

Около конденсатора ставится буква С с порядковым номером конденсатора, например С26, и указывается величина емкости. Около подстроенных и переменных конденсаторов указывается минимальная и максимальная емкости. Например, обозначения 5...25 означают, что емкость изменяется от 5 до 25 пикофард.

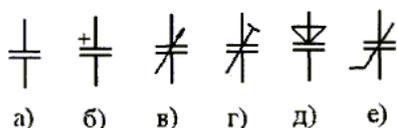


Рисунок 5.1 Обозначения конденсаторов на электрических схемах

На корпусе конденсатора указываются его основные параметры. В малогабаритных конденсаторах применяется сокращенная буквенно-кодовая маркировка. При емкости конденсатора менее 100 пФ ставится буква П.

Например, 33 П означает, что емкость конденсатора 33 пФ. Если емкость лежит в пределах от 100 пФ до 0,1 мкФ, то ставится буква Н (нанофарада). Например, 10 Н означает емкость в 10 нФ или 10 000 пФ. При емкости более 0,1 мкФ ставится буква М, например, ЮМ, означает емкость в 10 мкФ. Слитно с обозначением емкости указывается буквенный индекс, характеризующий класс точности. Для ряда Е6 с точностью $\pm 20\%$ ставится индекс В, для ряда Е12 - индекс С, а для ряда Е24 - индекс И. Например, маркировка 1Н5С означает конденсатор емкостью 1,5 нФ (1500 пФ), имеющий отклонение от номинала $\pm 10\%$.

Контрольные вопросы

1. Что такое ёмкость?
2. Единица измерения ёмкости?
3. Как стандартизуется номинальная ёмкость?
4. Что такое допустимое напряжение конденсатора?
5. Что такое электрическая прочность конденсатора?
6. Что такое стабильность ёмкости?
7. Маркировка конденсаторов?
8. Обозначение конденсаторов на принципиальных схемах?
9. Как обозначается конденсатор постоянной ёмкости?
10. Что означает маркировка 1Н5С?

Лекция №6.

Катушки индуктивности. Природа индуктивности. Конструкция. Параметры. Разновидности катушек.

План:

1. Природа индуктивности.
2. Конструкции катушек индуктивности.
3. Параметры катушек индуктивности.
4. Разновидности катушек индуктивности

Ключевые слова:

Катушки индуктивности, индуктивность, диэлектрический каркас, магнитные сердечники, магнитопровод, обмоточный провод, собственная емкость, контурные катушки индуктивности, катушки связи, вариометры, дроссели, катушки индуктивности для ГИС.

6.1 Природа индуктивности.

Катушки индуктивности обладают свойством оказывать реактивное сопротивление переменному току при незначительном сопротивлении постоянному току. Совместно с конденсаторами они используются для создания фильтров, осуществляющих частотную селекцию электрических сигналов, а так же для создания элементов задержки сигналов и запоминающих элементов, осуществления связи между цепями через магнитный поток и т.д. В отличие от резисторов и конденсаторов они не являются стандартизованными изделиями, а изготавливаются для конкретных целей и имеют такие параметры, которые необходимы для осуществления тех или иных преобразований электрических сигналов, токов и напряжений.

Функционирование катушек индуктивности основано на взаимодействии тока и магнитного потока. Известно, что при изменении магнитного потока Φ в проводнике, находящемся в магнитном поле, возникает ЭДС, определяемая скоростью изменения магнитного потока

$$e_L = \frac{d\Phi}{dt} \quad (6.1)$$

Поэтому при подключении к проводнику источника постоянного напряжения ток в нем устанавливается не сразу, так как в момент включения изменяется магнитный поток и в проводе индуцируется ЭДС, препятствующая нарастанию тока, а спустя некоторое время, когда магнитный поток перестает изменяться. Если же к проводнику подключен источник переменного напряжения, то ток и магнитный поток будут изменяться непрерывно, и наводимая в проводнике ЭДС будет препятствовать протеканию переменного тока, что эквивалентно увеличению сопротивления проводника. Чем выше частота изменения напряжения, приложенного к проводнику, тем больше величина ЭДС, наводимая в нем, следовательно, тем больше сопротивление, оказываемое проводником протекающему току. Это сопротивление X_L не связано с потерями энергии, поэтому является реактивным. При изменении тока по синусоидальному закону наводимая ЭДС будет равна

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t \quad (6.2)$$

Она пропорциональна частоте ω , а коэффициентом пропорциональности является индуктивность L . Следовательно, индуктивность характеризует способность проводника оказывать сопротивление переменному току. Величина этого сопротивления $X_L = \omega L$. Индуктивность короткого проводника (мкГн) определяется его размерами:

$$L = 2l \left(\ln \frac{4l}{d} - 1 \right) \cdot 10^{-9} \quad (6.3)$$

где l - длина провода в см, d - диаметр провода в см.

Если провод намотан на каркас, то образуется катушка индуктивности. В этом случае магнитный поток концентрируется, и величина индуктивности возрастает.

6.2. Конструкции катушек индуктивности.

Конструкционной основой катушки индуктивности является диэлектрический каркас, на который наматывается провод в виде спирали. Обмотка может быть как однослойной (рис.6.1,а), так и многослойной (рис.6.1,б). В некоторых случаях многослойная обмотка делается секционированной (рис.6.1,в). В интегральных схемах применяются плоские спиральные катушки индуктивности (рис.6.1,г)

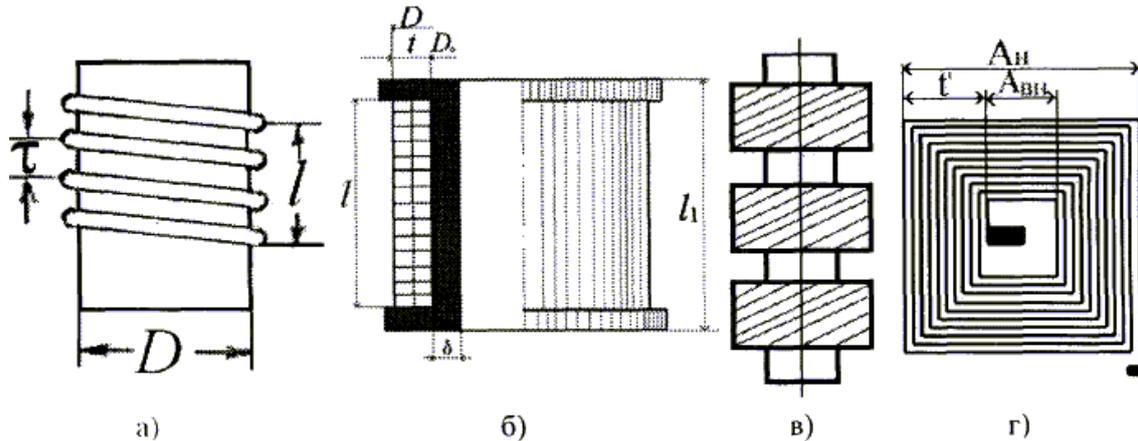


Рисунок 6.1 Типы обмоток катушек индуктивности.

Для увеличения индуктивности применяют магнитные сердечники. Помещенный внутрь катушки сердечник концентрирует магнитное поле и тем самым увеличивает ее индуктивность. Перемещением сердечника внутри каркаса можно изменять, индуктивность. На рис.6.2 представлены три разновидности цилиндрических сердечников: С - стержневой, Т - трубчатый и ПР - подстроечный резьбовой и две разновидности броневого. Броневые сердечники состоят из двух чашек 2, изготовленных из карбонильного железа или ферритов.

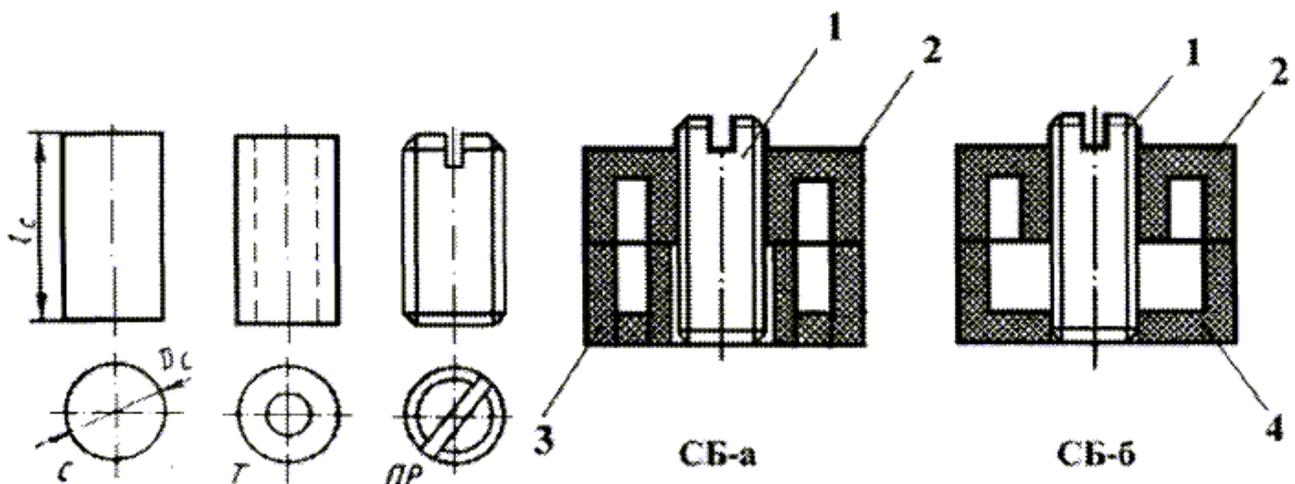


Рисунок 6.2. Разновидности цилиндрических сердечников

Они могут иметь либо замкнутый магнитопровод (тип СБ - а), либо разомкнутый (тип С Б - б). Для изменения индуктивности служит подстроечный цилиндрический сердечник 1. Помимо цилиндрических и броневого сердечников применяют торроидальные (кольцевые) сердечники. На высоких частотах (десятки-сотни МГц) применяют подстроечные цилиндрические сердечники из диамагнетиков (латунь, медь). При введении этих сердечников внутрь катушки индуктивность уменьшается.

В катушках индуктивности, работающих на низких частотах, в качестве сердечников используют пермаллой. При этом рается из тонких пластин толщиной 0,002-0,1мм.

Для уменьшения влияния электромагнитного поля катушки на другие элементы схемы, а также для уменьшения влияния внешних полей на катушку индуктивности, ее располагают внутри металлического экрана, как это показано на рис.6.3 (1 – заглушка, 2 – экран, 3 – корпус, 4 – обмотка, 5 – каркас, 6 –подстроечный стержень, 7 – чашка сердечника, 8 – основание, 9 – заливка).

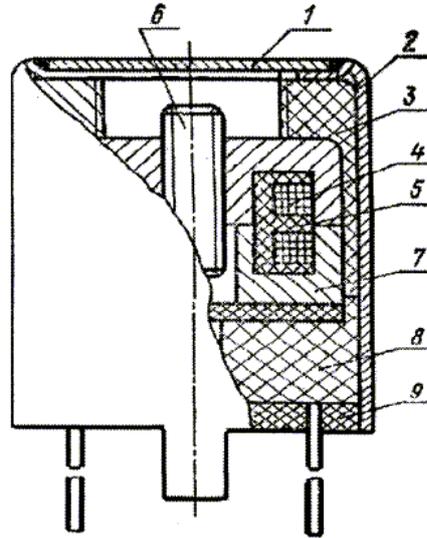


Рисунок 6.3. Конструкция катушки индуктивности с металлическим экраном.

6.3. Параметры катушек индуктивности.

Индуктивность является основным параметром катушки индуктивности. Ее величина (мкГн) определяется соотношением

$$L=L_0W^2 D \cdot 10^{-3} \quad (6.4)$$

где W - число витков, D - диаметр катушки в см, L_0 - коэффициент, зависящий от отношения длины катушки / к ее диаметру O .

Для однослойных катушек величина L_0 определяется соотношением

$$L_0 = \frac{1}{0,1 \left(\frac{l}{D} + 0,45 \right)} \quad (6.5)$$

Оптимальными в этом случае являются отношение $\frac{l}{D} = 0,6...1,0$ а диаметр катушки в пределах от 1 до 2 см. При расчете диаметр катушки D принимается равным диаметру каркаса D_0 . Для многослойных катушек величина L_0 зависит не только от величины l/D , но и от отношения толщины намотки t к диаметру катушки D . Она определяется по графикам (рис.2.24). В этом случае внешний диаметр катушки $D=D_0 + 2t$

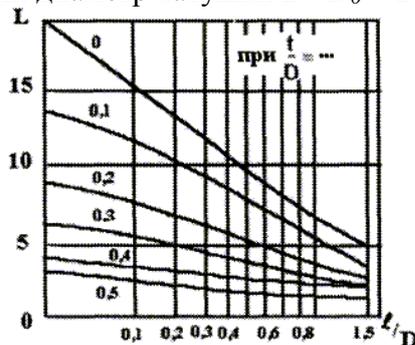


Рисунок 6.4. Зависимость индуктивности L от отношения $\frac{l}{D}$

При расчете катушки индуктивности предварительно задаются геометрическими размерами катушки и определяют коэффициент L_0 , а затем по заданной величине индуктивности L находят число витков:

$$W = \sqrt{\frac{L \cdot 10^3}{L_0 D}} \quad (6.6)$$

где L - в мкГн, D - в см.

Для намотки катушки обычно применяют провод оптимального диаметра, который рассчитывается с помощью эмпирических формул и графиков. Для этого по графику $S=f(t/D; l/D)$ (рис.6.5) находят вспомогательный коэффициент S . Затем рассчитывают коэффициент

$$P_1^2 = \frac{LS^2}{D^3} \quad (6.7)$$

где f - в мкГц, D - в см. Затем рассчитывают коэффициент α_1

$$\alpha_1 = f / P_1^2$$

где f - частота в Гц. После чего по графику $\rho_1 = f(\alpha_1)$ (рис. 6.6) находят вспомогательный коэффициент ρ_1 и рассчитывают оптимальный диаметр провода (мм)

$$d_{opt} = \frac{\beta_1}{\rho_1} \quad (6.8)$$

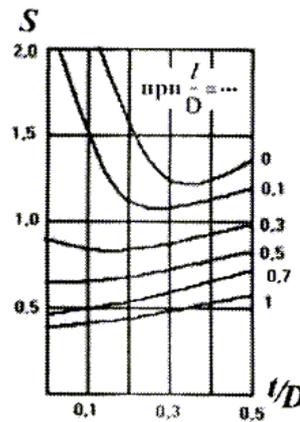


Рисунок 6.5. График для нахождения вспомогательного коэффициента S .

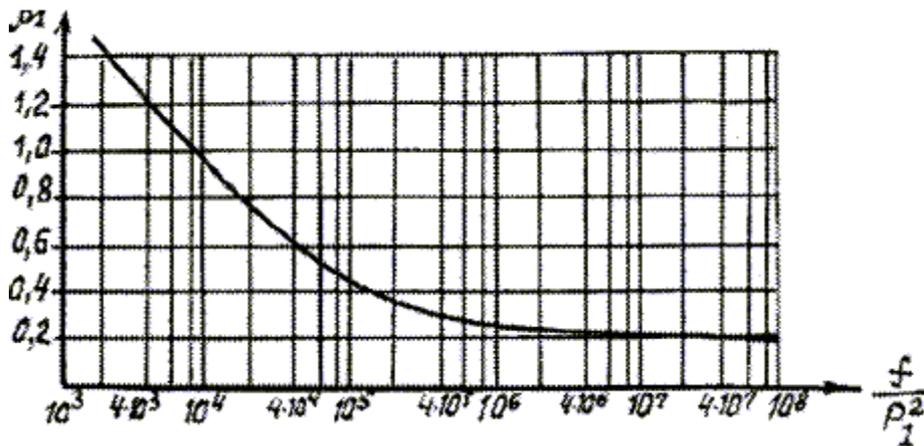


Рисунок 6.6 График для нахождения вспомогательного коэффициента ρ_1

Полученное значение округляется до ближайшего стандартного значения (табл.2.6) и выбирается марка провода с диаметром $d_{из}$

Таблица 6.1. Основные параметры обмоточных проводов

| <i>d</i> , мм | <i>S_n</i> , мм ² | Максимальный диаметр в изоляции, мм | | | |
|---------------|--|-------------------------------------|-------|-------|----------------------|
| | | ПЭВТЛК | ПЭМ-1 | ПЭВ-1 | ПЭВ-2, ПЭТВ ПЭМ-2 |
| 0,063 | 0,0028 | 0,11 | 0,09 | 0,085 | 0,09 |
| 0,071 | 0,0038 | 0,12 | 0,09 | 0,095 | 0,1 |
| 0,08 | 0,005 | 0,13 | 0,1 | 0,105 | 0,11 |
| 0,09 | 0,0064 | 0,14 | 0,11 | 0,115 | 0,12 |
| 0,1 | 0,0079 | 0,15 | 0,12 | 0,125 | 0,13 |
| 0,112 | 0,0095 | 0,16 | 0,14 | 0,135 | 0,14 |
| 0,125 | 0,0113 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | 0,155 |
| 0,14 | 0,0154 | 0,185 | 0,16 | 0,165 | 0,17 |
| 0,16 | 0,02 | 0,2 | 0,19 | 0,19 | 0,2 |
| 0,18 | 0,0254 | 0,23 | 0,21 | 0,21 | 0,22 |
| 0,2 | 0,0314 | 0,25 | 0,23 | 0,23 | 0,24 |
| 0,224 | 0,0415 | 0,27 | 0,25 | 0,26 | 0,27 |
| 0,25 | 0,0491 | 0,3 | 0,29 | 0,29 | 0,3 |
| 0,28 | 0,0615 | 0,34 | 0,32 | 0,32 | 0,33 |
| 0,315 | 0,0755 | 0,37 | 0,35 | 0,355 | 0,365 |
| 0,355 | 0,0962 | 0,405 | 0,39 | 0,395 | 0,415 |
| 0,4 | 0,126 | 0,47 | 0,44 | 0,44 | 0,46 |
| 0,45 | 0,158 | - | 0,49 | 0,49 | 0,51 |
| 0,5 | 0,193 | - | 0,55 | 0,55 | 0,57 |
| 0,56 | 0,246 | - | 0,61 | 0,61 | 0,63 |
| 0,63 | 0,311 | - | 0,68 | 0,68 | 0,7 |
| 0,71 | 0,39 | - | 0,76 | 0,76 | 0,79 |
| 0,75 | 0,435 | - | 0,81 | 0,81 | 0,84 |
| 0,8 | 0,503 | - | 0,86 | 0,86 | 0,89 |
| 0,85 | 0,567 | - | 0,91 | 0,91 | 0,94 |
| 0,9 | 0,636 | - | 0,96 | 0,96 | 0,99 |
| 0,95 | 0,71 | - | 1,01 | 1,01 | 1,04 |
| 1 | 0,785 | - | 1,08 | 1,07 | 1,11 |

После выбора оптимального диаметра провода проверяют возможность размещения обмотки в заданных размерах *l* и *t*. Для однослойных катушек рассчитывают шаг намотки

$$\tau = \frac{l}{W - 1} \quad (6.9)$$

Если $\eta < \eta_{\text{из}}$ то обмотка размещается. В противном случае задаются большей величиной l и повторяют расчет.

Для многослойных катушек рассчитывают толщину обмотки

$$t = \frac{ad_{\text{из}}^2 W}{l} \quad (6.10)$$

где a - коэффициент неплотности обмотки ($a = 1,05 \dots 1,3$), и находят фактическое значение наружного диаметра катушки $D = D_0 + 2t$. Если эта величина отличается от выбранной в начале расчета более чем на 10%, то задаются новыми значениями l и t и расчет повторяют. При помещении катушки в экран индуктивность катушки уменьшается

$$L_{\text{эк}} = L \left[1 - \eta \left(\frac{D}{D_{\text{эк}}} \right)^3 \right] \quad (6.11)$$

где η - коэффициент, зависящий от отношения l/D (рис.6.7),

D - диаметр катушки,

$D_{\text{эк}}$ - диаметр экрана.

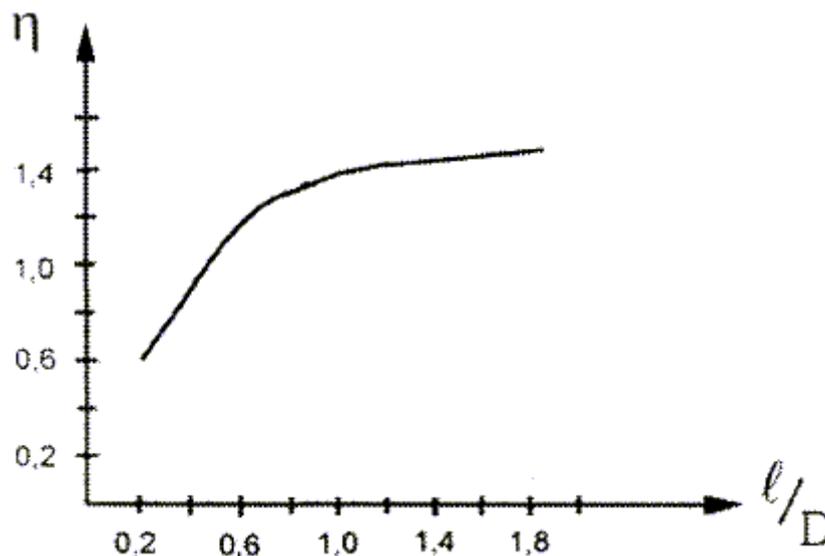


Рисунок 6.7. График зависимости коэффициента η от отношения l/D

Индуктивность уменьшается тем больше, чем меньше диаметр экрана. В большинстве случаев $D_{\text{эк}}/D \approx 1,1 \dots 1,2$. При этом индуктивность уменьшается не более чем на 20%.

Многослойные катушки обычно выполняют с сердечниками броневые типа, при использовании которых большая часть силовых линий магнитного поля катушки замыкается через сердечник, а меньшая - через воздух, вследствие чего влияние экрана на индуктивность катушки значительно ослабляется.

Применение сердечников из магнитных материалов позволяет уменьшить число витков катушки индуктивности и соответственно ее габариты. Основным параметром сердечника является магнитная проницаемость μ_c . При его наличии индуктивность катушки становится равной

$$L_c = \mu_c L \quad (6.12)$$

Поскольку в расчетные формулы входят эмпирические коэффициенты, то индуктивность изготовленной катушки отличается от расчетной. Применение подстроечных магнитных сердечников позволяет получить требуемое значение индуктивности.

Собственная емкость является паразитным параметром катушки индуктивности, ограничивающим возможности ее применения. Ее возникновение обусловлено конструкцией катушки индуктивности: емкость существует между отдельными витками катушки, между витками и сердечником, витками и экраном, витками и другими элементами конструкции. Все

$$L_3 = L \left(\frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_L^2} \right) \approx L \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_L^2} \right) \quad (6.17)$$

где $\omega_L = L \left(\frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_L^2} \right)$ - собственная резонансная частота катушки индуктивности.

Если рабочая частота много ниже собственной резонансной частоты ω_L , то приближенно можно считать $L_3 = L$.

В процессе работы на катушку действуют различные внешние факторы: температура, влага и другие, влияющие на ее индуктивность. Наиболее существенным является влияние температуры, которое оценивают температурным коэффициентом $TKL = \frac{\Delta L}{L \Delta T}$.

Температурная нестабильность индуктивности обусловлена целым рядом факторов: при нагреве увеличивается длина и диаметр провода обмотки, увеличивается длина и диаметр каркаса, в результате чего изменяются шаг и диаметр витков; кроме того при изменении температуры изменяются диэлектрическая проницаемость материала каркаса, что ведет к изменению собственной емкости катушки.

Для повышения температурной стабильности применяют каркасы из материала с малым значением коэффициента линейного расширения. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет керамика. Повышению температурной стабильности катушек способствует прочное сцепление обмотки с каркасом. С этой целью обмотку выполняют методом вжигания серебра в керамический каркас. В этом случае изменение размеров токопроводящего слоя определяется только линейным расширением каркаса. Такие катушки индуктивности имеют $TKL \approx (50-100) \cdot 10^{-6}$. Стабильность многослойных катушек существенно хуже, так как в них невозможно избежать изменения линейных размеров провода обмотки. Многослойные катушки имеют $TKL \approx (50-100) \cdot 10^{-6}$.

6.4 Разновидности катушек индуктивности.

Контурные катушки индуктивности. Эти катушки используются совместно с конденсаторами для получения резонансных контуров. Они должны иметь высокую стабильность, точность и добротность. В диапазоне длинных и средних волн эти катушки многослойные, как правило, с намоткой типа "универсаль". Для повышения добротности применяют многожильные провода типа "литцендрат". Для изменения индуктивности применяют цилиндрические сердечники из альсифера или карбонильного железа.

В диапазоне коротких и ультракоротких волн используются однослойные катушки с индуктивностью порядка единиц микрогенри и добротностью порядка 50 - 100. Число витков таких катушек не превышает одного - двух десятков, диаметр каркаса 10 - 20 мм. В качестве каркасов используют керамику, полиэтилен и полистирол. Для уменьшения собственной емкости применяют ребристые каркасы. Обмотка выполняется одножильным медным проводом диаметром около 1 мм. На УКВ применяют бескаркасные катушки из изолированного провода.

Катушки связи. Эти катушки применяются для обеспечения индуктивной связи между отдельными цепями и каскадами. Такая связь позволяет разделить по постоянному току цепи базы и коллектора и т.д.

К таким катушкам не предъявляются жесткие требования на добротность и точность, поэтому они выполняются из тонкого провода в виде двух обмоток небольших габаритов. Основными параметрами этих катушек являются индуктивность и коэффициент связи

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

где L_1 и L_2 - индуктивность связанных катушек,

M - взаимная индуктивность между ними. Величина коэффициента связи зависит от расстояния между катушками, чем оно меньше, тем больше k .

Вариометры. Это такие катушки, в которых предусмотрена возможность изменения индуктивности в процессе эксплуатации для перестройки колебательных контуров.

Они состоят из двух катушек, соединенных последовательно. Одна из катушек неподвижная (статор), другая располагается внутри первой и вращается (ротор). При изменении положения ротора относительно статора изменяется величина взаимоиндукции, а следовательно, индуктивность вариометра

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M \quad (6.18)$$

Такая система позволяет изменять индуктивность в 4 - 5 раз.

Дроссели. Это катушки индуктивности, обладающие высоким сопротивлением переменному току и малым сопротивлением постоянному. Обычно включаются в цепях питания усилительных устройств. Предназначены для защиты источников питания от попадания в них высокочастотных сигналов. На низких частотах они используются в фильтрах цепей питания и обычно имеют металлические сердечники.

Катушки индуктивности для ГИС. На частотах порядка 10 - 100 МГц находят применение тонкопленочные спиральные катушки. На площади в 1 кв.см, располагается не более 10 витков. Добротность таких катушек не превышает 20-30. Поэтому они находят ограниченное применение. В ГИС предпочтительны миниатюрные тороидальные катушки на ферритовых сердечниках, индуктивность которых достигает десятков тысяч микрогенри.

В последнее время наметилась тенденция замены катушек специальными схемами на транзисторах (гираторы) и электромеханическими, пьезоэлектрическими и акустоэлектронными фильтрами, основанными на принципе механических упругих колебаний и механического резонанса. Скорость распространения упругих колебаний в твердом теле примерно в 100 тысяч раз меньше скорости распространения электромагнитных волн, что позволяет создавать очень компактные механические резонаторы с распределенными параметрами, обладающие добротностью порядка 10^3 . Развитие микроэлектроники привело к появлению фильтров на приборах с зарядовой связью и фильтров на поверхностных акустических волнах. Кроме того, в ИМС широкое применение находят активные RC - фильтры, в которых используются операционные усилители с глубокой частотно-зависимой обратной связью.

Контрольные вопросы

1. Что такое индуктивность?
2. Что такое катушка индуктивности?
3. Конструкции катушек индуктивности?
4. Типы обмоток?
5. Разновидности катушек индуктивности?
6. Как индуктивность зависит от диаметра обмоточного провода?
7. Что такое вариометр?
8. Что такое дроссель?
9. Что такое катушка связи?
10. Для чего служит контурная катушка индуктивности?

Лекция №7.

Трансформаторы. Классификация. Конструкция. Физические основы функционирования. Основные принципы расчета трансформаторов.

План:

1. Трансформаторы.
2. Классификация трансформаторов.
3. Конструкция трансформаторов.
4. Физические основы функционирования.
5. Основные принципы расчета трансформаторов.

Ключевые слова:

Трансформаторы, трансформаторы питания, согласующие трансформаторы, импульсные трансформаторы, магнитопроводы, магнитный поток, напряженность магнитного поля, первичное и вторичное напряжение, расчет потерь, тепловой режим трансформатора, температура нагрева обмоток, нелинейные искажения.

7.1 Трансформаторы.

Трансформаторами называются электромагнитные устройства, имеющие две или большее число индуктивно-связанных обмоток и предназначенные для изменения величины переменного напряжения (тока). Трансформатор состоит из ферромагнитного магнитопровода (сердечника) и расположенных на нем обмоток. Обмотка, подключаемая к источнику преобразуемого напряжения, называется первичной, а обмотки, к которым подключены потребители электрической энергии, - вторичными.

7.2 Классификация трансформаторов.

В зависимости от назначения трансформаторы подразделяются на трансформаторы питания, согласующие и импульсные.

Трансформаторы питания применяются в блоках питания радиоустройств и служат для получения переменных напряжений, необходимых для нормального функционирования аппаратуры. Условно они подразделяются на маломощные (выходная мощность до 1 кВт) и мощные (выходная мощность более 1 кВт), низковольтные (напряжение на обмотках не превышает 1000 В) и высоковольтные. Кроме того, трансформаторы питания дополнительно классифицируются по частоте преобразуемого напряжения. По конструкции к трансформаторам питания близки *дрессели*. По существу это однообмоточные трансформаторы, предназначенные для последовательного включения в цепи пульсирующего тока в целях устранения пульсаций этого тока.

Согласующие трансформаторы предназначены для изменения уровня напряжений (токов) электрических сигналов, несущих полезную информацию. Они позволяют согласовать источник сигналов с нагрузкой при минимальном искажении сигнала. Вместе с активными элементами (транзисторами, лампами) они входят в состав устройств, усиливающих электрические колебания, занимающие широкую полосу частот. Различают входные, межкаскадные и выходные трансформаторы. Входные трансформаторы включаются на входе усилительного устройства и согласуют выходное сопротивление источника сигналов, например микрофона, с входным сопротивлением усилителя. Так как уровень входных сигналов сравнительно невелик, то эти трансформаторы должны быть хорошо защищены от воздействия внешних магнитных полей. Межкаскадные трансформаторы согласуют выходное сопротивление предыдущего каскада с входным сопротивлением последующего. Выходные

трансформаторы согласуют выходное сопротивление усилителя с внешней нагрузкой. Эти трансформаторы должны обеспечивать передачу большой мощности от усилителя в нагрузку.

Импульсные трансформаторы предназначены для формирования и трансформации импульсов малой длительности. Основным требованием, предъявляемым к импульсным трансформаторам, является требование малых искажений формы трансформируемого импульса.

Несмотря на различие функций трансформаторов, основные физические процессы, протекающие в них, одни и те же. Поэтому трансформаторы различного схемного назначения имеют однотипную конструкцию.

7.3. Конструкция трансформаторов.

Магнитопроводы служат для обеспечения возможно более полной связи между первичной и вторичной цепями и увеличения магнитного потока.

Выбор материала зависит от назначения и свойств трансформатора. Для трансформаторов питания широкое распространение получили холодно катанные стали марок 3411-3424. В этих сталях при холодной прокатке получается ориентация кристаллов вдоль направления проката, благодаря чему удается получить более высокую индукцию и меньшие потери. Для трансформаторов применяют три типа магнитопроводов: стержневой, броневой и кольцевой. По конструкции броневые сердечники подразделяют на собранные из штампованных пластин и ленточные.

Трансформаторы со стержневым магнитопроводом (рис. 7.1, а и б) имеют неразветвленную магнитную цепь, на двух его стержнях располагают две катушки с обмотками. Такую конструкцию используют обычно для трансформаторов большой и средней мощности, так как наличие двух катушек увеличивает площадь теплоотдачи и улучшает тепловой режим обмоток. Трансформаторы с броневым сердечником (рис. 7.1, в и г) имеют разветвленную магнитную цепь, обмотки в этом случае размещаются на одной катушке, располагаемой на центральном стержне магнитопровода. Такие магнитопроводы используют в маломощных трансформаторах.

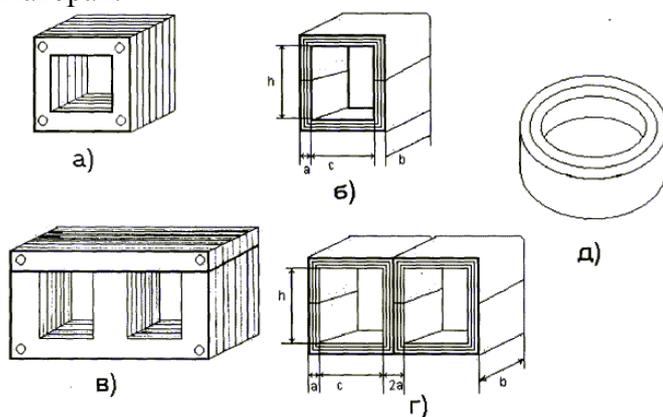


Рис.2.35

Рисунок 7.1. Конструкции трансформаторов с различными магнитопроводами.

Пластинчатые магнитопроводы (рис 7.1), а и в) собирают из отдельных штампованных Ш - образных или П - образных пластин толщиной 0,35-0,5 мм и перемычек. При сборке встык все пластины составляются вместе и соединяются перемычками. Магнитопровод в этом случае состоит из двух частей, что позволяет получить воздушные зазоры в магнитной цепи, необходимые для нормальной работы трансформаторов, у которых через обмотки помимо переменного тока протекает постоянный ток. При сборке внахлест пластины чередуются так, чтобы у соседних пластин разрезы были с разных сторон, что обеспечивает отсутствие воздушного зазора в магнитопроводе. При этом уменьшается его магнитное сопротивление, однако при этом возрастает трудоемкость сборки. Для уменьшения потерь на вихревые токи

пластины изолируют друг от друга слоем оксидной пленки (отжигом пластин), лаковым покрытием или склеивающей суспензией.

Ленточные магнитопроводы (рис.7.1, б и г) получают путем навивки ленты трансформаторной стали толщиной 0,1-0,3 мм, после чего “витой сердечник” разрезают и получают два С-образных сердечника, на один из С-образных сердечников устанавливают катушки с обмотками, а затем вставляют второй С-сердечник. Для получения минимального немагнитного зазора в магнитопроводе торцы сердечников склеивают пастой, содержащей ферромагнитный материал. Если необходим зазор, то в месте стыка двух сердечников устанавливают прокладки из бумаги или картона требуемой толщины. В случае броневых ленточных сердечников применяют одну катушку с обмотками и четыре С-образных сердечника. Ленточная конструкция сердечников позволяет механизировать процесс изготовления трансформаторов. При этом трудоемкость процесса установки сердечника в катушку уменьшается, а отходы материалов сокращаются. Достоинством ленточных сердечников является также то, что потери в таких сердечниках меньше, чем в пластинчатых, благодаря чему удается сократить размеры и массу трансформатора. Это происходит потому, что в пластинчатых сердечниках часть магнитных силовых линий проходит перпендикулярно направлению проката, а в ленточных линии поля расположены вдоль направления проката по всей длине магнитопровода.

Трансформаторы на тороидальных сердечниках (рис 7.1, д) наиболее сложные и дорогие. Основными преимуществами их являются очень незначительная чувствительность к внешним магнитным полям и малая величина потока рассеяния. Обмотки в трансформаторе наматывают равномерно по всему тороиду, что позволяет еще более уменьшить магнитные потоки рассеяния.

Основание, на котором размещаются обмотки трансформатора, называется каркасом. По конструкции каркасы разделяются на две группы: со щечками (рис.7.2,а) и без щечек-гильзы (рис.7.2,б).

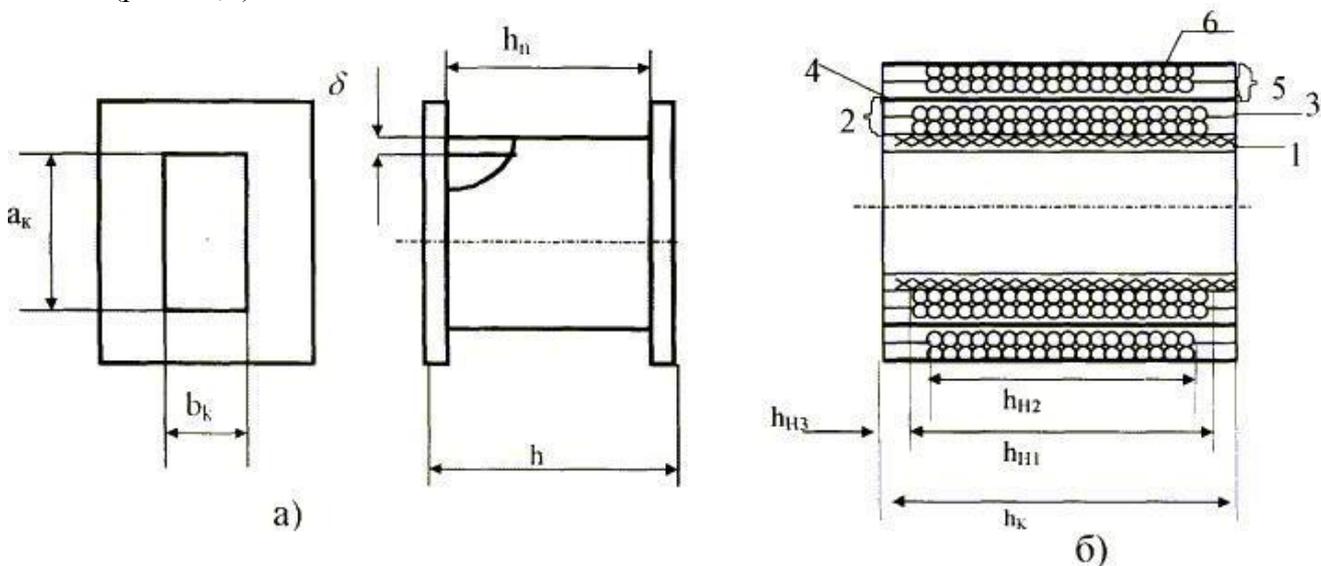


Рисунок 7.2. Конструкции каркасов трансформаторов

Размеры отверстий a_k и b_k в каркасе со щечками должны быть на 0,1-0,2 мм больше, чем размеры соответствующей части магнитопровода, а длина каркаса должна быть на 0,5-1,0 мм меньше высоты окна в магнитопроводе. Это обеспечивает свободную установку каркаса на магнитопровод. Толщина стенок каркаса в зависимости от его размеров составляет от 0,7 до 1,5 мм.

Трансформаторы, в которых каркасы катушек выполнены в виде гильз, обладают лучшими технологическими характеристиками, поскольку гильза значительно проще каркаса со щечками и процесс изготовления гильз лучше поддается процессу механизации.

Укладка провода на каркас осуществляется двумя способами: беспорядочно (в навал) и правильными рядами, виток к витку (рядовая намотка). Укладка внавал возможна только при применении каркаса со щечками. Однако, такая намотка применяется крайне редко, так как при хаотическом расположении витков возможно появление больших напряжений между соседними витками, что ведет к пробое изоляции провода и короткому замыканию.

При использовании гильзы применяется рядовая намотка (рис.7.2,б). Сначала на гильзу 1 наматывается первичная обмотка 2, состоящая из нескольких слоев, разделенных изоляционными прокладками 3. Поверх первичной обмотки накладывается межобмоточная изоляция 4, затем наматывается вторичная обмотка 5, поверх которой накладывается наружная изоляция 6. Чтобы исключить спадание провода с гильзы и замыкание его на магнитопровод, обмотка не должна доходить до края гильзы. Ширина кольцевой изоляции Биз обычно составляет 1,2-1,5 мм. Чтобы исключить "сползание" крайних витков, ширина каждого последующего слоя должна быть меньше по отношению к предыдущему на один виток.

7.4 Физические основы функционирования трансформаторов.

Функционирование трансформаторов основано на связи цепей через магнитный поток (рис.7.3).

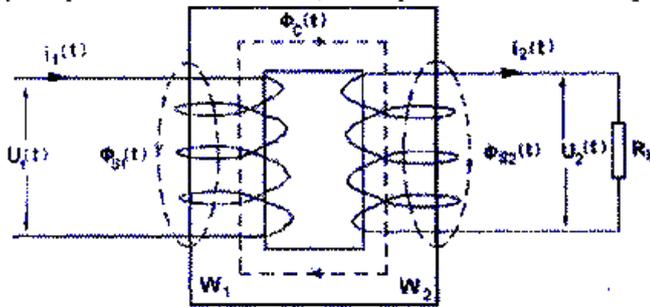


Рисунок 7.3. Связь цепей через магнитный поток

При подключении к первичной обмотке, имеющей W_1 витков, переменного напряжения $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ в ней потечет переменный ток $i_1(t)$ и возникнет магнитный поток $\Phi_1(t)$, который в основном будет замыкаться через магнитопровод и пронизывать как витки первичной обмотки, так и вторичной, имеющей W_2 витков, в результате чего в первичной обмотке индуцируется ЭДС $e_1(t)$ а во вторичной $e_2(t)$. Наличие ЭДС $e_2(t)$ вызовет появление тока $i_2(t)$ во вторичной обмотке и на нагрузочном резисторе R_n появится напряжение $u_2(t)$.

Ток $i_2(t)$ создаст магнитный поток $\Phi_2(t)$, направленный навстречу потоку $\Phi_1(t)$, в результате чего в магнитопроводе установится результирующий магнитный поток $\Phi_c(t)$. Незначительная часть потока, создаваемого током $i_1(t)$, замыкается не через магнитопровод, а через воздух.

Этот поток называется потоком рассеяния $\Phi_{s1}(t)$, точно также существует поток рассеяния вторичной обмотки $\Phi_{s2}(t)$

В правильно сконструированном трансформаторе потоки рассеяния ничтожно малы и ими можно пренебречь.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа напряжение $u_1(t)$ должно быть равно сумме падения напряжения на активном сопротивлении провода первичной обмотки и двух ЭДС, обусловленных потоками $\Phi_c(t)$ и $\Phi_{s1}(t)$, сцепленными с первичной обмоткой:

$$u_1(t) = i_1(t)R_1 + W_1 \frac{d\Phi_c(t)}{dt} + L_{s1} \frac{di_1(t)}{dt} \quad (7.1)$$

Соответственно для вторичной обмотки

$$u_2(t) = W_2 \frac{d\Phi_c(t)}{dt} - i_2(t)R_2 - L_{s2} \frac{di_2(t)}{dt} \quad (7.2)$$

Величина ЭДС, индуцируемой в первичной обмотке, определяется скоростью изменения магнитного потока:

$$e_{1(t)} = W_1 \frac{d\Phi_c(t)}{dt} = W_1 \frac{d}{dt} \Phi_m \cos 2\pi ft = 2\pi f W_1 \Phi_m \sin \omega t = E_{1m} \sin \omega t$$

Действующее значение этой ЭДС (В) равно

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = 4,44 f W_1 \Phi_m \cdot 10^{-4} \quad (7.3)$$

Магнитный поток Φ_m можно выразить через индукцию B_m

$$\Phi_m = B_m S_c$$

где S_c - площадь поперечного сечения сердечника, см^2 .

Тогда величина ЭДС (В) первичной обмотки

$$E_1 = 4,44 f W_1 B_m S_c \cdot 10^{-4} \quad (7.4)$$

Соответственно, ЭДС (В) вторичной обмотки

$$E_2 = 4,44 f W_2 B_m S_c \cdot 10^{-4} \quad (7.5)$$

Из соотношений (7.4) и (7.5) следует, что

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{W_2}{W_1} = n$$

Это отношение называется коэффициентом трансформации.

Используя уравнение Кирхгофа и произведя пересчет переменных и параметров из вторичной цепи в первичную и переход к действующим значениям токов и напряжений, можно составить эквивалентную схему трансформатора, (рис.7.4), в которой $R'_2 = R_2/n^2$, $L'_{s2} = L_{s2}/n^2$, $R'_n = R_n/n^2$, $U'_2 = U_2/n$, $I_2 = I_2/n$. L_1 представляет собой индуктивность (мкГн) первичной обмотки, которая равна

$$L_1 = 12,6 \cdot \mu_c W_1^2 S_c \cdot 10^{-3} / l_c \quad (7.6)$$

где μ_c - магнитная проницаемость сердечника, зависящая от величины индукции В,

$S_c \cdot \mu_c$ - площадь поперечного сечения сердечника, см^2

l_c - средняя длина силовой линии в сердечнике, см .

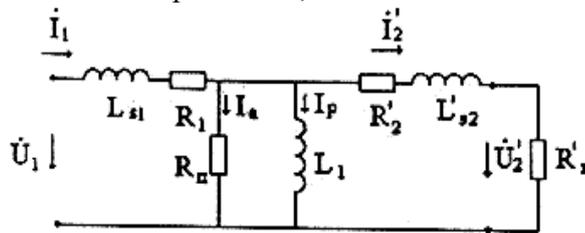


Рисунок 7.4 Эквивалентная схема трансформатора.

Резистор R_n учитывает потери в сердечнике на вихревые токи и перемангничивание.

Ток I_1 , протекающий через первичную обмотку трансформатора, содержит активную составляющую I_{1a} и реактивную составляющую I_{1p}

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} \quad (7.7)$$

Активная составляющая тока определяется потерями в сердечнике P_c , потерями в меди P_m и мощностью, потребляемой нагрузкой, подключенной к вторичной обмотке:

$$I_{1a} = \frac{P_c + P_m}{U_1} + \frac{I_2 U_2}{U_1} \quad (7.8)$$

Реактивная составляющая тока первичной обмотки определяется реактивным сопротивлением обмотки

$$I_{1p} = \frac{U_1}{\omega L_1} \quad (7.9)$$

Подставляя величину L_1 (2.63) и U_1 (2.61) получим

$$I_{1p} = \frac{kB_m}{\mu_c} \cdot \frac{l_c}{W_1} \quad (7.10)$$

где k - числовой коэффициент, получающийся в ходе подстановки (7.4) и (7.5) в (7.6). Он характеризует функциональную связь между индукцией и напряженностью магнитного поля H_c , следовательно,

$$\frac{kB_m}{\mu_c} = H_c$$

Значит уравнение (2.67) может быть представлено в виде

$$I_{1p} = H_c \frac{l_c}{W_1} \quad (7.11)$$

Следовательно, изменяя напряженность магнитного поля H_c , выраженную в ампер-витках на сантиметр, можно изменять величину реактивного тока I_{1p}

При расчете трансформаторов обычно выбирают оптимальное значение B_m , исходя из необходимости получения наименьших потерь в сердечнике. Поэтому по известной величине B_m определяют требуемую напряженность поля H_c (рис.7.5), измеряемую в ампер-витках.

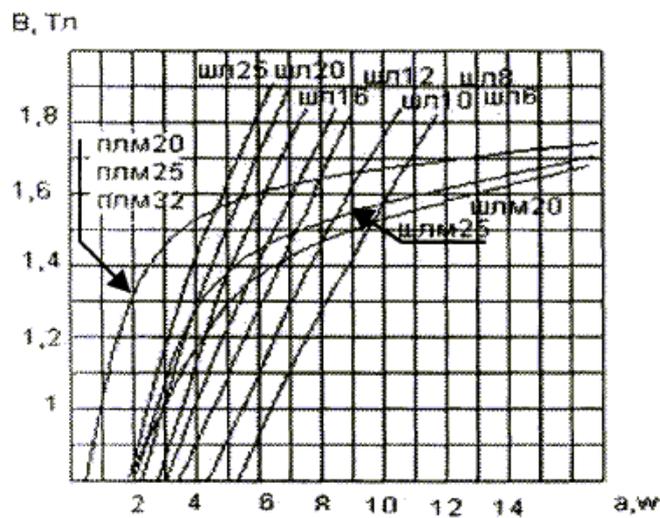


Рисунок 7.5. Определение напряженности поля H_c

7.5. Основные принципы расчета трансформаторов

Расчет трансформатора в общем случае представляет задачу, в которой число неизвестных больше числа связывающих их уравнений. Поэтому приходится пользоваться некоторыми эмпирическими исходными величинами, полученными на основе ранее спроектированных трансформаторов. Покажем это на примере расчета трансформатора питания.

В качестве исходных данных для расчета трансформаторов питания берутся величины первичного и вторичного напряжений U_1 и U_2 , ток вторичной обмотки I_2 , и частота напряжения f . Если требуется несколько вторичных обмоток, то задаются значения U_1 и U_2 для каждой.

Расчет начинается с определения суммарной мощности вторичных обмоток и выбора соответствующего этой мощности магнитопровода. Затем выбирается оптимальная величина максимальной индукции B_m и рассчитывается ЭДС (В), наводимая в одном витке

$$e = 4,44B_m f S_c \cdot 10^{-4}. \quad (7.12)$$

На втором этапе определяются параметры обмоток. Для определения числа витков можно было бы просто поделить заданное напряжение на ЭДС, наводимую в одном витке, однако этого недостаточно. Необходимо еще учесть падение напряжения на обмотках, значения которых зависят от мощности трансформатора. На рис.7.6 приведены графики

рекомендуемых значений падения напряжения ΔU , выраженные в процентах, в зависимости от мощности трансформатора.

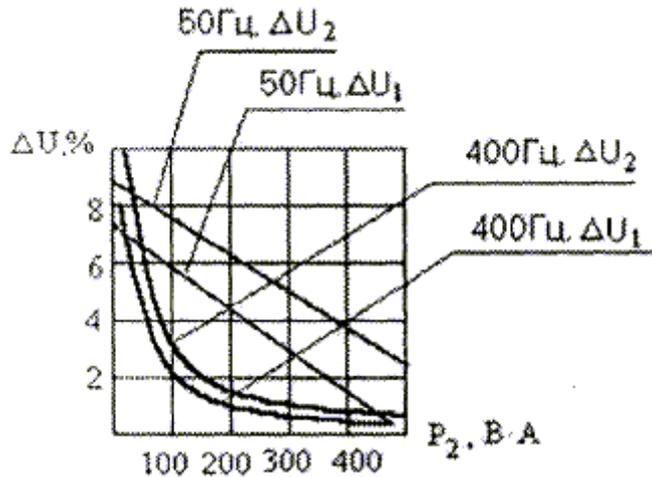


Рисунок 7.6. Графики рекомендуемых значений падения напряжения ΔU

С учетом падения напряжения в обмотках ЭДС в первичной обмотке должна быть равна

$$E_1 = U_1 \left(1 - \frac{\Delta U}{100} \right), \text{ а во вторичной обмотке } E_2 = U_2 = U_2 \left(1 - \frac{\Delta U}{100} \right).$$

Тогда число витков первичной обмотки будет равно $W_1 = \frac{E_1}{e}$, а вторичной $W_2 = \frac{E_2}{e}$

Для расчета сечения проводов необходимо знать токи, протекающие в обмотках. Токи вторичных обмоток заданы, а ток первичной обмотки необходимо рассчитать.

Он содержит активную и реактивную составляющие $I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$. Активная составляющая тока определяется мощностью P_2 , потребляемой нагрузкой, мощностью P_m , расходуемой на нагрев обмоток, и мощностью P_c расходуемой на потери в сердечнике.

Составляющая тока первичной обмотки, определяемая мощностью потребляемой нагрузкой, равна $I'_{1a} = \frac{I_2 U_2}{U_1} + \frac{I_3 U_3}{U_1} + \dots + \frac{I_N U_N}{U_1}$, где N - количество вторичных обмоток.

Составляющая тока первичной обмотки, зависящая от потерь в меди, равна $I''_{1a} = \frac{P_m}{U_1}$. Для ее

нахождения надо знать потери в меди, которые определяются по формуле

$$P_m = \sum_{i=1}^N I_i \Delta U_i = I_1 \Delta U_1 + I_2 \Delta U_2 + \dots + I_N \Delta U_N$$

где ΔU - падения напряжения в обмотках.

В этой формуле неизвестна величина тока в первичной обмотке I_1 , который еще не рассчитан, поэтому, исходя из опыта проектирования, задаются ориентировочным значением этого тока $I_1 = k I'_{1a}$. Величина I'_{1a} , уже рассчитана, а значение коэффициента k определяется по табл.7.1.

Таблица 7.1. Определение значений коэффициента K

| Частота $\tau, \text{Гц}$ | К при $P_2, \text{Вт}$ | | | |
|---------------------------|------------------------|--------|---------|----------|
| | 15-50 | 50-100 | 150-300 | 300-1000 |
| 50 | 1,75 | 1,27 | 1,15 | 1,14 |

| | | | | |
|-----|------|------|-----|------|
| 400 | 1,35 | 1,23 | 1,1 | 1,07 |
|-----|------|------|-----|------|

Составляющую тока первичной обмотки, зависящую от потерь в сердечнике, определяют по формуле $I_{1a}'' = \frac{P_c}{U_1}$. Потери в сердечнике зависят от максимальной индукции в сердечнике

(рис. 7.7) и массы сердечника $P_c = P_{c,уд.} G_c$.

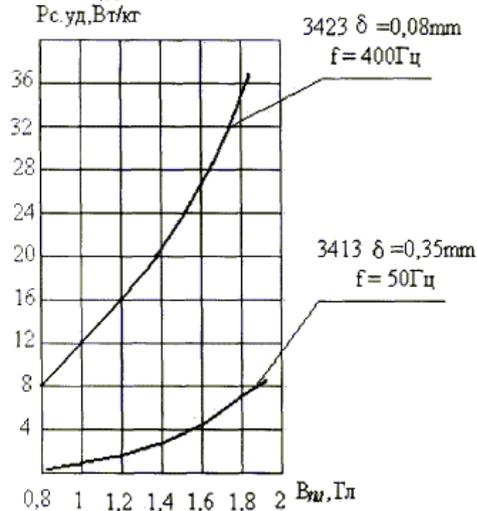


Рисунок 7.7. Эмпирические зависимости удельных потерь от индукции.

Реактивная составляющая тока I_{1p} определяется: $I_{1p} = \frac{H_c I_c}{W_1}$. Величина H_c находится по

графику зависимости $B_m = f(H)$ для выбранного материала сердечника (рис. 7.4)

После расчета всех составляющих тока рассчитывают полный ток первичной обмотки. Если результат совпадает с ориентировочным значением тока I_l , которым задавались предварительно, то расчет продолжают. Если же результат расчета существенно отличается от ориентировочного значения, то расчет потерь в меди повторяют, задавшись другим значением тока I_l .

Затем выбирают плотность тока в обмотках, которая влияет на количество тепловой энергии, выделяемой в обмотках. Чем она меньше, тем больше диаметр провода, но при этом возникает опасность, что обмотка не разместится в окне магнитопровода. Рекомендуемые значения плотности тока приведены на рис. 7.8.

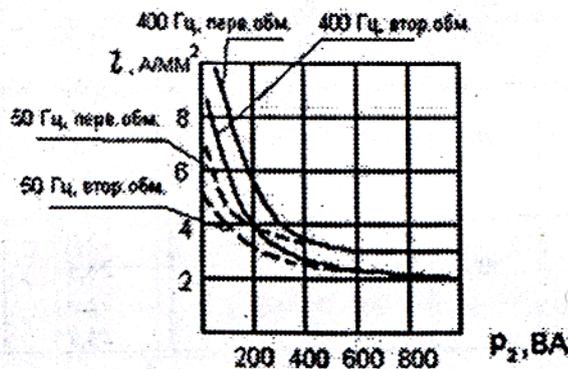


Рисунок 7.8. Рекомендуемые значения плотности тока в обмотках

Зная плотность тока можно рассчитать площадь поперечного сечения провода $S_f = \frac{I}{j}$ и диаметр провода

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} S_{\pi}} = 1,13 \sqrt{\frac{I}{j}}$$

По найденному значению диаметра провода выбирают ближайший стандартный диаметр и марку провода (табл.6.1).

Следующим этапом расчета является расчет размещения обмоток в окне сердечника. Расчет размещения обмоток ведется в следующей последовательности:

1. Определяют число витков в каждом слое обмотки

$$W_{сли} = \frac{l k_y}{d_{изи}}$$

где k_y - коэффициент, учитывающий неплотность укладки провода (табл. 7.2),

l - ширина слоя намотки

$d_{изи}$ -диаметр провода в изоляции для рассчитываемой обмотки.

Таблица 7.2. Определение коэффициента k_y

| $d_{из}, \text{mm}$ | 0,06-0,2 | 0,21-0,3 | 0,31-0,4 | 0,41-0,65 | более 0,65 |
|---------------------|----------|----------|----------|-----------|------------|
| k_y | 0,83 | 0,86 | 0,92 | 0,93 | 0,95 |

2. Вычисляют число слоев каждой обмотки

$$n_{сли} = \frac{W_i}{W_{сли}}$$

где W_i - число витков рассчитываемой обмотки. Полученное значение $n_{сли}$ округляется до ближайшего большего целого числа.

После этого проверяют уложится ли обмотка в рассчитанное число слоев с учетом того, что в каждом последующем слое число витков на один меньше, чем в предыдущем; должно выполняться условие:

$$W_{сли} n_{сли} - \square W \square \square W_i$$

где $n_{сли}$ - округленное число слоев,

$\square W$ -уменьшение числа витков обмотки, округленное по табл. 7.3.

Таблица 7.3. Определение $\square W$

| Число слоев | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-------------|---|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\square W$ | 0 | 1 | -5 | 6 | 10 | 15 | 21 | 28 | 36 | 45 | 55 | 66 | 78 | 91 |

Если это условие не выполняется, то увеличивают число слоев на 1.

3. Рассчитывают толщину каждой обмотки

$$\square_i \square \square \square n_{сли} d_{изи} + (n_{сли} - 1) \square_{изи};$$

где $\square_{изи}$ - толщина межслойной изоляции. При толщине провода до 0,3 мм применяют конденсаторную бумагу КОН-2 толщиной 0,022 мм;

при проводе 0,3-0,65 мм- электроизоляционную бумагу ЭН-50 толщиной 0,05 мм; для проводов диаметр которых превышает 0,65 мм - кабельную бумагу К-120 толщиной 0,1 2 мм.-

4. Рассчитывают толщину катушки S_k (рис.7.9) с учетом межобмоточной изоляции \square_m , толщины гильзы $\square_{г}$ и наружной изоляции $\square_{н}$:

$$S_k = \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i + \sum_{i=1}^{N-1} \Delta_{mi} \right) 1,1 + \Delta_{г} + \Delta_{н}$$

где N - число обмоток.

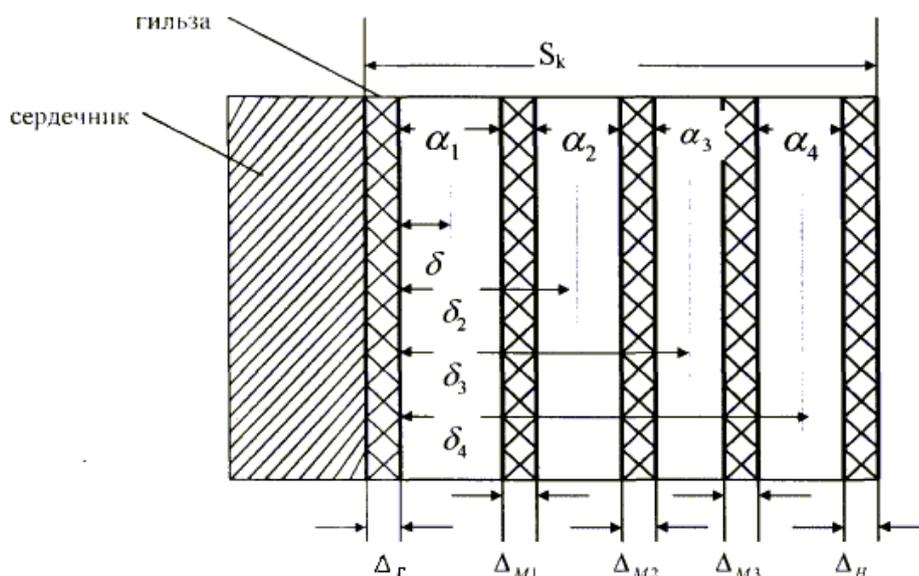


Рисунок 7.9. Расчет толщины катушки S_k

Величина Δ_r определяется справочнику (основные параметры ленточных магнитопроводов); в качестве межобмоточной Δ_m , и наружной изоляции Δ_H , применяются несколько слоев кабельной бумаги К-120. Рассчитанная толщина S_k должна быть меньше ширины окна s . Если в результате расчета окажется, что радиальная толщина обмотки больше ширины окна, то следует либо несколько уменьшить диаметр проводов, либо применить сердечник большего размера.

Следующим этапом является расчет потерь в меди:

1. Рассчитывают среднюю длину витка каждой обмотки

$$l_{срi} = M + 2\Delta_i$$

где M - внешний периметр гильзы,

Δ_i - расстояние от гильзы до середины i - и обмотки (рис. 2.44),

Величина Δ_i рассчитывается по формуле:

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j + \sum_{j=1}^{i-1} \Delta_{mj} + \frac{\alpha_i}{2}$$

2. Рассчитывают сопротивление обмоток при температуре $+20^\circ\text{C}$

$$R_i = \rho \frac{4l_i}{d_i^2 \pi}$$

где $l_i = I_{срi} W_i$ длина провода i - й обмотки.

3. Задаются максимальной температурой катушки и рассчитывают сопротивление обмоток при этой температуре

$$R_{Ti} = R_i (1 + 0,004 \Delta T),$$

где ΔT - превышение температуры над нормальной.

4. Вычисляют падение напряжения на обмотках

$$U_i = I_l R_{Ti}$$

выделяемую в них мощность

$$P_{mi} = I_l \Delta U_i$$

и суммарные потери в меди

$$P_m = \sum_{i=1}^N P_{mi}$$

На заключительном этапе рассчитывают тепловой режим трансформатора. Энергия, теряемая в обмотках (P_m) и сердечнике (P_c), выделяется в виде тепла внутри трансформатора,

доходит до поверхности и излучается в окружающую среду. В стационарном режиме существует баланс мощностей, при котором выделяемая и излучаемая мощности равны. При этом в каждой точке трансформатора устанавливается постоянная температура, определяющая надежность его работы. Максимальной температурой обладают обмотки трансформатора. Определение распределения температуры внутри трансформатора встречает большие технические трудности, так как условия передачи теплоты от разных точек к поверхности различны, поэтому температурный режим трансформатора оценивают некоторой средней величиной θ , называемой температурой перегрева, которая определяется эмпирическими формулами и:

для трансформаторов, работающих на частоте 50 Гц,

$$\theta = \frac{(R_T m_M + R_{TMВ} P_C)^2}{4 R_T P_M}$$

для трансформаторов, работающих на частоте 400 Гц,

$$\theta = \frac{(m_M + P_C) * R_{TMВ} R_{TK}}{2 R_T}$$

где R_T , $R_{TMВ}$, R_{TK} -коэффициенты, значение которых находят по справочникам (основные параметры ленточных магнитопроводов)

R_M - потери в меди, R_C - потери в стали.

Температура нагрева обмоток трансформатора $T_{гр}$ выше температуры окружающей среды $T_{окр}$ на величину температуры перегрева: $T_{гр} = T_{окр} + \theta$

Температура $T_{гр}$ должна быть не выше максимальной температуры обмоток, которой задавались при расчете сопротивления обмоток. Если эта температура окажется больше допустимой, то следует заново рассчитать трансформатор, применив магнитопровод большего размера, или снизить температуру окружающей среды.

Согласующие трансформаторы проектируют так, чтобы вносимые ими частотные и нелинейные искажения не превышали заданных. В области низких частот, частотные искажения обусловлены малой величиной индуктивности первичной обмотки, а в области высоких частот- наличием индуктивности рассеяния и паразитных емкостей. С целью уменьшения индуктивности рассеяния применяют чередование обмоток: сначала наматывают половину первичной обмотки, затем вторичную, после чего вторую половину первичной. В результате обмотка оказывается разделенной на три секции. Секционировать можно и вторичную обмотку. Чем больше число секций, тем меньше индуктивность рассеяния.

Нелинейные искажения обусловлены нелинейной зависимостью между напряженностью поля и индукцией в сердечнике. Поэтому при синусоидальном токе первичной обмотки индукция в сердечнике изменяется по закону, отличному от синусоидального. Соответственно ЭДС, наводимая во вторичной обмотке, будет отличаться от синусоидальной. Чем больше индукция, тем больше нелинейность кривой намагничивания, тем больше нелинейные искажения. Поэтому согласующие трансформаторы работают при небольших значениях индукции. Поскольку величина индукции незначительна потери в стали можно не учитывать. Нагрев согласующего трансформатора определяется в основном потерями в меди.

Требования, предъявляемые к импульсным трансформаторам, существенно отличаются от тех, которые предъявляются к трансформаторам согласования. Основной особенностью этих трансформаторов является работа в широком диапазоне частот. Наиболее часто импульсные трансформаторы используют при длительности импульсов 0,2...100 мкс с длительностью фронта 0,01...0,2 мкс, поэтому для импульсных трансформаторов используют сердечники тороидальной формы, изготовленные из тонких листов электротехнических сталей или ферритов с высокой магнитной проницаемостью. Для уменьшения индуктивности рассеивания намотку провода осуществляют с малым количеством слоев. Для уменьшения емкости обмотки разделяют на секции.

Обычно трансформаторы рассчитываются для каждого конкретного радиоустройства. Однако в настоящее время все шире применяются унифицированные трансформаторы.

Широкое применение унифицированных трансформаторов дает большой технико-экономический эффект, так как позволяет отказаться от мелкосерийного, а иногда и штучного производства трансформаторов для каждого устройства и перейти к массовому производству на специализированных предприятиях, способных механизировать и автоматизировать производство, повысить надежность и снизить себестоимость,

Трансформаторы являются компонентами конструкции электронной аппаратуры, которые за последние годы значительно усовершенствованы. Однако по сравнению с другими компонентами электронной аппаратуры их габариты и вес относительно велики. Поэтому в современной электронной аппаратуре существует тенденция к сокращению использования трансформаторов.

Контрольные вопросы

1. Что такое трансформатор?
2. Отличается ли трансформатор от катушки индуктивности?
3. Классификация трансформаторов?
4. Что такое импульсные трансформаторы?
5. Что такое согласующие трансформаторы?
6. Что такое трансформатор питания?
7. Конструкция трансформаторов?
8. На чем основано функционирование трансформаторов?
9. Как влияет сердечник на работу трансформатора?
10. Какие параметры берутся в качестве исходных данных при расчете трансформаторов?

Лекция №8

Модульный принцип конструирования электронной аппаратуры

План:

1. Конструктивная иерархия аппаратуры.
2. Стандартизация при модульном конструировании.

Ключевые слова:

Модульный принцип конструирования. Уровни конструктивной иерархии. Принципы иерархического конструирования. Базовый принцип. Модули нулевого уровня. Корпуса микросхем. Микросборки. Модули первого уровня. Модули второго уровня. Блоки стеллажного типа. Блоки книжной конструкции. Этажерочная компоновка блока. Модули третьего уровня.

8.1. Конструктивная иерархия аппаратуры

Снизить затраты на разработку, подготовку производства и освоение электронной аппаратуры обеспечить совместимость и преемственность аппаратурных решений с одновременным улучшением качества, увеличением надежности и срока службы аппаратуры в эксплуатации позволяет модульный принцип конструирования изделий.

Модульный принцип конструирования предполагает проектирование изделий электронной аппаратуры на основе максимальной конструктивной и функциональной взаимозаменяемости составных частей конструкции - модулей. Модуль - составная часть аппаратуры, выполняющий в конструкции подчиненные функции, имеющий законченное функциональное и конструктивное оформление и снабженный элементами коммутации и механического соединения с подобными модулями и с модулями низшего уровня в изделии.

В основе модульного принципа лежит разукрупнение (разбивка, расчленение) электронной схемы электронной аппаратуры на функционально законченные подсхемы (части), выполняющие определенные функции. Эти подсхемы разбиваются на более простые модули, и так далее, пока электронная схема изделия не будет представлена в виде набора модулей разной сложности, а низшим модулем не окажется корпус микросхемы с обслуживающими ее радиоэлементами.

Модули низшего уровня устанавливаются и взаимодействуют между собой в модулях следующего уровня иерархии на какой-либо конструктивной основе (несущей конструкции) и реализуются в виде типовых конструктивных единиц, которые устанавливаются и взаимодействуют в модуле более высокого уровня, и т. д. В зависимости от сложности проектируемого изделия может быть задействовано разное число уровней модульности (уровней конструктивной иерархии).

Конструкция современной электронной аппаратуры представляет собой иерархию модулей, каждая ступень которой называется уровнем модульности. При выборе числа уровней модульности проводится типизация модулей, сокращение их разнообразия и установление таких конструкций, которые выполняли бы достаточно широкие функции в изделиях определенного функционального назначения. Применение микросхем с различными корпусами в пределах одного устройства нецелесообразно, так как здесь требуется обеспечить их совместимость по электрическим, эксплуатационным и конструктивным параметрам.

При использовании интегральных микросхем операции сборки конструкции начинают на уровне схем, выполняющих определенные функции. Интегральная микросхема при этом является исходным унифицированным конструктивным элементом, унификация которого требует унификации и других конструктивных единиц, для того чтобы она была технологичной в производстве, надежной в работе, удобной в наладке, ремонте и эксплуатации.

Уровни конструктивной иерархии. В конструкции радиоэлектронной аппаратуры можно выделить четыре основных уровня (рис. 8.1).

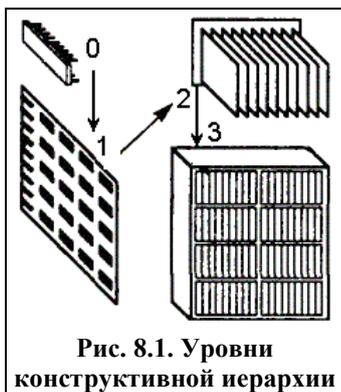


Рис. 8.1. Уровни конструктивной иерархии

Уровень 0. Конструктивно неделимый элемент - интегральная микросхема с радиоэлементами ее обслуживания.

Уровень I. На уровне I неделимые элементы объединяются в схемные сочетания, имеющие более сложный функциональный признак, образуя ячейки, модули, типовые элементы замены (ТЭЗ). Эти конструктивные единицы не имеют лицевой панели и содержат единицы и десятки микросхем. К первому структурному уровню относят печатные платы и большие гибридные интегральные схемы (БГИС), полученные путем электрического и механического объединения бескорпусных микросхем и кристаллов полупроводниковых приборов на общей плате.

Уровень II. Этот уровень включает в себя конструктивные единицы - блоки, предназначенные для механического и электрического объединения элементов уровня I. Основными конструктивными элементами блока является панель с ответными соединителями модулей первого уровня. Межмодульная коммутация выполняется соединителями, расположенными по периферии панели блока. Модули первого уровня размещаются в один или несколько рядов. Кроме соединительной конструктивные единицы уровня II могут содержать лицевую панель, образуя простой функциональный прибор.

Уровень III. Уровень III может быть реализован в виде стойки или крупного прибора, внутренний объем которых заполняется конструктивными единицами уровня II - блоками.

Число уровней конструктивной иерархии может быть изменено как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения в зависимости от класса аппаратуры и уровня технологии ее изготовления. При разработке несложной аппаратуры высшие уровни модульности отсутствуют. Большая многопроцессорная аппаратура со сложной структурой требует использования четырех, а иногда и пяти уровней конструктивной иерархии. Так, крупные системы могут рассматриваться как уровень IV, включающий в свой состав несколько стоек, соединенных кабелями.

| Конструктивный модуль | Схемный модуль |
|-----------------------|---------------------|
| Корпус микросхемы | Логический элемент |
| ТЭЗ | Функциональный узел |
| Блок | Устройство |
| Рама | Комплекс |
| Стойка | Система |

Конструктивным модулям можно поставить в соответствие схемные модули, которые так же имеют многоуровневую иерархию и представляют собой функциональные узлы, устройства, комплексы, системы.

Приведенная связь конструктивной и схемной модульности условна. Она имеет отношение к аппаратуре, реализуемой на микросхемах малой степени интеграции, и в общем случае зависит от функциональной сложности проектируемого изделия и степени интеграции применяемых МС. В больших интегральных схемах (БИС) реализуются целиком устройства (например, преобразователи, запоминающие устройства) или их крупные фрагменты, при этом несложная система может быть конструктивно выполнена на одной печатной плате.

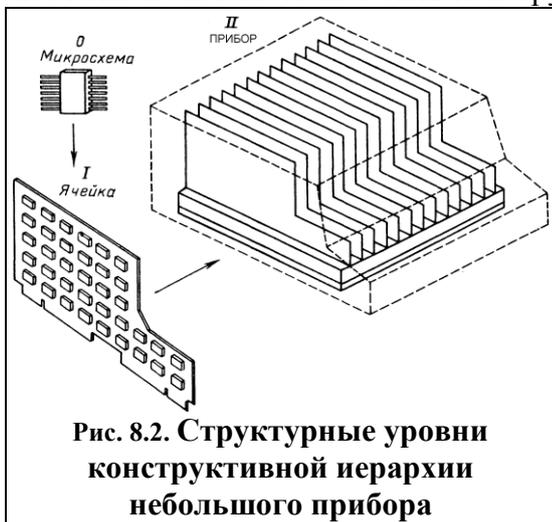


Рис. 8.2. Структурные уровни конструктивной иерархии небольшого прибора

Для небольших изделий нет необходимости использования конструктивных единиц уровня II и приборы монтируют непосредственно из ячеек. При этом размеры ячеек и число монтируемых на них микросхем, как правило, больше, чем в больших системах. Это связано с тем, что разбиение функциональной схемы сравнительно небольших приборов на повторяющиеся мелкие узлы приводит к появлению большого числа проводных и разъемных соединений. На рис. 8.2 представлены структурные уровни конструктивной иерархии небольшого прибора. Ячейки вместе со смонтированными на них микросхемами устанавливаются непосредственно на базовую плату, образуя блок, который затем

помещают в кожух с пультом управления (настольный вариант) или с разъемом (бортовой вариант).

Модули высших уровней поставляются разработчикам РЭА в виде базовых несущих конструкций (БНК), которые представляют собой деталь или совокупность деталей, предназначенных для размещения, монтажа составных частей аппаратуры и обеспечения устойчивости РЭА в условиях внешних воздействий. Под БНК понимается стандартная несущая конструкция, служащая для разработки разнообразной РЭА определенного назначения.

При разбивке структурных и функциональных схем необходимо удовлетворить многим порой противоречивым требованиям:

- функциональной законченности, когда выделяемая подсхема должна обладать необходимой полнотой и выполнять определенные частные функции;
- минимизации внешних связей подсхем, либо, если электрические соединители модулей заданы, чтобы число внешних связей не превысило число контактов соединителя;
- максимального заполнения отводимого конструктивного пространства модулями, компоненты не должны существенно отличаться между собой по габаритным размерам и массе;
- модули подсхем должны рассеивать приблизительно одинаковые мощности во избежание местных перегревов;
- модули подсхем не должны быть чрезмерно чувствительными к электрическим, магнитным и электромагнитным помехам и не должны создавать чрезмерных помех.

Функциональная законченность подсхем сокращает число межмодульных электрических соединений, позволяет вносить конструктивные изменения на более поздних стадиях проектирования, упрощает и удешевляет контроль модулей.

Разделение конструкции РЭА и ГИВС на уровни позволяет:

- 1) организовать производство по независимым циклам для каждого структурного уровня;
- 2) автоматизировать процессы сборки и монтажа;
- 3) сократить период настройки, так как может быть произведена предварительная настройка отдельных конструктивных единиц порознь;
- 4) автоматизировать решение задач размещения элементов и трассировки соединений;
- 5) унифицировать стендовую аппаратуру для испытания конструктивных единиц;
- 6) повысить надежность конструктивных единиц.

Принципы иерархического конструирования. В настоящее время получили широкое распространение такие принципы конструирования, как моносхемный, схемно-узловой, каскадно-узловой, функционально-узловой и модульный.

Моносхемный принцип конструирования заключается в том, что полная принципиальная схема радиоэлектронного аппарата располагается на одной печатной плате и, поэтому, выход из строя одного элемента приводит к сбою всей системы.

Оперативная замена вышедшего из строя элемента затруднена из-за сложности его обнаружения. РЭА, построенная по моносхемному принципу, должна быть смонтирована из нескольких БИС, в которых предусмотрены меры увеличения надежности путем введения аппаратурной и информационной избыточности. Нахождение неисправностей при этом должно производиться программными методами.

Схемно-узловой принцип конструирования. При этом принципе конструирования на каждой из печатных плат располагают часть полной принципиальной схемы радиоаппарата, имеющую четко выраженные входные и выходные характеристики. По такому принципу сконструированы настольные и бортовые приборы, где различные устройства приборов выполняют на одной или нескольких платах, а объединение их между собой производят с помощью коммутационной платы и проводных жгутов.

Каскадно-узловой принцип конструирования заключается в том, что принципиальную схему радиоаппарата делят на отдельные каскады, которые не могут

выполнять самостоятельных функций. Системы с относительно сложной и большой структурой строятся по каскадно-узловому принципу, а системы с более простой структурой - по схемно-узловому принципу.

Функционально-узловой принцип конструирования нашел широкое распространение при разработке больших систем. Базовым элементом конструкции здесь является ТЭЗ. Имея необходимый набор ТЭЗ, можно построить целый ряд систем с различными техническими характеристиками.

Модульный принцип конструирования предполагает, что основные функциональные узлы аппаратуры взаимосвязаны с помощью одного канала. Чтобы установить связь с модулем-приемником, модуль-передатчик посылает нужный сигнал вместе с адресом по одной (или более) шине. Сигналы поступают на входы всех подключенных к каналу модулей, но отвечает только запрашиваемый.

Применяя этот принцип, можно построить систему с практически неограниченной производительностью и сложностью, сохраняя при этом гибкость в ее организации, так как разработчик использует ровно столько модулей, сколько ему требуется. Разработчик системы может также легко модернизировать конструкцию, меняя или добавляя отдельные модули и получая при этом необходимые параметры.

8.2. Стандартизация при модульном конструировании

Ускорение разработки и производства аппаратуры, увеличение ее серийности, снижение стоимости можно достигнуть унификацией, нормализацией и стандартизацией основных параметров и типоразмеров печатных плат, блоков, приборных корпусов, стоек, широким применением модульного принципа конструирования.

В основе стандартизации модулей и их несущих конструкций лежат типовые функции, свойственные многим электронным системам. Для использования при проектировании модульного принципа конструирования разработаны ведомственные нормалы и государственные стандарты, устанавливающие термины, определения, системы типовых конструкций модульных систем.

Конструкционная система должна представлять многоуровневое семейство модулей с оптимальным составом набора, обеспечивающим функциональную полноту при построении аппаратуры определенного назначения. Все модули системы должны быть совместимы между собой по конструктивным, электрическим и эксплуатационным параметрам.

Базовый принцип. Базовым называется принцип конструирования, при котором частные конструктивные решения реализуются на основе стандартных конструкций модулей или конструкционных систем модулей (базовых конструкций), разрешенных к применению в аппаратуре определенного класса, назначения и объектов установки.

При разработке базовых конструкций должны учитываться особенности современных и будущих разработок. При этом частные конструктивные решения обобщаются, а основные свойства и параметры закладываются в конструкции, которые стандартизуются, поставляются и рекомендуются для широкого применения.

Базовые конструкции не должны быть полностью конструктивно завершенными, необходимо предусматривать возможность их изменения для создания модификаций аппаратурных решений. Иерархическое построение базовых конструкций с гибкой структурой и числом уровней не более четырех является вполне достаточным для разработки РЭА любой сложности.

Каждый из элементов конструктивной иерархии характеризуется длиной L , высотой H и глубиной (шириной) B . В зависимости от назначения того или иного типа систем соотношение размеров определенных ее конструктивных частей может быть различным. Однако эти соотношения должны подчиняться определенным правилам и закономерностям, которые устанавливают соответствующие технические регламенты на определенный класс аппаратуры.

В конструкционных системах любого типа электронной аппаратуры основные размеры

L, H, B базовых конструкций устанавливаются соответствующими единому модулю. В каждом направлении развития размеров по координатам x(L), y(H), z(B) указанный модуль равен 2,5 мм. Он устанавливается в соответствии с шагом координатной сетки печатных плат и выводов элементов на печатной плате и передней панели по x(L), шагом выводов элементов и соединителей на функциональной печатной плате и на кроссплате по y(H) и z(B).

Единый размерный модуль обеспечивает компоновку различных изделий конструкционной системы как в пространстве, например в трех различных плоскостях комплектного корпуса или блока, так и на плоскости - на поверхности одноплатного изделия. Для каждого уровня базовых конструкций устанавливаются ряды размеров по L, H, B, каждый из которых взаимосвязан с рядами размеров других уровней с целью обеспечения конструктивной совместимости. Каждый последующий член ряда образуется приращением к предыдущему принятого значения модуля.

Для конкретного проектирования базовых конструкций из отдельных членов рядов составляются оптимальные типоразмеры, среди которых выделяются предпочтительные. Главным исходным требованием при выборе типоразмера является плотность компоновки, определяемая отношением числа активных элементов и корпусов ИС к площади (объему) изделия. Типоразмеры являются рабочим средством достижения сквозной совместимости изделий системы. Например, типоразмеры плат образуются с учетом стандартной установки их в соответствующий корпус, а типоразмеры корпусов, в свою очередь, устанавливаются с учетом осуществления взаимоприменений.

Модули нулевого уровня. На низшем нулевом уровне конструктивной иерархии РЭА находятся МС. По функциональному назначению МС делят на логические (цифровые), линейно-импульсные и линейные (аналоговые). Элементы электрической схемы полупроводниковых МС формируют в объеме или на поверхности полупроводникового материала (подложки). Формирование активных и пассивных элементов схемы производят введением концентраций примесей в различные части монокристаллической пластины. В зависимости от применяемых активных элементов полупроводниковые МС подразделяют на схемы с биполярными и униполярными структурами. В гибридных МС пассивную часть схемы выполняют в виде пленок, наносимых на поверхность диэлектрического материала (подложки), а активные элементы, имеющие самостоятельное конструктивное оформление, крепят к поверхности подложки.

Степень интеграции $K_{и}$ микросхемы определяется числом N содержащихся в ней элементарных схем: $K_{и} = [lgN] + 1$, где $[lgN]$ - целая часть lgN . Микросхема, содержащая до 10 элементарных схем, имеет первую степень интеграции (малая МС), до 100 схем - вторую (средняя МС), до 1000 схем - третью (БИС), свыше 1000 схем - сверхбольшую МС (СБИС).

Ряд функциональных микросхем, объединенных по виду технологии изготовления, напряжениям источников питания, входным и выходным сопротивлениям, уровням сигналов, конструктивному оформлению и способам монтажа, образуют серию МС. Обычно в серию МС входит такой набор функциональных микросхем, из которых можно построить законченное устройство. Существуют также серии специальных микросхем, предназначенных для работы в специфических условиях, или специального назначения.

Корпуса микросхем. По конструктивному оформлению МС делят на корпусные с выводами, корпусные без выводов и бескорпусные. Корпуса МС служат для защиты помещенных в них полупроводниковых кристаллов, подложек и электрических соединений от внешних воздействий. Корпуса микросхем бывают металлокерамическими, металлопластмассовыми, стеклянными, керамическими и пластмассовыми.

В первых трех разновидностях корпусов крышка выполняется металлической, а основание - стеклянным, керамическим или пластмассовым. Металлическая крышка обеспечивает эффективную влагозащиту при хорошем отводе теплоты от кристалла, снижает уровень помех. В пластмассовых и керамических корпусах крышку и основание выполняют из однородного материала. На корпус МС наносится маркировка в соответствии с ее условным

обозначением и выполняется нумерация выводов относительно ключа или метки. По форме тела корпуса и расположению выводов корпуса делят на типы и подтипы.

Для правильной установки МС на плату корпуса имеют ключ, расположенный в зоне первого вывода. Ключ делается визуальным в виде металлизированной метки, выемки или паза в корпусе, выступа на выводе и пр. В поперечном сечении выводы корпусов имеют круглую, квадратную или прямоугольную форму. Шаг между выводами составляет 0,625; 1,0; 1,25; 1,7 и 2,5 мм.

Каждый тип корпуса имеет достоинства и недостатки. Корпус с планарными выводами для установки и монтажа требует на печатной плате почти вдвое больше площади, чем тех же размеров корпус, но с ортогональным расположением выводов. Однако жесткие штыревые выводы с ортогональной ориентацией относительно основания позволяют устанавливать микросхемы на плату без дополнительной поддержки даже при жестких вибрационных и ударных нагрузках. Пластмассовые корпуса дешевы, обеспечивают хорошую защиту от механических воздействий, но хуже других типов корпусов защищают от климатических воздействий, перегрева.

Основной недостаток корпусных микросхем и построенных на них устройств - большой объем вспомогательных конструктивных элементов: корпусов, выводов, элементов герметизации, и т. п., не несущих функциональной нагрузки. Использование корпусных микросхем приводит к непроизводительно большим затратам полезного объема и массы устройства, уменьшает на один - два порядка плотность компоновки элементов по сравнению с плотностью их размещения в кристалле или на подложке.

Микросборки. Наивысшая плотность компоновки РЭА имеет место при использовании бескорпусных компонентов. Однако установка и монтаж последних на печатных платах не обеспечивает высокой плотности компоновки из-за низкой разрешающей способности монтажа. На сегодняшний день возможности печатного монтажа практически исчерпаны. Введение в конструкцию промежуточного элемента - подложки - устранит этот недостаток.

Бескорпусные активные компоненты фиксируются клеем на подложке, на которой методом тонко- или толсто пленочной технологии выполняются проводники, контактные площадки цепей входа и выхода, пленочные пассивные компоненты. Подобные конструкции называют микросборками. Микросборки представляют собой бескорпусные гибридные МС индивидуального применения. Интегральные микросхемы микросборок не обязательно должны быть согласованы по входу и выходу, это обеспечивается пассивными элементами схемы микросборки. В отличие от универсальных БИС, используемых в разнообразной аппаратуре, микросборки разрабатывают под конкретную аппаратуру для получения высоких показателей ее микроминиатюризации, уменьшения потерь полезного объема аппаратуры. Хотя разрешающая способность толсто пленочной технологии ниже тонко пленочной, в ней сравнительно легко удается реализовать многослойные конструкции и повысить плотность компоновки.

Материалом подложек микросборок могут быть некоторые виды стекол и керамики. Легкость получения гладких поверхностей и дешевизна являются основными преимуществами стекол. Однако низкая теплопроводность, препятствующая рассеиванию больших мощностей, хрупкость, трудность получения сложных форм подложек ограничивает их применение. Керамику отличает большая механическая прочность, лучшая теплопроводность, хорошая химическая стойкость, но и повышенная стоимость и относительно грубая поверхность.

В качестве материалов подложек используется ситалл (на основе стекла), поликор (керамика на основе окиси алюминия), гибкие полиамидные пленки. Размеры ситалловых подложек обычно не превышают 48x60 мм, поликоровых — 24x30 мм. Для увеличения механической жесткости и тепловой стойкости гибкие пленки чаще всего фиксируют на пластине из алюминиевого сплава. Максимальные размеры таких подложек составляют 100x100 мм, плотность разводки 5 линий/мм (минимальные ширина и зазоры между проводниками по 0,1 мм), шаг внутренних контактных площадок 0,3.. 0,5 мм, внешних —

0,625 мм.

Модули первого уровня. При конструировании модулей первого уровня выполняются следующие работы:

- Изучение функциональных схем с целью выявления одинаковых по назначению подсхем и унификации их структуры в пределах изделия, что приводит к уменьшению многообразия подсхем и номенклатуры различных типов ТЭЗ.

- Выбор серии микросхем, корпусов микросхем, дискретных радиоэлементов.
- Выбор единого максимально допустимого числа выводов соединителя для всех типов модулей. За основу принимают число внешних связей наиболее повторяющегося узла с учетом цепей питания и нулевого потенциала и до 10 % запаса контактов на возможную модификацию.

- Определение длины и ширины печатной платы. Ширина платы, как правило, кратна или равна длине соединителя с учетом полей установки и закрепления платы в модуле второго уровня. Требования по быстродействию и количество устанавливаемых на плату компонентов влияют на ее длину.

- Собственно конструирование печатных платы.
- Выбор способов защиты модуля от перегрева и внешних воздействий.

Широкое распространение получила плоская компоновка модуля, когда компоненты схемы устанавливают в плоскости платы с одной или двух сторон. Для плоской компоновки характерна малая высота установки компонентов по сравнению с длиной и шириной платы. Простота выполнения монтажных работ, легкость доступа к компонентам и монтажу, улучшенный тепловой режим являются основными преимуществами плоской компоновки. Если для внешней коммутации модуля вводится соединитель, то подобную конструкцию называют типовой элемент замены (ТЭЗ) (рис. 8.3). На печатную плату устанавливают микросхемы 4 и для исключения влияния на работу микросхем помех по электропитанию - развязывающие конденсаторы 5.

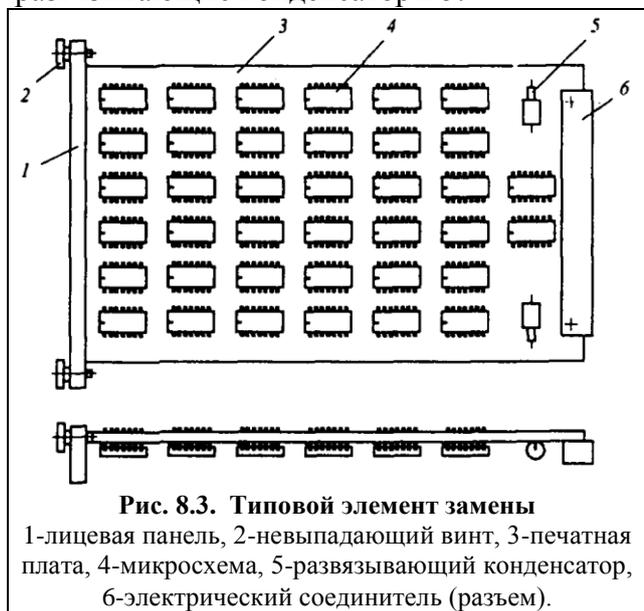


Рис. 8.3. Типовой элемент замены

1-лицевая панель, 2-невыпадающий винт, 3-печатная плата, 4-микросхема, 5-развязывающий конденсатор, 6-электрический соединитель (разъем).

Лицевая панель выполняет одновременно несколько функций. На ней располагают элементы индикации и управления, контрольные гнезда, иногда электрические соединители, которые взаимодействуют с платой проводным монтажом. На панели в резьбовые отверстия помещают невыпадающие винты 2, которыми ТЭЗ жестко фиксируется на несущей конструкции модуля второго уровня, наносится адрес, позволяющий отличить ТЭЗ среди подобных в наборе РЭА, а также предотвратить неправильную установку ТЭЗ.

Панель и электрический соединитель крепят к печатной плате винтовым или заклепочным соединением. В условиях жестких механических воздействий плату ТЭЗ

устанавливают на рамку, что увеличивает жесткость конструкции. При большом числе внешних цепей на ТЭЗ устанавливают несколько соединителей, располагающихся на одной или нескольких сторонах платы.

В блоках транспортируемой аппаратуры печатные платы модулей, как правило, закреплены жестко на несущей конструкции. Модули первого уровня взаимодействуют между собой приборными соединителями печатного монтажа, непосредственной подпайкой проводов к монтажным отверстиям плат, с использованием переходных штырьков и колодок.

Соединители обеспечивают быструю замену модулей и бывают прямого и косвенного сочленения. Вилка соединителя прямого сочленения является частью печатной платы с

печатными ламелями, розетка соединителя - открытого и закрытого исполнения. В розетках открытого исполнения прорезь для установки печатной платы открыта с концов, что позволяет устанавливать в нее различные по ширине платы. Розетки закрытого типа ограничены с концов торцевыми поверхностями и служат для установки плат фиксированной ширины. Взаимная ориентация модуля и розетки осуществляется перегородкой в розетке и пазом под эту перегородку в концевой части печатной платы. Фиксация модуля в розетке открытого исполнения производится за счет пружинящих контактов розетки, в розетке закрытого исполнения могут быть защелки на торцевых поверхностях соединителя. Расстояние между соседними печатными ламелями выбирается из ряда: 1,25; 2,5; 3,75 и 5 мм. Малое омическое сопротивление и высокая износостойкость контактной пары ламель - контакт розетки достигается покрытием медных поверхностей ламелей серебром, палладием, золотом, родием. Толщина покрытия варьируется в пределах 3-50 мкм.

При конструировании печатных плат необходимо решать задачи:

- выбор проводниковых и изоляционных материалов, формы и размеров печатных плат, способов установки компонентов;
- определение ширины, длины и толщины печатных проводников, расстояний между ними, диаметров монтажных и переходных отверстий, размеров контактных площадок;
- трассировка печатного монтажа.

Конструирование модулей уровней 2 и 3. К элементам уровней 2 и 3 конструктивной иерархии относятся панели, блоки, субблоки, шкафы, стойки. К ним можно отнести также тумбы, столы, корпуса частичные, комплексные и другие виды конструктивных элементов, характерные для тех или иных конструктивных систем.

Все они должны обеспечивать:

- 1) требуемую механическую жесткость и прочность;
- 2) удобство в сборке, наладке и эксплуатации;
- 3) оперативную замену вышедших из строя конструктивных элементов;
- 4) минимальный вес при сохранении требуемой жесткости; надежное закрепление конструктивных элементов;
- 5) максимальное использование унифицированных деталей и их взаимозаменяемость.

При разработке конструкции блоков, субблоков, панелей, стоек, и т. д. следует использовать такие конструкционные материалы и покрытия, которые отвечают предъявляемым требованиям по условиям эксплуатации.

Модули второго уровня. К модулям второго уровня относятся блоки различных видов, в том числе одноплатные бескаркасные приборы.

Несущей конструкцией одноплатного бескаркасного настольного прибора со встроенным блоком питания обычно является основание. Для придания жесткости в углах конструкции основания задается определенная форма и устанавливаются кронштейны для закрепления передней и задней панели, боковых стенок и крышки. Для закрепления модулей в основании прибора могут выполняться выдавки с отверстиями, в которые вставляют резьбовые втулки под винты.

На основание прибора устанавливают блок питания, все дополнительные устройства прибора, и объединительную плату электроники с соединителями для ТЭЗ и другими недостающими компонентами схемы прибора. В зарубежной литературе такую плату называют motherboard—материнской платой.

При конструировании блоков РЭА с достаточно большим количеством ТЭЗ применяют стеллажный, этажерочный и книжный варианты конструкций в форме параллелепипеда в негерметичном и герметичном исполнении.

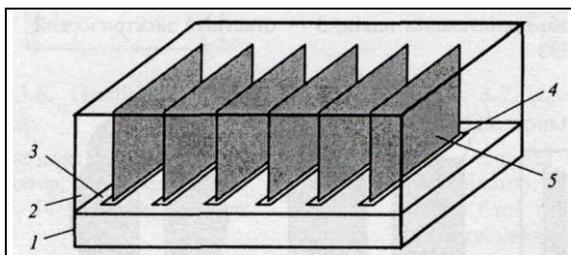


Рис. 8.4. Блоки стеллажного типа

1-каркас, 2-лицевая панель,
3-монтажная панель, 4-соединитель, 5-ТЭЗ.

Блоки стеллажного типа (рис. 8.4) компонуются из ТЭЗ, которые устанавливаются в один или несколько рядов перпендикулярно монтажной панели. Основным конструктивным элементом блока является каркас 1 с монтажной панелью и соединителями 4. Относительно лицевой панели монтажная панель может занимать как горизонтальное, так и вертикальное поперечное или продольное положение.

Блоки с защитными кожухами и крышками являются самостоятельными приборами и в таком виде эксплуатируются. На переднюю панель прибора настольного типа устанавливают элементы индикации, измерительные узлы, элементы управления, электрические соединители. Элементы управления и соединители, не требующие частого доступа, а также предохранители выносят на заднюю панель. При компоновке изделий необходимо обеспечить свободный доступ к электрическим соединителям монтажных панелей для контроля и к ТЭЗ для их замены. Если монтажная панель ориентирована горизонтально, то крышку и поддон прибора необходимо выполнять съемными, если вертикально - лицевую и заднюю панели нужно делать съемными или откидными.

Горизонтальное расположение монтажной панели затрудняет охлаждение блоков естественной конвекцией, поэтому их обычно используют в приборах настольного типа с низкой плотностью компоновки, либо совместно с вентиляторами, направляющими потоки охлаждающего воздуха вдоль каналов, образованными рядами плат расположенных по соседству ТЭЗ. При комплектации блоками рам и стоек шкафного типа в конструкции блоков не вводят кожухи или крышки. При значительной длине ТЭЗ блок с вертикальным расположением монтажной панели можно устанавливать непосредственно в стойку.

Конструктивное исполнение блоков разнообразно, но у всех блоков можно отметить наличие монтажной панели (шасси), каркаса, направляющих и элементов фиксации в модуле высшего уровня. На монтажных панелях выделяют центральную и периферийную зоны. В центральной зоне располагают ответные части соединителей ТЭЗ и направляющие, в периферийной - колодки или соединители внешней коммутации, жгуты, подводы напряжения питания и нулевого потенциала. Желательно ответные соединители ТЭЗ устанавливать на многослойную печатную плату. Однако в процессе отработки аппаратуры часто появляется необходимость во внесении изменений, которые проще всего выполнить проводным монтажом. Используется монтаж одиночным проводом, свитой парой, жгутовой монтаж. При использовании жгутов на монтажной панели блока предусматривают пазы или углубления, в которых жгуты размещают и закрепляют.

Направляющие вводятся в конструкции для быстрого сочленения ТЭЗ с ответными частями соединителей без заклинивания или перекоса, поддержки платы ТЭЗ при ударах и вибрациях, создания пути для кондуктивного отвода теплоты. Для входа и перемещения платы в направляющих по краям платы предусматривают свободную от печатного монтажа зону шириной 2-3 мм. Различают коллективные направляющие, предназначенные для установки одновременно нескольких ТЭЗ, и индивидуальные. В качестве конструкционных материалов направляющих используется пластмасса и металл. Тепловое сопротивление металлических направляющих ниже, чем пластмассовых, и зависит от конкретной конструкции.

Элементы крепления и фиксации должны исключить возможность выпадения ТЭЗ при воздействии ударов и вибраций. Предусматривается индивидуальное или групповое крепление ТЭЗ. Для индивидуального крепления рекомендуется использовать невыпадающие винты, защелки. В большинстве случаев групповое крепление осуществляется прижимной крышкой с наклеенной с внутренней стороны пористой прокладкой.

В блоках книжной конструкции механическое объединение печатных плат между собой и несущей конструкцией обеспечивается шарнирными узлами, позволяющими поворачивать

платы подобно страницам книги. Шарнирные узлы могут выполняться совместно с рамкой, индивидуально, на шарнирный узел может устанавливаться одна или несколько плат. В рабочем состоянии платы объединяют в пакет стяжными винтами. Электрические соединения выполняют объемными проводами или печатными жгутами.

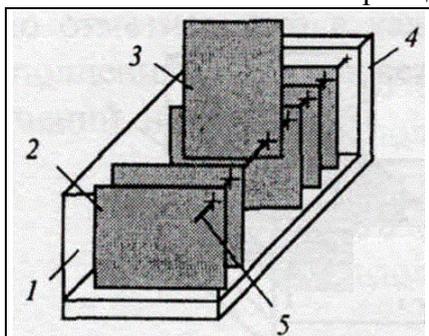


Рис. 8.5. Блок с откидными платами

1-кожух, 2-плата, 3-откинутая плата, 4-несущая конструкция, 5-ось шарнира.

В блоках с откидными платами (рис. 8.5) платы 2 механически объединяют между собой и с несущей конструкцией 4 подвижным соединением на оси 5, позволяющим обеспечивать откидывание любой платы и контроль этой платы в откинутом положении при функционировании блока. В рабочем состоянии платы объединяют в пакет и крепят к несущей конструкции. Электрические соединения выполняют объемными проводами, жгутами, соединителями. При разработке электроаппаратурной схемы блока необходимо предусмотреть подвижность монтажа, например, искусственным увеличением длины жгута для обеспечения откинутого положения платы. Возможны вертикальное и горизонтальное направление откидывания плат. В качестве недостатка этого вида компоновки следует отметить некоторое увеличение длины монтажных проводов.

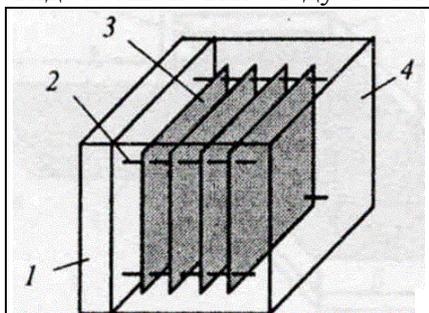


Рис. 8.6. Этажерчатая компоновка блока

1-установочная панель, 2-стяжной винт, 3-плата, 4-кожух.

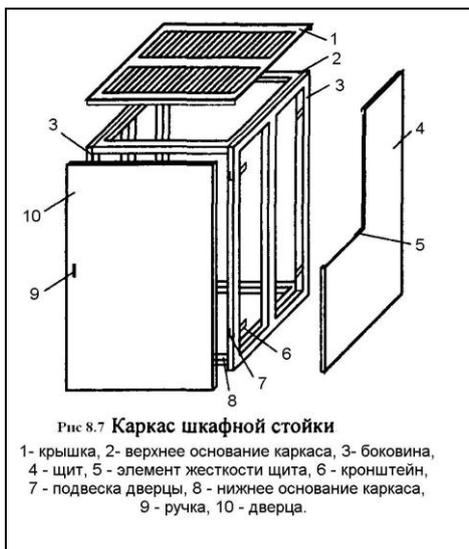
Этажерчатая компоновка блока (рис. 8.6) достигается параллельным объединением между собой плат 3 и установочной панели в единую конструкцию стяжными винтами 2. Нужный шаг установки между платами пакета обеспечивается введением в конструкцию распорных втулок. Несущей конструкцией блока является установочная панель. Возможны вертикальная и горизонтальная установка панели в модуле высшего уровня. На выбор способа ориентации панели влияет конструкция, тепловой режим блока, характер и направление внешних механических воздействий. Межплатные электрические соединения в блоке осуществляют жгутовым монтажом, фиксированным паяным, разъемными соединениями. Внешние соединители должны

устанавливаться на несущей конструкции блока 1. Преимуществом компоновки является простота конструкции, недостатком - низкая ремонтопригодность.

Ориентация и расстояния между платами ТЭЗ зависят от технических требований на аппаратуру, теплового режима, характера и направлений внешних воздействий. Выбор варианта конструкции диктуется производственными и техническими требованиями. Производственные условия рекомендуют применять однотипные конструкции ТЭЗ, элементов несущих конструкций, фиксации, крепления, монтажа.

В герметичные корпуса блоков устанавливают один или несколько пакетов модулей первого уровня, особо чувствительных к влиянию условий эксплуатации. Компактные герметичные блоки могут размещаться в любом месте объекта эксплуатации, что является преимуществом подобной компоновки, но при этом возрастают длины электрических соединений между блоками. Необходимо отметить, что в каждом конкретном случае выбор конструктивного исполнения блока решается комплексно и с учетом ограничений, накладываемых объектом эксплуатации.

Модули третьего уровня. Модуль третьего уровня конструктивной иерархии - стойка, шкаф - предназначен для установки и коммутации блоков или рам (объединенных конструктивно блоков) и обеспечения их работоспособности в составе РЭА.



Конструктивной основой любой стойки является каркас, обычно изготавливаемый из стального уголкового профиля или труб прямоугольного или квадратного сечений. На рис. 8.7 представлен каркас шкафной стойки, который собирается из двух боковин 3, нижнего 8 и верхнего 2 оснований каркаса. Боковины и основания сварены из труб и в единую конструкцию объединяются болтовым соединением. Для этого в трубы боковин и оснований в местах болтовых соединений помещаются вкладыши, имеющие форму и размеры поперечного сечения отверстий труб. Вкладыши обеспечивают требуемую жесткость соединения и предохраняют от сминания трубы при завинчивании болтов деталей каркаса. Чаще всего каркас стойки выполняется цельносварным.

На каркасе закрепляется крышка 1 с вентиляционными отверстиями, два боковых щита 4 и подвешиваются дверцы 10. Для придания жесткости с внутренней стороны поверхности щита и дверцы приваривается элемент жесткости 5, проходящий по всей высоте дверцы и щита. Щит 4 к боковине каркаса 3 закрепляется с внутренней стороны стойки винтовым соединением. Для этого по периметру боковин 3 каркаса приваривают кронштейны 6, и, напротив, в соответствующих местах щита - скобы с отверстиями под резьбу. Щит подтягивается к каркасу и фиксируется по всей плоскости боковины 3. Дверцы 10 подвешиваются на петлях к подвескам 7 и имеют кнопку-ручку 9, при нажатии на которую защелка выходит из фиксируемого положения и под действием отжимной пружины свободный край дверцы отходит от каркаса. К использованию магнитных защелок нужно подходить осторожно, так как при этом неизбежно появление магнитных полей и возможно их влияние на работающую аппаратуру.

Дверцы и щиты должны плотно прилегать к каркасу без щелей, через которые происходит утечка охлаждающего воздуха, а внутрь стойки проникает пыль, внешние электрические, магнитные и электромагнитные поля. По требованиям техники безопасности, а также из соображений экранирования стойки электрическое сопротивление между деталями каркаса, дверцами и щитами должно быть минимальным. Для этого детали каркаса, щиты, дверцы электрически объединяют оплеткой экранированного проводника с контактными лепестками «под винтовое соединение». На детали каркаса привариваются бобышки, на щиты и дверцы - скобы. В бобышках и скобах нарезают резьбовые отверстия, и устанавливают контактные лепестки оплетки.

Блоки в стойке коммутируют жгутом, закрепляемым на монтажной панели стойки. Этот же жгут подводит сигнальные цепи к соединителям внешней коммутации, размещаемым на боковых поверхностях или поддоне стойки.

Компоновка стоек вставными съемными блоками широко используется при конструировании транспортируемой (бортовой) аппаратуры и стоек электропитания. Внешняя коммутация блоков осуществляется приборными или приборно-кабельными соединителями, обеспечивающими быструю замену блоков. Введение приборно-кабельного соединителя обеспечивает работу РЭА при частично выдвинутом или удаленном из стойки для контроля блоке, но приводит к увеличению длин соединений и, как следствие, понижению быстродействия.

Установка на блок приборного соединителя не удлиняет соединений, но для проверки его работоспособности в составе стойки требуется ее отключение, установка блока в переходное устройство, искусственно смещающее ответный соединитель монтажной панели к лицевым панелям блока, включение аппаратуры и собственно контроль. Подобные действия увеличивают время подготовки для выполнения операций контроля, а введение переходного устройства может привести к искажению сигналов.

При использовании приборно-кабельных соединителей приборная часть соединителя устанавливается на тыльную сторону блока, блок вставляется и фиксируется в стойке. В

стойке отсутствует монтажная панель, а коммутация блоков обеспечивается кабелями, закрепляемыми в пазах стойки на стороне, противоположной лицевым панелям блоков. Ответные части кабельных соединителей вставляются в приборные блоки и фиксируются на блоках.

Часто в одной и той же стойке размещаются неразъемные и разъемные вставные блоки. Первые, как правило, осуществляют обработку информации, а вторые — охлаждение и снабжение электропитанием блоков обработки информации.

Шкафная стойка рамной конструкции komponуется из блоков, глубина которых во много раз меньше глубины каркаса стойки. В этом случае блоки устанавливаются в промежуточную конструкцию — раму. В стойке размещают вертикально несколько рам. Количество рам зависит от глубины стойки и рамы. Глубина рамы несколько больше глубины устанавливаемых в стойку блоков (с учетом объема межблочной коммутации). В единую конструкцию рамы объединяются каркасом стойки.

В двухрамной стойке для доступа к монтажным сторонам и лицевым панелям блоков одна или обе рамы выполняют поворачивающиеся вокруг оси подвески. При открытых дверцах и рамах, находящихся в рабочем выдвинутом состоянии, рамы ориентируют монтажными сторонами наружу, что позволяет контролировать сигнальные цепи блоков рамы контрольно-измерительной аппаратурой.

Коммутацию в стойке рам между собой удобно выполнять плоским объемным или печатным жгутом. Для этой цели со стороны подвески рам на боковой поверхности устанавливают соединители внешней коммутации. Эти же соединители на неподвижной раме можно использовать для межстоечной коммутации.

Контрольные вопросы:

1. Что такое модуль?
2. Модульный принцип конструирования?
3. Уровни конструктивной иерархии?
4. Модули нулевого уровня?
5. Модули первого уровня?
6. Модули второго уровня?
7. Блоки стеллажного типа?
8. Блоки книжной конструкции?
9. Этажерочная компоновка блока?
10. Модули третьего уровня?

Лекция №9

Припой. Флюсы. Общие сведения

План:

1. Припой и флюсы. Общие сведения.
2. Классификация припоев.

Ключевые слова:

Припой, флюсы, олово, сплав олова и свинца, ПОС-61, канифоль, самофлюсующие припой, композиционные припой, низкотемпературные припой, высокотемпературные припой, пластинчатые припой.

8.1. Припой и флюсы. Общие сведения.

Припоями называют легкоплавкие металлические сплавы, с помощью которых проводят пайку. Качество паяного соединения наряду с другими факторами зависит от используемого припоя, к которому предъявляют следующие требования:

- температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления спаиваемых материалов;
- припой должен обладать хорошей жидкотекучестью, смачивать поверхности соединяемых материалов, растекаться по ним, проникать в узкие зазоры;
- за счет растворно-диффузных процессов припой должен образовывать с соединяемыми материалами сплав, обеспечивающий прочную связь в зоне спаев;
- коррозионная стойкость припоя, паяных швов и паяемого материала должна быть примерно одинакова во избежание образования микрогальванических пар (электрокоррозии);
- температурный коэффициент плавления припоя и соединяемых материалов должны быть максимально близки 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 ряд специфических требований, например, по электропроводности, теплопроводности, коррозионной стойкости в специфических средах, деформации в горячем и холодном состояниях и др.

Иногда для пайки при монтаже электронной аппаратуры применяют чистое олово. Оловянная палочка имеет светлую серебристо-матовую поверхность и при изгибе или сжатии плоскогубцами хрустит. Но чистое олово сравнительно дорого. Для монтажа электронной аппаратуры обычно используют припой ПОС-40 или ПОС-61, представляющие собой сплав олова и свинца. Цифры в марках припоя указывают процентное содержание в них олова. В припое ПОС-61, например, содержится 39% свинца и 61% олова. С виду припой похожи на чистое олово, но менее светлые – матовые.

Чем больше в припое свинца, тем он темнее. Однако по прочности пайки оловянно-свинцовый припой не уступает чистому олову. Плавиться он при температуре 180-200 °С.

Кроме припоев при монтаже также используют флюсы. Флюсами называют вещества, которые применяют для того, чтобы подготовленные к пайке места деталей не окислялись во время прогрева их паяльником. Без флюса припой не будет «прилипать» к поверхности металла.

Флюсы бывают разные. При ремонте металлической посуды и другого домашнего инвентаря применяют «паяльную кислоту». Это раствор цинка в соляной кислоте. Для монтажа электронной аппаратуры такой флюс совершенно не пригоден, так как при прикосновении к нему паяльника он разбрызгивается, загрязняет монтаж и со временем

разрушает соединения, мелкие детали. Даже небольшая капля кислоты, попавшая на тонкий обмоточный провод, со временем разъедает его.

Для радиомонтажа пригодны только такие флюсы, в которых совершенно нет кислоты. Одним из таких флюсов является канифоль. При пайке в легкодоступных местах используется кусковая канифоль. При пайке в труднодоступных местах используют густой раствор канифоли в спирте или ацетоне.

8.2. Классификация припоев.

Припой классифицируются по следующим признакам:

- по химическому составу – медные, серебряные, золотые, палладиевые, платиновые, никелевые, железные, марганцевые, магниевые, оловянно-свинцовые, индиевые, цинковые, кадмиевые, висмутовые, галлиевые, титановые и т.д.

- по технологическим свойствам – самофлюсующие, которые имеют лучшие технологические свойства за счет частичного удаления припоем окислов с паяемой поверхности, и композиционные – состоящие из смеси тугоплавких и легкоплавких порошков, позволяющих производить пайку узлов с большими зазорами;

- по содержанию активизирующих компонентов (титана, циркония и др.) повышающих смачиваемость припоем окисленных поверхностей паяных материалов;

- по температуре плавления – к низкотемпературным припоям относят припой с $T_{пл} \leq 450$ °С, к высокотемпературным – с $T_{пл} > 450$ °С. Низкотемпературные припои выплавляют на основе олова, висмута, кадмия, свинца, цинка, индия. Высокотемпературные припои в основе имеют медь, серебро, никель, кобальт, железо, алюминий и др.;

- по – сортаменту – пластинчатые припои изготавливают в виде полос, фольги, проволоки; хрупкие – в виде литых прутков, отливок, порошка, паст. Применяют также припои в виде стружки, сетки, колец, брикетов. Для удобства использования оловянно-свинцовых припоев и повышения производительности труда последние иногда изготавливают в виде трубок, заполненных флюсом, или пастой.

Высокотемпературные хрупкие припои изготавливают в виде порошка, паст и эластичных лент на органической связке.

Дополнение к лекции №8

Пайка. Надежность электрических контактов между проводниками и деталями и прочность монтажа в целом определяется качеством пайки.

Основным инструментом для пайки служит паяльник – стержень или кусок красной меди, нагреваемый до температуры плавления припоя. Конец стержня зачищен наподобие клина – это рабочая часть или жало паяльника. При монтаже электронной аппаратуры используют электрический паяльник. Стержень электрического паяльника вставлен в металлическую трубку. Трубка обернута слюдой или стеклотканью. Поверх этого изоляционного слоя намотана нихромовая проволока – это нагревательный элемент паяльника. Сверху он защищен слоем асбеста и металлическим кожухом. На другой конец трубки насажена деревянная или пластмассовая ручка. При помощи вилки на шнуре, соединенном с нагревательным элементом, паяльник включают в штепсельную розетку электросети. Электрический ток раскаляет проволоку, а проволока отдает тепло медному стержню и нагревает его.

Промышленностью выпускаются несколько типов паяльников, рассчитанных в основном на напряжение 127 и 220 В. Значение напряжения, на которое рассчитан паяльник, и мощность тока, потребляемая им, выштампованы на его металлическом кожухе. Лучше и безопаснее пользоваться паяльником типа ПСН 25-36 В, рассчитанным на напряжение 25-36 В. Но для его питания понадобится понижающий трансформатор. На рис. 8.1 показаны две наиболее распространенные конструкции электрических паяльников. Один из них (рис 8.1, а) имеет два смежных стержня: Г - образный и прямой. При работе в трубку нагревательного элемента вставляют тот стержень, которым удобнее работать. У второго паяльника (рис. 8.1, б) стержень прямой и более тонкий по сравнению с первым, который тоже можно заменять. Но основное различие между паяльниками заключается не только в их стержнях: первый паяльник более мощный (80-100 Вт) и предназначен в основном для радиомонтажа.

В тех случаях, когда пайка производится в труднодоступных местах, а также при пайке мелких деталей, выводов малогабаритных транзисторов и интегральных микросхем пользуются насадкой (рис. 8.1, в) – спиралью из луженой медной проволоки, диаметром 1,5-2 мм, надеваемой на жало паяльника. Пайку мелких деталей осуществляют кончиком насадки, нагреваемой стержнем паяльника.

Рекомендуется для паяльника сделать подставку, а припой и канифоль держать в баночке из алюминия.

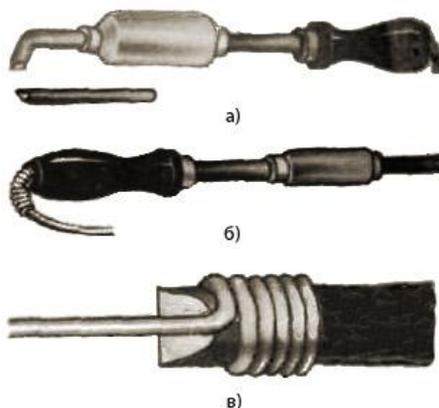


Рисунок 9.1. Электрические паяльники и насадка для пайки мелких деталей

Пайку необходимо производить аккуратно и соблюдать при этом чистоту. Недостаточно прогретый паяльник превращает припой в кашу, которой паять нельзя. Признаком достаточного прогрева паяльника является вскипание канифоли и обильное выделение пара при соприкосновении с паяльником. Нормально нагретое жало паяльника хорошо плавит припой и не покрывается окислами.

Рабочий конец паяльника должен быть всегда прогретым и хорошо залужен – покрыт тонким слоем припоя. Залуживают паяльник так: его разогревают, зачищают жало напильником или наждачной бумагой, опускают в канифоль и прикасаются им к кусочку припоя. Если припой не пристает даже к хорошо прогретому жалу, его нужно еще раз зачистить и вновь залудить.

Места проводников или деталей, предназначенных для спайки, должны быть зачищены и залужены. Залуживание проводников делается так: зачищенным проводником коснуться канифоли и хорошо прогреть его паяльником. Канифоль, расплавляясь, покрывает поверхность проводника, и припой, имеющийся на паяльнике, растекается по нему.

Чтобы спаять залуженные проводники или детали, их надо плотно прижать друг к другу и к месту их соприкосновения приложить паяльник с капелькой припоя, нависшей на жале. Как только место пайки прогреется, припой растечется и заполнит промежуток между деталями. Плавным движением паяльника припой равномерно распределяется по всему месту спайки, а излишек удаляется паяльником.

Если невозможно залудить поверхность спаиваемых деталей отдельно, их надо плотно прижать, смазать место соприкосновения жидким канифольным флюсом (или поднести к нему кусочек канифоли) и прогреть паяльником, предварительно взяв на него припой. Детали прогреваются до тех пор, пока припой не растечется по всему месту спайки. Припой должен тонким слоем облить место спайки со всех сторон.

Контрольные вопросы:

1. Что такое припой?
2. Назначение припоя?
3. Требования, предъявляемые к припоям?
4. Какой припой лучше, ПОС-40 или ПОС-61?
5. Что значит в маркировке припоя ПОС-40 число 40?
6. Что такое флюс?
7. Назначение флюса?
8. Чем отличается «паяльная кислота» от канифоли?
9. Классификация припоев?
10. Как припои классифицируются по температуре плавления?

Список литературы

1. К.С. Петров. Пассивные компоненты радиоэлектронной аппаратуры. Учебное пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций, 2001 г.
2. П.И. Четверкова, В.М. Терехова. Резисторы. М.: Радио и связь, 1987 г.
3. В.Г. Гусев, В.М. Гусев. Электроника. М.: Высшая школа, 1982 г.
4. Г.Д. Фрумкин. Расчет и конструирование РЭА. М.: Высшая школа, 1985 г.
5. Ю.В. Зайцев и др. Полупроводниковые резисторы в электротехнике. М.: Энергоиздат, 1991 г.
6. Давыдов А.В. Модульный принцип конструирования РЭА. Курс лекций. Уральский государственный горный университет. 2002 г.
7. Справочник по пайке
8. В.Г. Борисов. Юный радиолюбитель. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986 г.

Дополнительная литература:

1. В.Н. Никулин, А.С. Назаров. Радиоматериалы и радиокомпоненты. М.: Высшая школа, 1986 г.
2. В.А. Прянишников. СПб.: Корона Принт, 2003 г.
3. А.Тожибоев, К.П. Шин. Электрон курилмалар ишончлиги. Конспект лекций. Ф.: ФерПИ, 2005 г.
4. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя. В.П. Боровский, В.И. Костенко, В.М. Михайленко, О.Н. Партала; Под ред. В.П. Боровского – К.: Техніка, 1987 г.

Приложение
Приложение №1. Номиналы конденсаторов и резисторов.

| Номинальные ёмкости неэлектрических конденсаторов и номинальные сопротивления резисторов | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|-----|----|--|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Микрофарады | | | | | Пикофарады, нанофарады (тысяча пФ), омы, килоомы, мегаомы. | | | | | | | | |
| 0,0 | 0, | 0, | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 010 | 10 | ,0 | 0 | ,0 | ,0 | ,0 | 0 | 0 | 0 | 00 | 00 | 00 |
| | | | | | | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| | | | | | | | ,1 | | | 1 | | | 10 |
| | 0, | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| | 012 | | | | | ,2 | ,2 | | 2 | 2 | | 20 | 20 |
| | | | | | | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| | | | | | | | ,3 | | | 3 | | | 30 |
| 0,0 | 0, | 0, | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 015 | 15 | ,5 | 5 | ,5 | ,5 | ,5 | 5 | 5 | 5 | 50 | 50 | 50 |
| | | | | | | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| | | | | | | | ,6 | | | 6 | | | 60 |
| | 0, | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| | 018 | | | | | ,8 | ,8 | | 8 | 8 | | 80 | 80 |
| | | | | | | | 2 | | | 2 | | | 2 |
| | | | | | | | ,0 | | | 0 | | | 00 |
| 0,0 | 0, | 0, | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 22 | 022 | 22 | ,2 | 2 | ,2 | ,2 | ,2 | 2 | 2 | 2 | 20 | 20 | 20 |
| | | | | | | | 2 | | | 2 | | | 2 |
| | | | | | | | ,4 | | | 4 | | | 40 |
| | 0, | | | | | 2 | 2 | | 2 | 2 | | 2 | 2 |
| | 027 | | | | | ,7 | ,7 | | 7 | 7 | | 70 | 70 |
| | | | | | | | 3 | | | 3 | | | 3 |
| | | | | | | | ,0 | | | 0 | | | 00 |
| 0,0 | 0, | 0, | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 33 | 033 | 33 | ,3 | 3 | ,3 | ,3 | ,3 | 3 | 3 | 3 | 30 | 30 | 30 |
| | | | | | | | 3 | | | 3 | | | 3 |
| | | | | | | | ,6 | | | 6 | | | 60 |
| | 0, | | | | | 3 | 3 | | 3 | 3 | | 3 | 3 |
| | 039 | | | | | ,9 | ,9 | | 9 | 9 | | 90 | 90 |
| | | | | | | | 4,3 | | | 43 | | | 430 |
| 0,047 | 0,047 | 0,47 | 4,7 | 47 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 47 | 47 | 47 | 470 | 470 | 470 |
| | | | | | | | 5,1 | | | 51 | | | 510 |
| | 0,056 | | | | | | 5,6 | | 56 | 56 | | 560 | 560 |
| | | | | | | | 6,2 | | | 62 | | | 620 |
| 0,068 | 0,068 | 0,68 | 6,8 | 68 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 68 | 68 | 68 | 680 | 680 | 680 |
| | | | | | | | 7,5 | | | 75 | | | 750 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 0,082 | | | | | 8,2 | 8,2 | | 82 | 82 | | 820 | 820 |
| | | | | | | | 9,1 | | | 91 | | | 910 |
| Допустимые отклонения от номинальных значений | | | | | | | | | | | | | |
| $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ | $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ и $\pm 5\%$ |

Приложение №2. Основные параметры ленточных магнитопроводов ШЛ (сталь 3424 толщиной 0,08, f = 400 Гц), ШЛМ и ПЛМ (сталь 3413 толщиной 0,35 мм, f =50Гц)

| Тип Магнитопровода | Размеры магнитопровода | | | | Поперечное сечение магнитопроводов S _с , см ² | Длина магнитной силовой линии l _с , см | Вес магнито провода G _с , Г | Ширина обмотки l, мм | Толщина гильзы □ _г , мм | Внешний Периметр Сечения Гильзы M, мм | Суммарная мощность со вторичных обмоток, Вт | | Тепловое сопротивление катушки R _{тк} , град /Вт | Тепловое сопротивление границы магнито провод - воздух R _{тмв} , Град\Вт | Тепловое сопротивление трансформатора R _т , Град\Вт | Конструктивная постоянная A : 10 ⁵ |
|--|------------------------|-------|-------|------------------------|---|---|--|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|---|---|--|---|
| | a, мм с, мм | c, мм | h, мм | b, мм | | | | | | | f=50 Гц | f=400Гц | | | | |
| ШЛ 6×6,5 ШЛ 6×12,5 | 3 | 6 | 15 | 6,5 12,5 | 0,33 0,64 | 5,1 | 13 25 | 12 | 0,7 | 30,6 42,6 | 4 10 | 120 119 | 46 29 | 108 90 | 1,97 2,96 | |
| ШЛ 8×8 ШЛ 8×10 ШЛ 8×12,5 ШЛ 8×16 | 4 | 8 | 20 | 8 10 12,5 16 | 0,54 0,68 0,85 1,09 | 6,8 | 29 36 45 57 | 17 | 0,7 | 37,6 41,6 46,6 53,6 | 12 15 20 24 | 72 71 71 70 | 30 26 22 17 | 67 63 59 54 | 3,4 3,95 4,55 5,07 | |
| ШЛ 10×10 ШЛ 10×12,5 ШЛ 10×16 ШЛ 10×20 | 5 | 10 | 25 | 10 12,5 16 20 | 0,85 1,06 1,36 1,7 | 8,6 | 57 71 90 114 | 22 | 0,8 | 46,4 51,4 58,4 66,4 | 33 42 47 56 | 47 47 47 46 | 20 18 15 13 | 41 39 36 33 | 6,5 6,6 7,7 8,8 | |
| ШЛ 12×12,5 ШЛ 12×16 ШЛ 12×20 ШЛ 12×25 | 6 | 12 | 30 | 12,5 16 20 25 | 1,17 1,ю63 2,04 2,55 | 10,3 | 100 130 165 200 | 27 | 0,8 | 55,4 62,4 70,4 80,4 | 67 80 94 112 | 34 34 33 33 | 14 13 11 9 | 33 31 29 27 | 8,8 9,9 11,5 13,1 | |
| ШЛ 16×16 ШЛ 16×20 ШЛ 16×25 | 8 | 16 | 40 | 16 20 25 32 | 2,18 2,72 3,4 4,35 | 13,6 | 228 295 370 470 | 37 | 0,8 | 70,4 78,4 88,4 102,4 | 150 180 230 270 | 28 27 27 27 | 9 8 7 6 | 25 24 23 22 | 16,5 19,2 22,2 25,8 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|----|------|----|------|-------|------|------|-----|-----|------|------|----|----|-----|------|---|--|
| ШЛ 16×32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ШЛ 20×20 | 10 | 20 | 50 | 20 | 3,4 | 17,1 | 460 | 47 | 1,0 | 88 | | 290 | 23 | 6 | 19 | 26,7 | | |
| ШЛ 20×25 | | | | 25 | 4,25 | | 575 | | | 98 | | 360 | 22 | 5 | 18 | 31,4 | | |
| ШЛ 20×32 | | | | 32 | 5,44 | | 735 | | | 112 | | 440 | 22 | 4 | 17 | 36,5 | | |
| ШЛ 20×40 | | | | 40 | 6,8 | | 920 | | | 128 | | 500 | 21 | 4 | 16 | 42,3 | | |
| ШЛ 25×25 | 12,5 | 25 | 62,5 | 25 | 5,3 | 21,3 | 900 | 59,5 | 1,5 | 112 | | 620 | 17 | 4 | 14 | 43,7 | | |
| ШЛ 25×32 | | | | 32 | 6,8 | | 1150 | | | 126 | | 720 | 16 | 3 | 13 | 52,2 | | |
| ШЛ 25×40 | | | | 40 | 8,5 | | 1440 | | | 142 | | 930 | 15 | 3 | 12 | 59,6 | | |
| ШЛ 25×50 | | | | 50 | 10 | | 1800 | | | 162 | | 1000 | 15 | 2 | 11 | 70,6 | | |
| ШЛ 20×16 | 10 | 12 | 36 | 16 | 2,98 | 12,7 | 289 | 33 | 1,0 | 80 | 9 | | | 8 | 26 | | | |
| ШЛ 20×20 | | | | 20 | 3,72 | | 362 | | | 88 | 15 | | | 7 | 24 | | | |
| ШЛ 20×25 | | | | 25 | 4,65 | | 454 | | | 98 | 22 | | | 6 | 23 | | | |
| ШЛ 20×32 | | | | 32 | 5,95 | | 580 | | | 112 | 34 | | | 5 | 22 | | | |
| ШЛ 25×25 | 12,5 | 15 | 45 | 25 | 5,81 | 15,9 | 708 | 42 | 1,5 | 112 | 60 | | | 5 | 17 | | | |
| ШЛ 25×32 | | | | 32 | 7,44 | | 905 | | | 126 | 70 | | | 4 | 16 | | | |
| ШЛ 25×40 | | | | 40 | 9,3 | | 1130 | | | 142 | 86 | | | 4 | 15 | | | |
| ПЛМ 20×32×46 | 20 | 19 | 46 | 32 | 6,3 | 19,9 | 955 | 43 | 1,5 | 120 | 100 | | | 5 | 10 | | | |
| ПЛМ 20×32×58 | | | 58 | | | | 22,3 | | | | 1120 | | | 55 | 124 | 9 | | |
| ПЛМ 25×40×36 | 25 | 24 | 36 | 40 | 9,8 | 20,5 | 1570 | 32 | 2 | 150 | 150 | | | 3 | 9 | | | |
| ПЛМ 25×40×66 | | | 46 | | | | 22,8 | | | | 1750 | | | | 42 | 190 | 8 | |
| ПЛМ 25×40×58 | | | 58 | | | | 24,9 | | | | 1910 | | | | 54 | 220 | 7 | |
| ПЛМ 25×40×73 | | | 73 | | | | 28,2 | | | | 2160 | | | | 69 | 270 | 6 | |
| ПЛМ 32×50×46 | 32 | 30 | 46 | 50 | 15,8 | 254,9 | 3140 | 42 | 2,5 | 188 | 330 | | | | 7 | | | |
| ПЛМ 32×50×56 | | | 58 | | | 28,4 | 3420 | | | | 54 | | | | 390 | 5 | | |
| ПЛМ 32×50×73 | | | 73 | | | 31,3 | 3800 | | | | 69 | | | | 490 | 5 | | |
| ПЛМ 32×50×90 | | | 90 | | | 34,7 | 4200 | | | | 86 | | | | 580 | 4 | | |

Приложение №3. Характеристика припоев для пайки алюминия.

| Припой | Компоненты, % | Температура, °С | Применение |
|--------|--|-----------------|------------------------------|
| ВПТ-3 | Медь, 25; кремний, 6; алюминий, 69 | 530 | Для пайки алюминия и сплавов |
| 34-А | Медь, 28; кремний, 6; алюминий, 66 | 530 | То же |
| ПА-2 | Медь, 20; кремний, 8; алюминий, 72 | 530 | » |
| — | Медь, 29,5; кремний, 5,5; алюминий, 65 | 525 | » |
| А | Медь, 2; цинк, 58; олово, 40 | 425 | » |
| ВПТ-4 | Алюминий, 55; кремний, 5; цинк, 40 | 400 | » |
| ЦО-12 | Цинк, 12; олово, 88 | 400 | Для пайки меди с алюминием |
| — | Цинк, 24; олово, 60; кадмий, 16 | Мягкий припой | Для пайки алюминия и сплавов |
| — | Цинк, 40; олово, 35; кадмий, 25 | 275 | То же |
| — | Цинк, 25; олово, 55; кадмий, 20 | Мягкий припой | » |
| — | Цинк, 40; олово, 40; кадмий, 20 | То же | » |
| — | Цинк, 36; олово, 63; кадмий, 1 | » | » |
| — | Цинк, 50; олово, 45; алюминий, 5 | » | » |
| — | Цинк, 25; олово, 73; кадмий, 2 | » | » |

Приложение №4. Характеристики твёрдых припоев.

| Припой | Компоненты, % | Температура плавления, °С | Применение |
|------------------|---|---------------------------|---|
| ПМЦ-65 | Медь, 65; цинк, 35 | 980 | Пайка железа и стали Плохая затекаемость и невосприимчивость к ударным нагрузкам |
| ПМЦ-54 | Медь, 54; цинк, 46 | 970 | |
| ПМЦ-36 | Медь, 36; цинк, 64 | 950 | |
| ПМЦ-47 | Медь, 47; цинк, 53 | 850 | Латунь с содержанием меди 60—68 % |
| ПМЦ-42 | Медь, 42; цинк, 58 | 840 | |
| ПСр-10 | Медь, 53; цинк, 37; серебро, 10 | 830 | Латунь с содержанием меди 58 % |
| ПСр-12 | Медь, 36; цинк, 52; серебро, 12 | 825 | |
| ПСр-25 | Медь, 40; цинк, 35; серебро, 25 | 800 | Стали хромистые, нержавеющие; пайка прочная |
| ПСр-45 | Медь, 30; цинк, 25; серебро, 45 | 780 | |
| ПСр-70 | Медь, 26; цинк, 4; серебро, 70 | 755 | Контакты, токопроводы |
| — | Медь, 45; цинк, 30; серебро, 20; кадмий, 5 | 780 | Медь, сталь, никель |
| — | Медь, 28; серебро, 72 | 780 | » » » |
| ПСр-65 | Медь, 20; цинк, 15; серебро, 65 | 740 | Провода, контакты |
| — | Медь, 80; серебро, 15; фосфор, 5 | 640 | Медь |
| — | Медь, 15,5; серебро, 50; цинк, 16,5; кадмий, 18 | 630 | Легкоплавкая медь, сталь, никель |
| ВЭИ | Серебро, 1,5; олово, 55; цинк, 43,5 | 500 | Латунь, луженое железо |
| Фосфористая медь | | | |
| МФ-2 | — | 700 | Медь, сталь |
| МФ-3 | — | 700 | |

Приложение №5. Состав и характеристики флюсов.

| Флюс | Состав, % | Что паяется и какими припоями | Примечание |
|----------------------------|---|--|--------------------------------------|
| Канифоль светлая | — | Соединения из меди, латуни и бронзы | Остатки флюса смыть спиртом |
| Флюс КЭ | Канифоль, 15; этиловый спирт, 85 | То же | То же |
| Глицерино-канифольный флюс | Канифоль, 6; глицерин, 16; спирт (денатурат), 78 | » | » |
| Флюс ФИМ | Ортофосфорная кислота (уд. вес 1,7), 16; спирт 3,7; вода дистиллированная, 80,3 | Грубая пайка черных металлов и медных сплавов | Промыть теплой водой |
| Флюс КЭЦ | Канифоль, 24; хлористый цинк, 1; спирт, 75 | Черные, цветные металлы и золото | Промыть спиртом |
| Флюс-паста | Канифоль, 16; хлористый цинк, 4; вазелин, 80 | Черные и цветные металлы повышенной прочности | Промыть спиртом |
| — | Канифоль, 28; спирт, 71,5; химически чистый глицерин, 0,5 | Медь и сплавы, сталь, блестящая пайка припоем ПОС-61 | Остатки флюса удалить |
| Флюс-паста | Оливковое масло, 50; канифоль, 34; хлористый цинк, 16 | Алюминий, мягкие припой | Промыть горячей водой |
| Флюс 34-А | Фтористый калий (натрий), 10; хлористый цинк, 8; хлористый литий, 32; хлористый калий, 50 | Алюминий и сплавы, припой 34-А | Остатки флюса смыть водой немедленно |
| Паяльный жир | Канифоль, 51; жир животный, 26; нашатырь, 11; хлористый цинк, 6; вода, 16 | Свинцовые кабельные муфты и другие детали | Промыть теплой водой |
| — | Салициловая кислота, 8; этиленгликоль, 68; этиловый спирт, 24 | Качественная пайка медных, латунных и бронзовых деталей сложного профиля | Остатки флюса смыть водой |

Оглавление.

| | |
|--|----|
| Лекция №1. Введение. Пассивные компоненты электронной техники..... | 5 |
| Лекция №2. Резисторы. Классификация. Конструкция | 7 |
| Лекция №3. Резисторы. Параметры. Маркировка | 16 |
| Лекция №4. Конденсаторы. Классификация. Конструкция..... | 22 |
| Лекция №5. Конденсаторы. Параметры. Маркировка..... | 30 |
| Лекция №6. Катушки индуктивности. Природа индуктивности. Конструкция. Параметры. Разновидности катушек. | 34 |
| Лекция №7. Трансформаторы. Классификация. Конструкция. Физические основы функционирования. Основные принципы расчета трансформаторов. | 43 |
| Лекция №8. Модульный принцип конструирования электронной аппаратуры | 55 |
| Лекция №9. Припой. Флюсы. Общие сведения. | 67 |
| Список литературы..... | 70 |
| Приложение..... | 71 |

