

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Институт профессионального образования
Кафедра электропривода и автоматизации

Владислав Николаевич Немов

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ЭЛЕКТРОРАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ (ОП 06)

Методические материалы к практическим занятиям
и самостоятельной работе

Рекомендовано цикловой методической комиссией
специальности СПО 11.02.16 Монтаж, техническое
обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств
в качестве электронного издания для использования
в образовательном процессе

Кемерово 2024

Рецензенты: Негадаев В. А. – кандат тех. наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»
Шаулева Н. М. – кандидат тех. наук, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», председатель цикловой методической комиссии специальности 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»

Немов, В. Н. Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты (ОП 06): методические материалы к практическим занятиям и самостоятельной работе для обучающихся специальности СПО 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств», очной формы обучения / сост. В. Н. Немов; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. – Текст: электронный.

Приведен теоретический и практический материал, необходимый для успешного изучения дисциплины. Методические материалы по дисциплине «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты» (ОП 06) содержат перечень практических занятий, содержание практических и самостоятельных занятий, список учебно-методических материалов.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2024
© Немов В.Н.,
составление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОМ УСТРОЙСТВЕ	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОМ УСТРОЙСТВЕ	9
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТОРА.....	12
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРА.....	26
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА	36
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА	45
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ	53
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8. ПОДБОР ПО СПРАВОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ РАДИОКОМПОНЕНТОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА	59
Самостоятельная работа	60
ЛИТЕРАТУРА	62

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОМ УСТРОЙСТВЕ

Цель работы: получить общие сведения об проводниках, используемых металлах, их свойствам и особенностям.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Проводник – это такой материал, особенностью которого является наличие в составе свободно передвигающихся заряженных частиц, которые распространены по всему веществу.

Проводящими электрический ток веществами являются расплавы металлов и сами металлы, недистиллированная вода, раствор солей, влажный грунт, человеческое тело.

Металл – это самый лучший проводник электрического тока. Также и среди неметаллов есть хорошие проводники, например, углерод.

Все, существующие в природе проводники электрического тока, характеризуются двумя свойствами:

- показатель сопротивления;
- показатель электропроводности.

Сопротивление возникает из-за того, что электроны при движении испытывают столкновение с атомами и ионами, которые являются своеобразным препятствием. Именно поэтому проводникам присвоена характеристика электрического сопротивления. Обратной сопротивлению величиной является электропроводность.

Электропроводность – это характеристика (способность) физического вещества проводить ток. Поэтому свойствами надежного проводника являются низкое сопротивление потоку движущихся электронов и, следовательно, высокая электропроводность. То есть, лучший проводник характеризуется большим показателем проводимости.

Классическая электронная теория металлов была разработана Друде и Лоренцом. В ее основе лежит представление

об электронном газе, состоящем из свободных электронов. Электронному газу приписывают свойства идеального газа, т. е. движение электронов подчиняется законам классической статистики. При однократной ионизации атомов число электронов:

$$N = (d / A) * N_0 \quad (1.1)$$

где d – плотность металла; A – атомная масса; N_0 – число Авогадро.

Кинетическая энергия электрона (средняя):

$$(m_e * u) / 2 = (3/2) * kT \quad (1.2)$$

где u – средняя скорость теплового движения.

При $T = 300 \text{ K}$, $u = 10^5 \text{ м/с}$.

Приложение внешнего электрического поля к металлу приводит к направленному движению электронов и увеличению их скорости, т. е. возникает электрический ток.

Плотность тока (А/м^2):

$$j = env \quad (1.3)$$

где v – скорость направленного движения электрона (скорость дрейфа).

В медном проводнике при $j = 10^6 \text{ А/м}^2$, $v \approx 10^{-4} \text{ м/с}$, т. е. $v \ll u$.

Электроны при движении сталкиваются с узлами кристаллической решетки.

Концентрация свободных электронов в чистых металлах различается незначительно. Проводимость определяется в основном длиной свободного пробега, которая зависит от вида и строения металла – химической природы атомов и типа кристаллической решетки.

В чистых металлах единственной причиной, ограничивающей длину свободного пробега электронов, являются тепловые колебания атомов в узлах кристаллической решетки. С ростом температуры растет амплитуда тепловых колебаний атомов. Это усиливает рассеяние электронов и повышает электрическое сопротивление металла ρ .

При низких температурах это соотношение не выполняется, так как понижается еще и частота колебаний атомов. На кривой

температурной зависимости электрического сопротивления металлов можно выделить несколько участков (рис. 1.1):

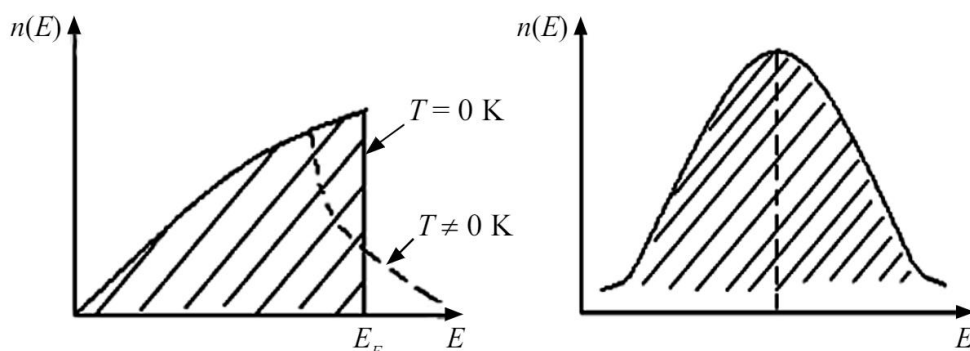


Рис. 1.1. Распределение электронов по энергиям согласно квантовой (а) и классической (б) теории металлов.

I. В пределах нескольких градусов вблизи нуля Кельвина зависимость электропроводности от температуры для различных металлов имеет вариации: ρ снижается до нуля при 0 K для металлов с совершенной структурой;

II. Температурный интервал действия закона Блоха – Грюнайзена, граничную температуру при которой называют температурой Дебая. Для большинства металлов это будет 400–450 K.

III. Линейная зависимость от температуры практически до $T_{пл}$, исключение составляют ферромагнетики.

IV. Отступление от линейной зависимости у ряда металлов.

V. ρT при температуре плавления повышается в 1,5–2 раза у большинства металлов. Для висмута и галлия, напротив, удельное электрическое сопротивление снижается ввиду сложной кристаллической структуры этих металлов. Таким образом, основное влияние на величину ρT оказывает степень упорядоченности структуры металла.

Так, для меди при содержании в ней 1 атм. % примеси теллура удельное сопротивление возрастает в 10 раз. Пластические деформации увеличивают удельное сопротивление на несколько процентов. Термическая закалка также увеличивает ρ , так как при такой обработке искажается кристаллическая решетка металла. В свою очередь, процесс рекристаллизации (отжига) уменьшает сопротивление до исходного уровня.

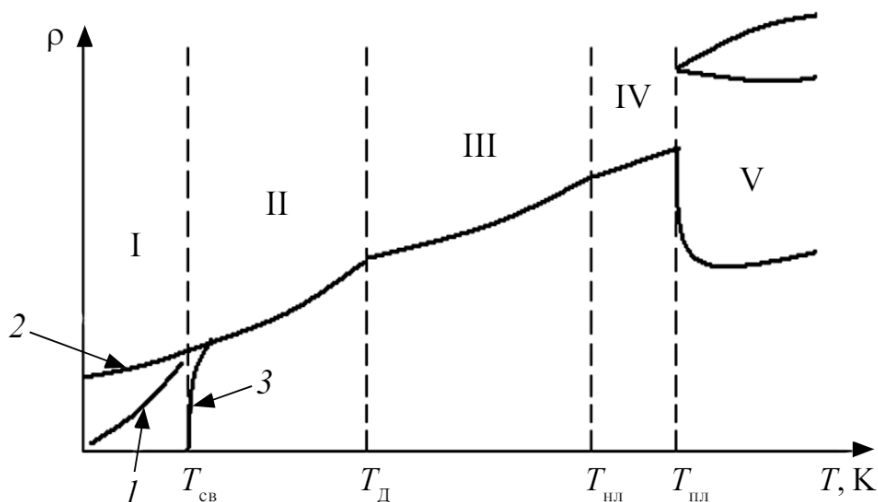


Рис. 1.2. Температурная зависимость удельного электрического сопротивления

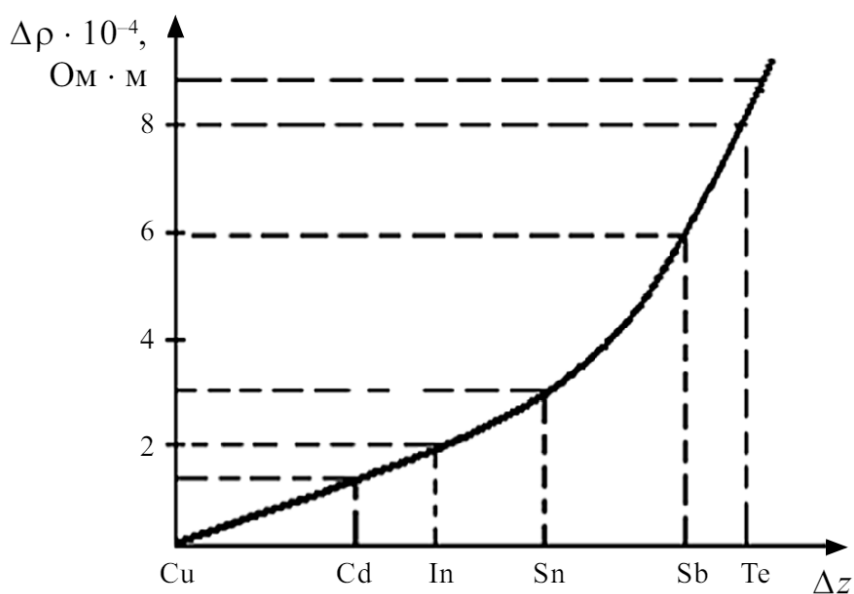


Рис. 1.3. Зависимость удельного электрического сопротивления металлов от разности валентностей основного и примесного атомов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить таблицы исходные данные для расчета.
- 3) Выполнить расчеты проводимости при заданных величинах габаритных размеров проводников.

4) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Заданные величины габаритных размеров проводников.
- 2) Расчёты полученной проводимости участка при разных материалах.
- 3) Конспект вопросов для самостоятельного изучения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

- типы сплавов применяемых в электронной промышленности.
- процесс окисление серебрянных контактов и проводников и его влияние на проводимость.
- способы снятия оксидов с меди и серебра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое проводник.
2. Основные характеристики металлов.
3. Величины проводимости золота, серебра, платины, меди и алюминия.
4. Влияние температуры на проводимость.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОМ УСТРОЙСТВЕ

Цель работы: получить общие сведения об полупроводниках, их видах, свойствам и особенностям.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Полупроводниками называют материалы (химические элементы или соединения), которые нельзя однозначно отнести к диэлектрикам. То есть к веществам, не проводящим (ну или почти) электрический ток, так и к металлам, через которые он достаточно хорошо проходит, а при некоторых условиях вообще не оказывающим сопротивления его протеканию.

Такие соединения, как сульфид свинца, применялись ещё в начале прошлого столетия как простейшие детекторы в примитивных радиоприёмниках. Однако подлинную революцию в электротехнике совершили такие элементы как германий (Ge), кремний (Si) и разнообразные соединения галлия (Ga), например, арсенид галлия (GaAs) позволившие электронике шагнуть на новую ступень и открыть миру широкие возможности носимой электроники.

Вариативность полупроводниковых материалов:

- Кремний.

Самый широко используемый. Незаменим при изготовлении практически любых электронных компонентов: диодов, транзисторов и микросхем. Является вторым по распространённости в земной коре элементом. Наиболее распространён в виде минерала кварца, являющегося одной из аллотропных модификаций оксида кремния. Почти по всем характеристикам превосходит другие материалы; полупроводниковые приборы на нём могут работать на частотах вплоть до десятков гигагерц, имея при этом низкую чувствительность к температуре и другим видам внешнего воздействия.

- Германий.

До 1970-х годов его применяли повсеместно для изготовления диодов и транзисторов. Для выпуска микросхем используется крайне ограниченно и, как правило, совместно с кремнием.

Германий имеет некоторые преимущества перед кремнием. Так, способность реагировать на внешнее электрическое поле, то есть коэффициент подвижности носителей заряда электронов и дырок в германии выше, чем в кремнии, приблизительно в три раза. Падение напряжения на р-п-переходе германиевого диода или транзистора составляет около 0,1 - 0,3 вольта, тогда как в случае кремниевых элементов этот показатель равен 0,6 - 0,7 вольт.

Основными минусами германия стали его относительная редкость и высокая стоимость, но, что главное, низкая теплопроводность, препятствующая эффективному отводу тепла от кристалла германиевого ПП-прибора и серьёзное ухудшение его параметров с ростом температуры. Сейчас он используется только для изготовления некоторых электронных приборов, работающих на сверхвысоких частотах, а также специальной оптики, стёкол и линз.

- Арсенид галлия.

Третий по объёму применения полупроводник. Изначально на его основе производили ПП-оптические приборы: светодиоды и твердотельные лазеры, но позже из него также стали изготавливать диоды, транзисторы и микросхемы. Электроника на основе арсенида галлия может работать на частотах до нескольких сотен гигагерц, имеет лучшую радиационную стойкость, чем её разновидности из кремния, что делает его незаменимыми в аэрокосмической отрасли.

- Карбид кремния.

Он имеет отличную теплопроводность, превышающую аналогичную характеристику кремния в несколько раз, высокую максимальную рабочую температуру (порядка 600 градусов по Цельсию), а также высокую электрическую прочность. В совокупности это делает его востребованным при выпуске электрон-

ных приборов ограничения перенапряжения, варисторов, разрядников, тиристоров и иных коммутационных устройств, а также для высоковольтных диодов.

Применяется и для изготовления светодиодов некоторых цветов свечения, а сам эффект светоизлучения кристаллом карбида кремния был открыт ещё на заре полупроводниковой техники – в начале XX столетия.

- Нитрид галлия.

ПП-свойства этого элемента, как и карбида кремния, открыли в начале XX века. Именно многократно большая светимость кристалла карбида кремния поставила крест на развитии оптических приборов на основе «несовершенного» нитрида галлия. Но в конце века учёные вновь обратили на него внимание, и на его основе удалось разработать довольно много ПП-компонентов, преимущественно мощных и высокочастотных полевых транзисторов. Также на его основе производят солнечные батареи. Современные технологии легирования позволили нитриду галлия стать недорогим и эффективным материалом для производства синих и УФ-светодиодов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить таблицы исходные данные для расчета.
- 3) Оценить применимость полупроводника для заданных условий.
- 4) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Заданные условия для оценки применимости.
- 2) Расчёты применимости и выбор полупроводника
- 3) Конспект вопросов для самостоятельного изучения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

- типы сплавов применяемых в электронной промышленности.
- процесс окисление серебрянных контактов и проводников и его влияние на проводимость.
- способы снятия оксидов с меди и серебра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое полупроводник.
2. Основные характеристики полупроводников.
3. Ширина запрещенной зоны для германия и кремния.
4. Влияние температуры на свойства полупроводников.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТОРА

Цель работы: получить общие сведения об устройстве резисторов, их видах, основных параметрах и способах применения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Резисторы относятся к наиболее распространенным элементам радиоэлектронной аппаратуры. На их долю приходится от 20 до 50%, т. е. до половины общего количества, радиодеталей в устройстве.

Принцип работы резисторов основан на использовании свойства материалов оказывать сопротивление протекающему току.

Резисторы преимущественно используют для ограничения силы тока в цепях и для создания на отдельных участках схемы необходимых величин напряжения.

Многообразие выпускаемых модели обусловлено условиями места их применения (влажность, вибрации), требованиями к стабильности величиной сопротивления при действии внешних факторов (температура), точности заявленной величины фактической (точность изготовления), требованиями к

рассеиваемой мощности, требованиями к размерам (SMD резисторы).

Виды резисторов

Резисторы можно разделить на постоянные, переменные и «специальные» (переменные, но с изменением сопротивления «не человеком»).

Типовая конструкция SMD резисторов (без гибких выводов, предназначен для «поверхностного» монтажа) – на рисунке 3.1. Конструкция массовых резисторов цилиндрической формы приведена на рисунке 3.2.

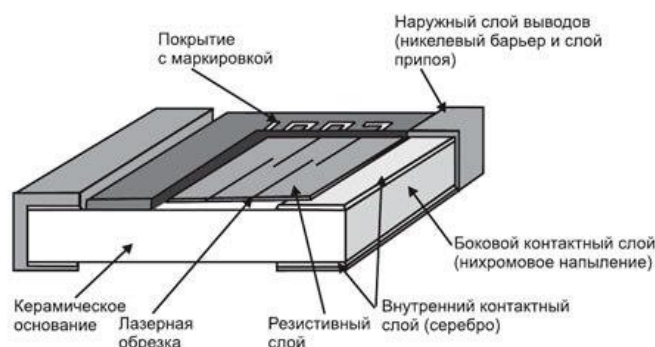


Рис 3.1 Конструкция SMD резистора.

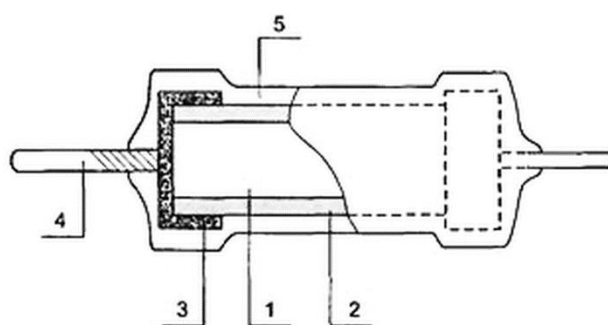


Рис. 3.2 Конструкция выводного, цилиндрического резистора. 1 – керамическая трубка, 2- резистивный слой (возможен как сплошной, так и с проточкой для придания формы спирали), 3 – обжимные цилиндры, 4 – выводы (приварены к цилиндрам 3), 5 – внешние покрытие (эмаль, с нанесенной поверх маркировкой).

Переменные и построечные резисторы предназначены для выполнения различных регулировок. Переменные - для часто

изменяемых параметров (громкость, скорость, яркость и т.п.). Подстрочные - для периодических (точное изменение параметров при настройке устройств). Так же переменные резисторы могут быть использованы как датчики механического положения, т.к. у них есть выраженная зависимость сопротивления от линейного (или углового) перемещения органа управления.

Принцип действия – изменение длины резистора. Это достигается путем перемещения ползунка по резистивной поверхности, один край которой является первым выводом резистора, а ползунок – вторым. Расположение слоя может быть, как линейным (реостат), так и выполненной по окружности. Для резисторов большой мощности резистивный слой может быть выполнен из проволоки. При применении переменного резистора как управляемый делитель напряжения резистивный слой имеет выводы с обоих краев. Поэтому почти все переменные резисторы имеют три вывода (рис.3.3).

Зависимость положения ползунка от сопротивления может быть линейной, логарифмической и обратнологарифмической. Последняя применяется для регуляторов громкости и звуковой аппаратуры.

Недостаток переменных резисторов – из-за трения ползунка об резистивный слой происходит стирание слоя и ухудшение контакта, а как следствие, например, «треск» при регулировке громкости на активных колонках.

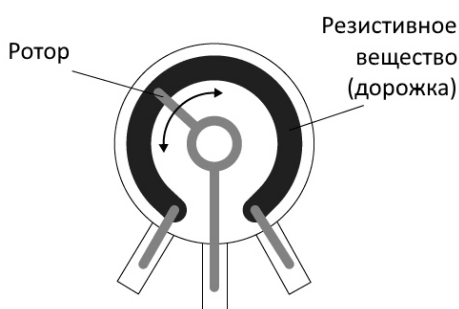


Рис. 3.3 Конструкция переменного (подстрочного) резистора с резистивным слоем (дорожкой) расположенными по окружности.

Отличие подстрочных резисторов от переменных – укороченный вал (часто до поверхности корпуса) с пропилом под

штицевую или «крестовую» отвертки. Часто – заметно меньшие габариты. И менее устойчивый к стиранию резистивный слой, т.к. специфика применения подстроечных резисторов не располагает к частым перемещениям ползунка.

Так же выделяют многооборотные переменные или подстроечные резисторы. В их конструкцию введен редуктор, в результате чего для полного перемещения ползунка по резистивному слою необходимо совершить множество оборотов вала (или винтика у подстроечных) резистора. Достоинства – точность установки сопротивления, стабильности при вибрациях.

Фоторезисторы, термо- и тензорезисторы – специальные резисторы, используемые как датчики соответствующих физических величин или элементы компенсации их воздействия на электрические параметры схемы. Существуют и другие, менее распространённые и специфические способы применения.

Фоторезистор – быстро уменьшает сопротивление с ростом освещенности и наоборот. Терморезистор – быстро уменьшает сопротивление с ростом температуры. Тензорезистор – изменяет сопротивление при деформации, используется в электронных весах.

Варистор – резистор, способные резко изменять свое сопротивление под действием напряжения.

Почти все специальные резисторы изготавливаются из полупроводниковых материалов и имеют сильно нелинейные зависимости сопротивления от воздействия.

Параметры резисторов

Резисторы характеризуются следующими основными параметрами:

Номинальное значение сопротивления. Большинство номинальных значений сопротивления применяемых резисторов измеряется в омах (Ом), килоомах (кОм), мегаомах (МОм), но также встречаются резисторы на миллиомы (мОм), гигаомы (ГОм) и терраомы (ТОм).

Номинальные значения сопротивлений указывают на корпусе резистора. Для серийных резисторов оно соответствует

значению из стандартных рядов сопротивлений. На практике наиболее распространён ряд E24.

Номинальное значение мощности рассеивания резистора $P_{\text{ном}}$. Этот параметр измеряется в ваттах (Вт). $P_{\text{ном}}$ – это наибольшая тепловая мощность, выделяющиеся на резисторе при протекании постоянного или переменного тока, которую он может выдерживать длительное время без повреждений. Мощность $P_{\text{ном}}$, ток I , протекающий через резистор, падение напряжения U на резисторе и его сопротивление R связаны зависимостями: $P=UI$, $P=I^2R$, $P=U^2/R$.

В большинстве устройств применяют резисторы с номинальной мощностью рассеивания от 0,125 до 2 Вт. Резисторы с мощностью 5 Вт и выше применяют в блоках питания и силовых цепях.

Возможные величины мощности заданы рядом: 0,01; 0,025; 0,05; 0,063; 0,1; 0,125; 0,16; 0,25; 0,4; 0,5; 0,63; 0,75; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 16; 25; 40; 50; 63; 75; 80; 100; 125; 160; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000 Вт.

Допустимое отклонение действительного сопротивления резистора от его номинального значения. Это отклонение измеряется в процентах, оно нормировано и определяется классом точности.

Отклонение фактического значения сопротивления, от указанного на его корпусе, происходит в следствии невозможности достижения абсолютной идентичность изготавливаемых резисторов. Тем меньше отклонение – тем выше стоимость резистора.

В современные резисторы выпускаются с допусками (%): $\pm 0,001$; $\pm 0,002$; $\pm 0,005$; $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,25$; $\pm 0,5$; ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 .

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резистора. Характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1°C и выражается в процентах. Может быть представлен в виде графика, если имеет не линейную зависимость. В большинстве резисторов ТКС незначительный и составляет в среднем десятые доли – единицы процента.

Электродвижущая сила (ЭДС) собственных шумов.
Собственные шумы резистора возникают за счет неупорядоченного движения части электронов при приложенном к нему напряжении. ЭДС собственных шумов ($E_{ш}$) измеряется в микровольтах на вольт приложенного напряжения (мкВ/В). Эта величина для резисторов также незначительная и составляет единицы микровольт на вольт.

Собственные индуктивность и емкость резисторов.
Определяются габаритными размерами, его конструкцией и влияют на частотный диапазон применения резисторов. Резисторы с большими паразитными параметрами нельзя применять на путях прохождения сигналов высокой частоты, т.к. их сопротивление изменится из-за проявления реактивного сопротивления паразитных параметров. Схема замещения резистора, с учетом этих параметров, представлена на рис. 4.4.

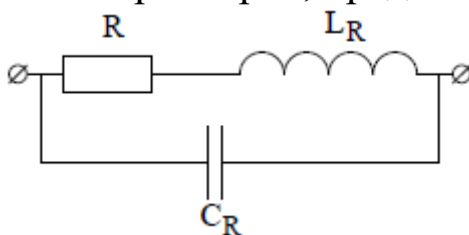


Рис. 4.4 Схема замещения резистора с учетом паразитных индуктивности и емкости

Условно-графическое обозначение резисторов и схемы соединения

Согласно ГОСТ 2.728-74, УГО постоянного резистора имеет следующий вид:

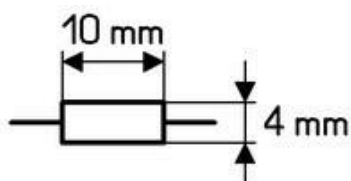


Рис. 3.5 УГО резистора по ГОСТ 2.728-74

Данное изображение – базовое. Для отображения переменных резисторов всех видов используют дополнительные элементы.

Помимо этого, существует существенно отличающееся американское обозначение – рис 3.6.

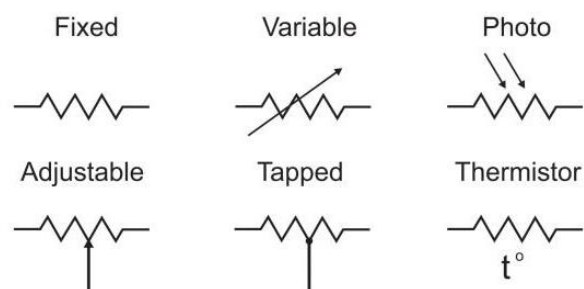


Рис 3.6. УГО резисторов по американскому стандарту.

Существуют два основных вида схем включения резисторов – последовательное включение резисторов и параллельное.

При последовательном включении резисторов их эквивалентное сопротивление будет равно сумме всех отдельных сопротивлений. Их мощность будет складываться, а наибольшая мощность будет выделяться на резисторе с наибольшим сопротивлением.

При параллельном включении резисторов их эквивалентное сопротивление можно рассчитать по формуле 3.1. Их мощность будет складываться, а наибольшая мощность будет выделяться на резисторе с наименьшим сопротивлением.

При равенстве всех параллельно включенных резисторов формула упрощается до $R_{\text{общ}} = R_1/n$, где n – число параллельно включенных резисторов.

$$\frac{1}{R_{\text{э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} . \quad (3.1)$$

Маркировка резисторов

В современных резисторах применяется следующие системы маркировок:

Буквенная полная

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение резистора, указываются в следующей

последовательности: номинальная мощность рассеяния, номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения, допускаемое отклонение сопротивления в %.

Пример полного условного обозначения постоянного непроволочного резистора с регистрационным номером 4, номинальной мощностью рассеяния 0,5 Вт, номинальным сопротивлением 10 кОм, с допуском $\pm 1\%$, группой по уровню шумов А, группы ТКС – Б, все климатического исполнения В.

R1-4-0,5-10кОм $\pm 1\%$ А-Б-В ОЖО.467.157 ТУ

Буквенные сокращения

Ввиду того что полное условное обозначение занимает значительное место на корпусе резистора, то его применение не всегда возможно и удобно, поэтому было введено сокращенное буквенное обозначение в состав которого входит обозначение номинального сопротивления и допускаемого отклонения. Номинальное сопротивление обозначается в виде кода. Кодированное обозначение номинального сопротивления состоит из трех или четырех знаков, включающих в себя две или три цифры и букву латинского алфавита. Буква кода из русского или латинского алфавита обозначает множитель, составляющий сопротивление, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы R, K, M, G и T обозначают соответственно множители 1 , 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} . Примеры кодированных обозначений номинального сопротивления выглядят следующим образом: 215 Ом – 215R, 150 кОм – 150K, 2,2 МОм – 2M2, 6,8 ГОм – 6G8, 1 ТОм – 1T.

Для резисторов поверхностного монтажа (планарных, SMD) может применяться как буквенное цифровая маркировка, при малых величинах сопротивления, так и только цифровая. Например, 472 – 47×10^2 , т.е. 4,7 КОм. Или, в модификации резистора с повышенной точности, 4701, т.е. 470×10^1 . Т.е. последняя цифра маркировки – это число нулей после первых двух (трех).

Кодированное обозначение допускаемого отклонения состоит из буквы соответствующей отклонению в %. Например, ± 5 – J, ± 2 – G, ± 1 – F.

Помимо описанной выше кодировки в промышленно выпускаемых резисторах применяется цветовая кодировка, выполненная кольцами различного цвета вокруг цилиндрического корпуса резистора. Значение каждого кольца зависит от позиции и цвета. Минимальное число колец – четыре. Это две цифры, множитель десятки и погрешность. При повышенной точности – пять колец, т.е. три цифры, множитель и погрешность.

Величина мощности, на которую рассчитан резистор, обычно не указывается. Исключение - мощные резисторы, на которых данное значение может быть прописано цифрами (5W). Для маломощных резисторов полагается или определять мощность по его размерам (т.е. «на глаз»), т.к. соотношение размер-мощность почти всегда неизменно. Либо по документации на выбранную модель.

Применение резисторов

Если задача резистора ограничить ток в цепи, то он включается последовательно с главным элементом (далее – сопротивление нагрузки).

А если в цепи необходимо сформировать заданное напряжение, то резисторы включают по схеме «делитель напряжения» - рис.3.7.

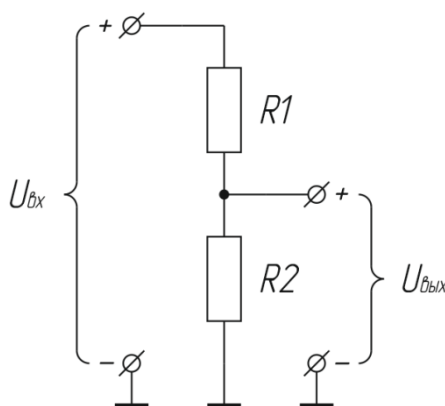


Рис 3.7 Схема «делитель напряжения».

Принцип действия делителя напряжения основан на распределении напряжения на элементах цепи в зависимости от их сопротивления.

Например, нам нужно пропорционально понижать напряжение из $U_{вх} = 12$ вольт в $U_{вых} = 5$ вольт. Тогда можно принять общее сопротивление цепи ($R_1 + R_2$) равное 12 единицам. В этом случае сопротивление R_2 должно быть 5 единиц и падение на нём, а значит и «снимаемое» с него напряжение, будет $5/12 \times 12 = 5$ вольт.

На практике используют большие величины – например 7 и 5 кОм (12 кОм в сумме), т.к. цепи для преобразования напряжения обычно не должны потреблять большой ток.

Принцип «делителя напряжения» широко применяется в составе составных, сложных электронных схем.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить резисторы для визуального изучения.
- 3) Записать информацию о полученных резисторах. Восстановить их параметры по маркировке на корпусе резистора.
- 4) Выполнить поиск информации по вопросам для самостоятельного изучения.
- 5) Выполнить расчёты по индивидуальному заданию.
- 6) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Описание выданных резисторов и их параметров, восстановленных по маркировке.
- 2) Конспект вопросов для самостоятельного изучения.
- 3) Решение индивидуального задания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

- Цветовая маркировка резисторов.

- УГО различных резисторов и изменяем сопротивлением.
- Варистор – его график, параметры, места и принцип применения.
- Почему в аудиотехнике используют переменные резисторы с нелинейной зависимостью.
- Что такое децибелы и что в них измеряют.
- Зачем нужен SMD резистор с маркировкой 0 или 000.
- Резисторные сборки – что это, в чем достоинства, где используют.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое резистор.
2. Основные параметры резисторов.
3. УГО резисторов (в т.ч. переменных, термо-, фото- и т.д.).
4. Примеры соединения элементов и расчета эквивалентного значения сопротивления.
5. Цветовая кодировка резисторов.
6. Типы конструкций переменных резисторов.
7. Примеры краткого обозначения номинального сопротивления.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАСЧЁТА

1. Выполнить выбор значений, сопротивления, мощности и числа резисторов для последовательной цепи с параметрами из задания. Желательно минимизировать число используемых номиналов сопротивления и мощности путем сборок из одинаковых резисторов, но не более 4-х одного типа.

Например, нужно получить 500 Ом, 5 Вт. Можно взять 3 резистора по 100 Ом и 1Вт, и 1 резистор на 200 Ом, 2 Вт. Или 2 по 200 и 1 100, по 2 Вт и 1 Вт соответственно.

2. Выполнить выбор значений, сопротивления, мощности и числа резисторов для параллельной цепи с параметрами из задания. Желательно минимизировать число используемых

номиналов сопротивления и мощности путем сборок из одинаковых резисторов, но не более 4-х одного типа.

3. Выполнить выбор резистора для получения указанного тока в цепи при указанном напряжении с использованием наиболее близкой к расчётному сопротивлению величины из ряда E24.

В ответе указать величину разницы между желаемым и фактическим током. При разнице более 10% необходимо предложить схему замещения не более чем из 2-х, желательно одинаковых, резисторов.

Например, по току и напряжению выходит, что нужен резистор 450 Ом, наиболее близким будет 470 Ом.

4. Выполните расчёт сопротивления цепи, потребляемого ею тока, величины показаний амперметра РА1 (внутреннее сопротивление амперметра принять за 0,01 Ом) и необходимой мощности резисторов, в трех случаях. При точном совпадении величины сопротивления с указанным, при максимальном отклонении в отрицательную сторону и максимальном отклонении в положительную. Отклонения даны в процентах.

Рекомендуется автоматизировать расчёты с использованием программы Excel или SMath.

ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ «РЕЗИСТОРЫ»

Вариант (по списку группы)	Задание 1		Задание 2		Задание 3	
	R, кОм	P, Вт	R, кОм	P, Вт	I, mA	U, В
1	2	12	3	7	200	10
2	3	15	35	8	60	12
3	5	3	3,2	52	29	9
4	0,55	11	4,1	6	54	5
5	0,95	7	14	7	35	3,3
6	1,5	8	4,8	5	33	24
7	34	9	3,7	7	189	48
8	44	10	5	6	87	24
9	0,6	5	6,7	8	335	12
10	67,8	17	4,8	24	524	10

Вариант (по списку группы)	Задание 1		Задание 2		Задание 3	
	R, кОм	P, Вт	R, кОм	P, Вт	I, mA	U, В
11	2,5	14	56	9	1060	9
12	25,8	5	8,1	26	270	3,3
13	8	6	34	15	450	5
14	9	18	6	32	1650	15
15	26,7	23	5,8	14	390	12
16	23,2	25	7	23	220	48
17	6	30	7,5	17	789	5
18	22,6	45	9	19	1500	12
19	5	22	2,3	20	900	24
20	67	8	46	15	95	15
21	0,55	11	4,1	7	189	48
22	0,6	5	6,7	26	270	3,3
23	8	6	34	15	450	5
24	9	18	6	32	1650	15
25	67,8	17	4,8	32	1650	15
26	2,5	14	56	14	390	12
27	25,8	5	8,1	23	220	48
28	0,6	5	6,7	19	1500	12
29	3	15	35	20	900	24
30	5	3	3,2	15	95	15
31	0,55	11	4,1	52	29	9
32	5	3	3,2	6	54	5

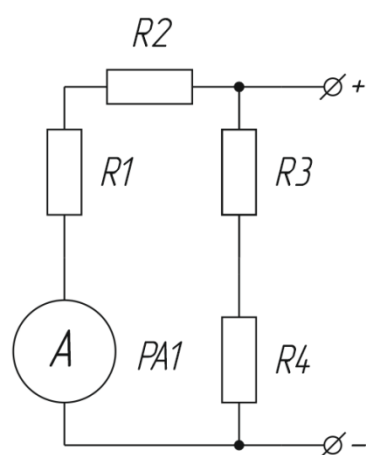


Рис 3.8. Резисторы. Схема для Задание 4.

Вариант (по списку группы)	Задание 4								
	R1, кОм	±%	R2, кОм	±%	R3, кОм	±%	R4, кОм	±%	U, В
1	1	1	9,1	0,25	5,1	0,5	15	5	12
2	2,2	10	1	0,5	6,2	1	1,5	1	5
3	1	5	9,1	5	5,1	10	15	5	42
4	2,2	10	1	0,25	7,5	1	0,47	0,5	24
5	1	5	9,1	0,5	5,1	1	15	5	36
6	2,2	10	1	1	0,47	1	10	1	15
7	1	1	9,1	5	5,1	5	9,1	5	15
8	0,47	10	1	0,25	10	1	6,2	1	10
9	1	1	1,5	0,5	9,1	0,5	10	5	36
10	1,5	10	1	5	10	1	6,2	10	14
11	1	5	0,15	5	0,47	5	10	5	9
12	0,47	10	1	0,25	9,1	1	1,5	10	12
13	1	5	0,15	0,5	10	5	5,1	5	9
14	15	10	1	1	0,15	1	7,1	0,5	12
15	1	5	1,5	1	2,2	10	5,1	5	24
16	15	10	1	0,25	6,2	1	1,5	1	24
17	1	1	1,5	0,5	2,2	0,5	5,1	5	8
18	15	10	1	1	0,15	1	0,47	1	5
19	1	1	9,1	0,25	2,2	5	5,1	5	10
20	0,15	10	1	0,5	0,47	1	1,5	0,25	15
21	2,2	10	1	0,5	5,1	10	15	5	42
22	1	5	9,1	5	7,5	1	0,47	0,5	24
23	1	5	0,15	5	5,1	1	15	5	36
24	0,47	10	1	0,25	0,15	1	0,47	1	5
25	1	1	1,5	0,5	2,2	5	5,1	5	10
26	1,5	10	1	5	10	1	6,2	10	14
27	1	5	1,5	1	0,47	5	10	5	9
28	2,2	10	1	0,5	9,1	1	1,5	10	12
29	1	5	9,1	5	5,1	10	15	5	42
30	2,2	10	1	0,25	7,5	1	0,47	0,5	24
31	0,15	10	1	0,5	5,1	1	15	5	36
32	2,2	10	1	0,5	0,47	1	10	1	15

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: получить общие сведения об устройстве конденсаторов и катушек индуктивности, а также научиться определять их параметры по маркировке.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическим конденсатором называют устройства, предназначенные, в первую очередь, для накопления электрического заряда и реактивным сопротивлением, уменьшающимся с ростом частот проходящего сигнала.

Принцип действия конденсатора основан на накоплении электрического заряда между двумя близко расположенными проводниками или пластинками. Такие пластины так же называются обкладками.

Емкость конденсатора зависит от типа диэлектрика, расстояние между пластинами и площади взаимного перекрытия пластин.

Переменные и подстрочные конденсаторы работают за счет изменения площади взаимного перекрытия пластин. Одна пластина неподвижна, а вторая «наезжает» (т.е. частично перекрывает) на неё. Так же изменять емкость можно за счет расстояния между пластинами, но это величина всегда должна быть слишком мала и не подходит для ручного управления, но зато широко применяется в датчиках – микрофоны, датчики давления, MEMS акселерометры.

Любой конденсатор содержит в себе множество паразитных параметров, которое определяют его работу в реальной схеме (рис 4.1). Это последовательная индуктивность (выводы), последовательное сопротивление (выводы) и параллельное сопротивление (диэлектрик).

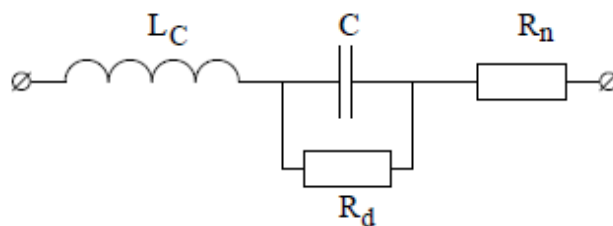


Рис. 4.1 Схема замещения конденсатора.

К основным параметрам конденсатора относят:

Электрическая номинальная емкость – способность конденсатора накапливать на обкладках электрические заряды под воздействием электрического поля. Номинальная емкость указывается на конденсаторе или в сопроводительной документации, выбирается в соответствии с установленным рядом. Измеряется в фарадах [Ф], однако 1Ф достаточно крупная величина, поэтому на практике значение обычных конденсаторов употребляется с приставками нано- (10^{-9}), микро- (10^{-6}), мили- (10^{-3}).

Возможна величина ёмкости реального конденсатора определяется рядами Е3, Е6, Е12, Е24, реже Е48, Е96 и Е192.

Номинальное напряжение – максимально допустимое значение постоянного или переменного напряжения (или их суммы) приложенного к его обкладкам, при котором конденсатор может работать в течении всего гарантированного срока службы при нормальной температуре. Превышение номинального напряжения ведет к пробое диэлектрика и выходу конденсатора из строя.

Возможна величина так же нормируется рядами.

Пример: 1,0; 1,6; 2,5; 3,2; 4,0; 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 450; 500; 620; 800; 1000; 1600; 2000; 2500; 3000; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000 Вольт.

Допустимое отклонение действительного емкости конденсатора от его номинального значения. Это отклонение измеряется в процентах, и вызвано невозможностью массового изготовления конденсаторов с большой повторяемостью.

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) – относительное изменение емкости конденсатора под действием температуры. Под действием температуры обкладки конденсатора меняют свои геометрические размеры, изменяется расстояние между ними и значение диэлектрической проницаемости диэлектрика, поэтому изменяется и значение емкости конденсатора. Для всех конденсаторов данная зависимость нелинейная, однако, в зависимости от типа диэлектрика, для некоторых она приближается к линейной.

Рабочая частота – из-за наличия емкостного, основного, реактивного сопротивления, а также индуктивного реактивного сопротивления, конденсатор работает по-разному при прохождении сигналов с разной частотой. График зависимости сопротивления от частоты показан на рисунке 4.2. Слева – влияние реактивного емкостного, справа – индуктивного, по центру – только активное сопротивление (выводов).

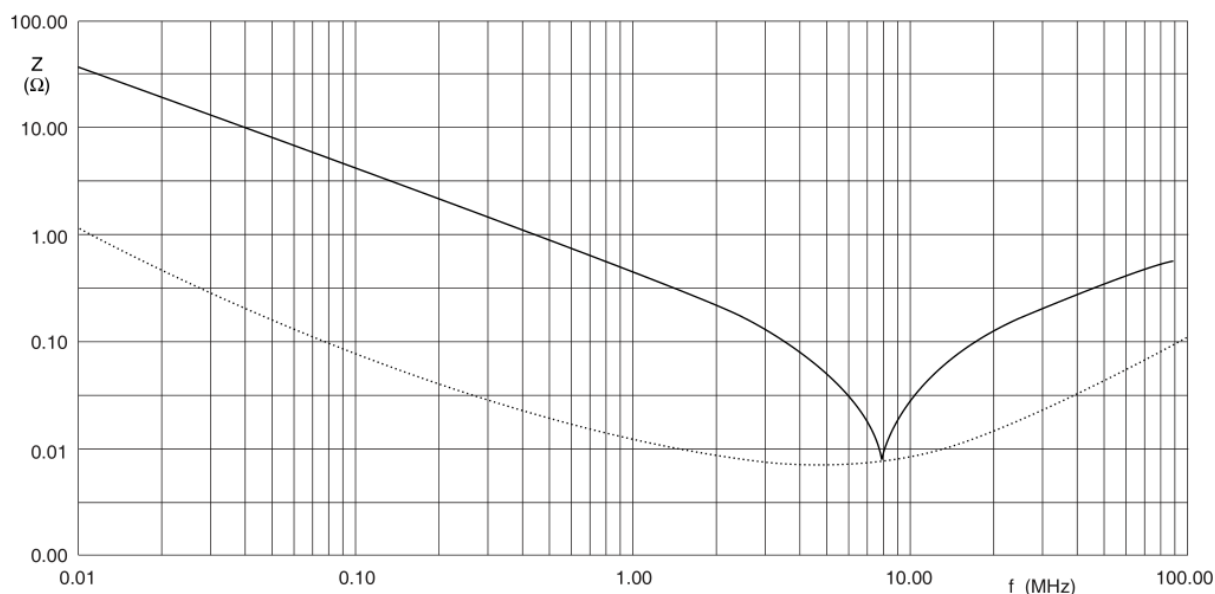


Рис. 4.2 Пример зависимости сопротивления конденсатора от частоты проходящего сигнала. Резонанс на частоте почти 8 МГц.

Эксплуатационные параметры – температура, влажности и т.п. Влияют на тип корпуса, внутреннюю конструкцию, внешнее покрытие. Например, для SMD конденсаторов опасна деформа-

ция печатной платы при температурных колебаниях, с чем бороться созданием версий со специальной внутренней конструкцией.

Полярные (электролитические) конденсаторы.

Ключевое достоинство – существенно большая емкость, чем у «классических» конденсаторов. Недостаток – относительная недолговечность, требовательность к температуре окружающей среды.

Главное отличие – замена твердого диэлектрика на электролит. А именно пропитка им бумаги между обкладками. Наличие электролита ведет к разделению пластин на анод и катод, т.е. к появлению полярности. Нарушение этой полярности при подключении ведет к выходу конденсатора из строя. Конструкция – цилиндрическая, чаще всего в жаленом корпусе с выводами снизу. На корпус нанесена маркировка с указанием отрицательного вывода (белая полоса на боку корпуса или черная отметка сверху).

Электролиту свойственно испаряться и химически деградировать. Особенно при сильном внешнем нагреве. Это ведет к уменьшению его ёмкости, сбоям и отказу электронных устройств. Так же электролит может испаряться и разрушаться даже при продолжительном хранении. При быстром вскипании электролита возможно разрушение корпуса. Для защиты от этого на верху корпуса делают проточку металла различной формы, т.е. создавая зону где металл порвётся быстрее и создаст отверстие для сброса избыточного внутреннего давления.

Электролитические (полярные) конденсаторы с твёрдым электролитом (например, танталовые) лишены этих недостатков, но имеют существенные ограничения по величине максимального рабочего напряжения.

Электролитические конденсаторы преимущественно однополярные (т.е. для работы на постоянном токе), но существуют и униполярные версии (для переменного тока).

Параметр «Эквивалентное последовательное сопротивление» (ЕПС – ESR) крайне важен для электролитических конден-

саторов, работающих в импульсных блоках питания и на высоких частотах.

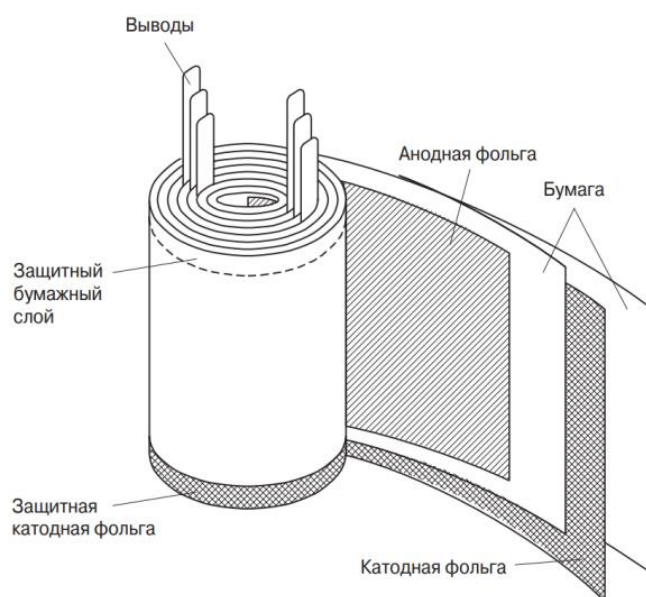
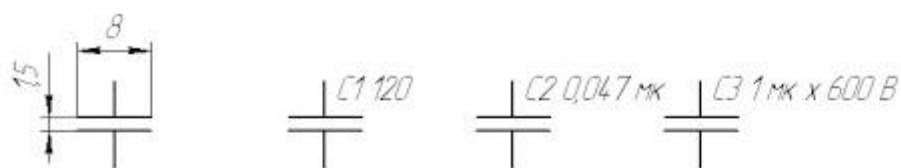


Рис 4.3. Конструкция электролитического конденсатора.

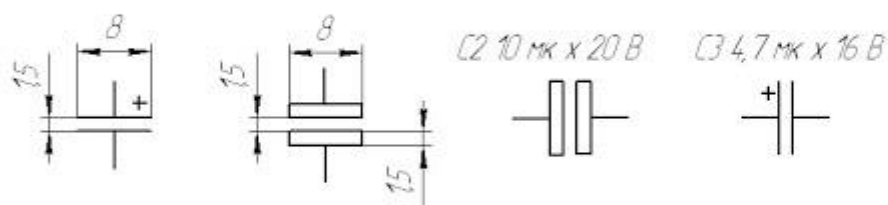
Условно-графическое обозначение конденсаторов и схемы соединения

На принципиально-электрических схемах конденсаторы обозначаются:

Конденсаторы постоянной емкости



Конденсаторы оксидные полярный и неполярный



Конденсатор подстроечный

Конденсатор переменной емкости (КПЕ)

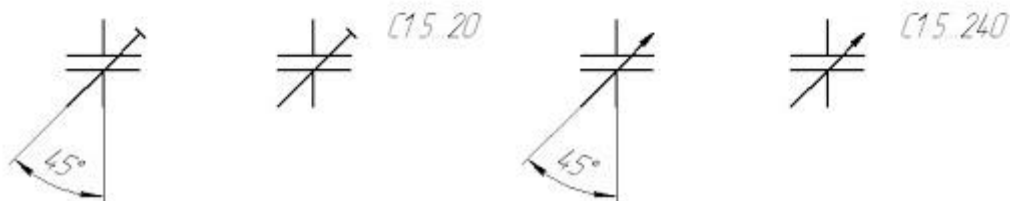


Рис. 4.4 УГО конденсатора.

Существуют два основных вида схем включения конденсаторов – последовательное и параллельное.

При параллельном включении конденсаторов их емкость складывается по формуле 4.1.

$$C_{\text{с}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (4.1)$$

При последовательном включении конденсаторов их напряжения складываются, а общая емкость становится меньше. Полученную емкость можно рассчитать по формуле 4.2.

$$\frac{1}{C_{\text{с}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (4.2)$$

Маркировка конденсаторов

Краткая буквенная маркировка конденсатора выполняется по аналогичным правилам, что и маркировка резисторов. Номинальная емкость конденсатора выражается с помощью 3-4 чисел и кодового обозначения множителя. Принято использовать следующие буквы р, н, м, соответствующие множителям пико-, нано-, микро-, мили- фарад.

Пример маркировки конденсатора: р10 – 0.1пФ; 1м5 – 1.5мкФ.

Также применяться только цифровая маркировка, например: 104 –это 100000 (10 и 4 нуля) пф = 100 нФ = 0,1 мкФ.

Величина допустимого напряжения указываться текстом с буквой «v» - 16v, 50v.

Типовые SMD конденсаторы маркировки не имеют (за исключением электролитических и специальных). Пример маркировки танталовых конденсаторов приведен на рисунке 4.5.

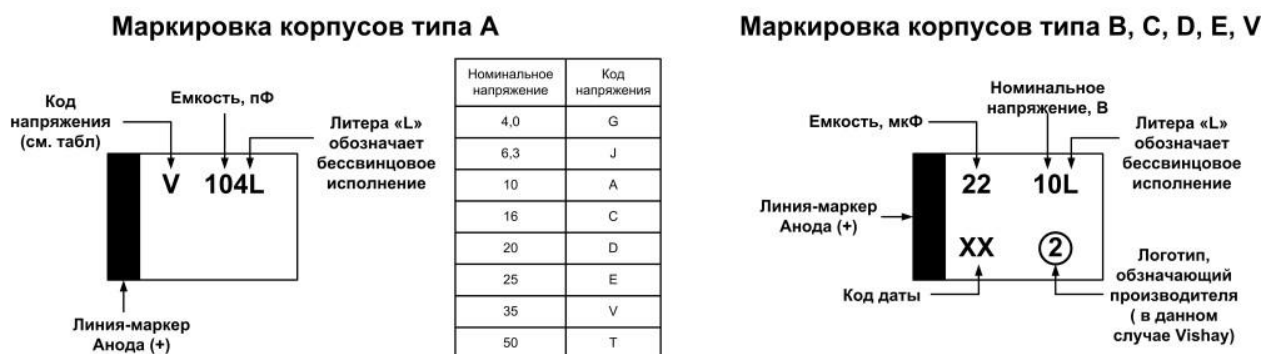


Рисунок 4.5 Маркировка танталовых конденсаторов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить конденсаторы для визуального изучения.
- 3) Записать информацию о полученных конденсаторах. Восстановить их параметры по маркировке на корпусе.
- 4) Выполнить поиск информации по вопросам для самостоятельного изучения.
- 5) Выполнить расчёты по индивидуальному заданию.
- 6) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Описание выданных конденсаторов и их параметров, восстановленных по маркировке.
- 2) Конспект вопросов для самостоятельного изучения.
- 3) Решение индивидуального задания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

– Особенность последовательного включения электролитических конденсаторов. Зачем параллельно конденсаторам включают резисторы и каково должно быть их сопротивление?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое конденсатор?
2. От чего зависит емкость конденсатора. Формула.
3. Основные параметры конденсаторов.
4. УГО конденсаторов.
5. Примеры соединения элементов и расчета эквивалентного значения емкости.
6. Примеры краткого обозначения номинальной емкости.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАСЧЁТА

1. Выполнить выбор значений емкости, напряжения и числа конденсаторов для последовательной цепи с параметрами из задания. Желательно минимизировать число используемых номиналов конденсаторов путем сборок из одинаковых, но не более 4-х одного типа.

Например, нужно получить 75 мкФ, 16 В. Тогда можно соединить 2 конденсатора по 150 мкФ. Все по 16 В.

2. Выполнить выбор значений емкости, напряжения и числа конденсаторов для параллельной цепи с параметрами из задания. Желательно минимизировать число используемых номиналов пу-

тем сборок из одинаковых конденсаторов, но не более 4-х одного типа.

ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ «КОНДЕСАТОРЫ» Варианты 1 - 20

Вариант (по списку группы)	Задание 1		Задание 2	
	С, мкФ	U, В	С, мкФ	U, В
1	0,5	40	0,05	12
2	12	15	0,012	40
3	17	50	568	67
4	156	67	935	80
5	30	80	1370	50
6	780	12	67,8	100
7	55,9	90	500	15
8	345	110	34,7	20
9	2550	100	56,8	90
10	67	17	25	110
11	25,7	20	70,7	200
12	44,5	65	5,6	70
13	92,7	200	23,6	95
14	8,9	500	7,8	620
15	54,8	70	357	17
16	89,5	95	512	65
17	67,1	16	125	500
18	97	62	137	16
19	105	250	140	400
20	34	400	540	250

ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ «КОНДЕСАТОРЫ»
Варианты 21 - 40

Вариант (по списку группы)	Задание 1		Задание 2	
	С, мкФ	U, В	С, мкФ	U, В
21	92,7	200	70,7	200
22	8,9	500	56,8	90
23	54,8	70	620	7,8
24	89,5	70	357	17
25	54,8	95	512	65
26	89,5	7,8	620	7,8
27	67,1	16	500	15
28	97	62	34,7	20
29	2550	100	56,8	90
30	67	7,8	620	7,8
31	25,7	357	17	357
32	44,5	512	65	512
33	92,7	200	23,6	95
34	8,9	500	7,8	620
35	54,8	70	357	17
36	89,5	95	512	65
37	44,5	512	620	7,8
38	92,7	200	17	357
39	105	512	65	512
40	34	125	500	125

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: получить общие сведения об устройстве и назначении катушек индуктивности, а также научиться определять их параметры по маркировке.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В электронных устройствах катушки индуктивности представлены двумя типами – трансформаторы и дроссели.

УГО катушек индуктивности приведено на рисунке 5.1

Катушка индуктивности, дроссель (L3 – с отводами)



Катушка индуктивности, дроссель с магнитопроводом (L7 – с медным)

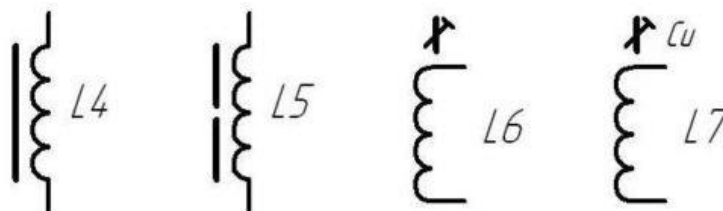


Рис. 5.1 УГО катушек индуктивностей – дросселей.

Дроссели выполняют роли фильтров, сглаживающих устройств и накопителей энергии. Материалом сердечника может быть электротехническая сталь, порошковое железо или ферриты. Конструктивно сердечник может быть стержневым, броневым, или кольцевым (торообразным).

Основными параметрами являться индуктивность и рассеиваемая мощность, создаваемая протекающим током. Учет рассеиваемой мощности, а значит и диаметра используемого в дросселе провода, важен, т.к. дроссели не редко включают последовательно с нагрузкой, а значит весь ток нагрузки протекает через них.

Так же у дросселей есть паразитная (межвитковая) емкость и погрешность изготовления (для серийных моделей).

Индуктивность дросселей измеряют в мили- и микро- Генри – мГн, мкГн.

На большинство дросселей маркировка на наносится, но может быть указана модель или индуктивность. Примеры указания величины индуктивности для дросселей поверхностного монтажа приведены на рисунке 5.2. Обратите внимание, что в маркировке широко используется буква R.

Для дросселей цилиндрической формы, внешней похожих на резистор, широко применяют маркировку цветовыми кольцами. Для создания визуального отличия таких дросселей часто используют окраску корпуса в ярко зелёный цвет.

2N2D — 2.2 нГн ±0.3 нГн	1R0K — 1.2 мкГн ±10%	470K — 47 мкГн ±10%
22N — 22 нГн	2R2K — 2.2 мкГн ±10%	680K — 68 мкГн ±10%
R10M — 0.10 мкГн ±20%	3R3K — 3.3 мкГн ±10%	101K — 100 мкГн ±10%
R15M — 0.15 мкГн ±20%	4R7K — 4.7 мкГн ±10%	151K — 150 мкГн ±10%
R22M — 0.22 мкГн ±20%	6R8K — 6.8 мкГн ±10%	221K — 220 мкГн ±10%
R33M — 0.33 мкГн ±20%	100K — 10 мкГн ±10%	331K — 330 мкГн ±10%
R47M — 0.47 мкГн ±20%	150K — 15 мкГн ±10%	471J — 470 мкГн ±5%
R68M — 0.68 мкГн ±20%	220K — 22 мкГн ±10%	681J — 680 мкГн ±5%
1R0K — 1.2 мкГн ±20%	330K — 33 мкГн ±10%	102 — 1000 мкГн

Рис. 5.2 Примеры обозначения индуктивности для SMD дросселей.

Дроссели. Цветовая маркировка				
Цвет полосы	1-й	2-й	Множитель	Допуск
Золотой			0,01мкГн	±5%
Серебряный			0,1мкГн	±10%
Черный		0	1мкГн	±20%
Коричневый	1	1	10мкГн	
Красный	2	2	100мкГн	
Оранжевый	3	3	1мГн	
Желтый	4	4		
Зеленый	5	5		
Голубой	6	6		
Фиолетовый	7	7		
Серый	8	8		
Белый	9	9		

33 мкГн ±10%	
39 мкГн ±20%	
5,1 мГн ±5%	
1,5 мГн ±20%	

Рис. 5.3 Цветовая маркировка дросселей.

Другим распространённым в электронных устройствах типом индуктивности являются трансформаторы. Они служат для преобразования величины переменного напряжения, переменного тока, согласования входных и выходных сопротивлений. А также передачи энергии, импульсов и информации через формируемый ими барьер гальванической развязки.

Условное графическое обозначение трансформаторов представлено на рисунке 5.4.

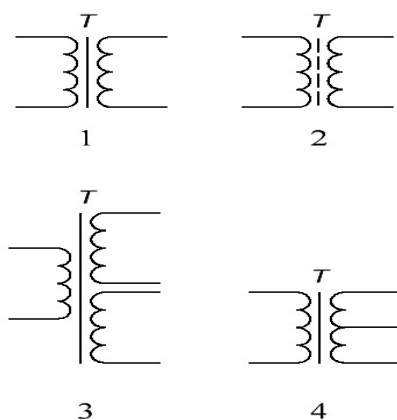


Рис. 5.4. УГО трансформаторов.

1 – с одной вторичной обмоткой и ферритовым сердечником.

2 – с одной вторичной обмоткой и сердечником из металлических пластин.

3 – с двумя вторичными обмотками и ферритовым сердечником.

4 – с одной вторичными обмоткой с средним выводом и ферритовым сердечником.

Основные параметры трансформаторов: максимальная рабочая мощность (величина передаваемой энергии), выходное напряжение (при максимальной мощности), коэффициент трансформации ($U_{вх}/U_{вых}$), КПД (величина потерь). И для современных, импульсных блоков питания – рабочая частота.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить дроссели и трансформаторы для визуального изучения.
- 3) Записать информацию о полученных дросселях и трансформаторах. Восстановить их параметры по маркировке на корпусе, при наличии таковой.
- 4) Выполнить поиск информации по вопросам для самостоятельного изучения.
- 5) Выполнить расчёты по индивидуальному заданию.
- 6) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Описание выданных дросселей и трансформаторов и их параметров, восстановленных по маркировке.
- Конспект вопросов для самостоятельного изучения.
- Решение индивидуального задания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

– Цветовая маркировка материалов сердечников (тороидальных) дросселей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое дроссель, для чего он нужен?
2. Основные параметры дросселей.
3. Типы сердечников.
4. Почему применяют сердечники из разных материалов?
5. Что такое трансформатор, для чего он нужен?
6. Основные параметры трансформаторов.
7. Почему в трансформаторах применяют сердечники из металлических пластин?

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАСЧЁТА

1. Выполнить расчёт дросселя на тороидальном сердечнике для получения заданной индуктивности.

Пример действий для расчёта:

Выберем кольцо феррита марки В64290-L38-X38, Т38, R10x6x4,

Тороидальный сердечник, он же «магнитопровод», (рисунок 5.5) представляет собой кольцо, отлитое из порошкового железа или феррита различных марок. Края кольца могут быть сглажены. Кольцо может быть покрыто защитным, непроводящим покрытием. Для колец из порошкового железа такое покрытие несет информацию о магнитной проницаемости кольца (или его марки) и может выполняться из двух цветов. При этом второй цвет будет нанесен только на одну из плоских граней.

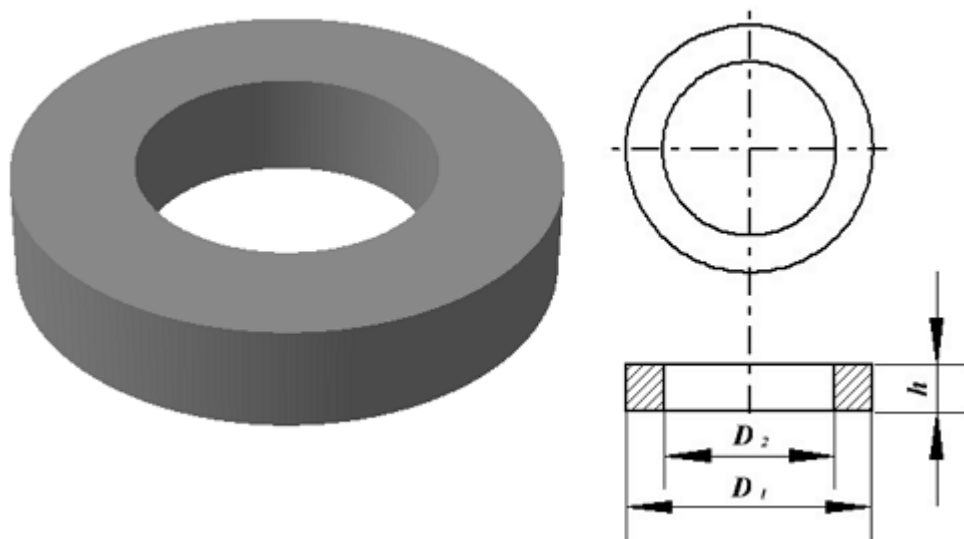


Рис. 5.5 Геометрические размеры тороидального сердечника.
 D_1 – внешний диаметр, D_2 – внутренний диаметр, h – высота сердечника.

Базовая формула для расчёта индуктивности:

$$L = (N^2 * \mu_0 * \mu_r) / C_1 \quad (5.1)$$

Где:

- N (иногда указывают как « ω ») – количество витков катушки,
- μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$,
- μ_r – относительная магнитная проницаемость вещества,
- C_1 – первая постоянная сердечника, которая равна сумме отношений длины однородных по сечению участков сердечника к поперечного сечения сердечника.

C_1 рассчитывается по формуле:

$$C_1 = (2 * \pi) / (h_e * \ln(D_2 / D_1)) \quad (5.2)$$

Где h_e – эффективная высота сердечника.

Для кольца с острыми кромками $h_e = h$.

Для кольца с скругленными кромками:

$$h_e = h * (1 - ((1,7168 * r_s * r_s) / (h * (D_1 - D_2)))) \quad (5.3)$$

Где: r_s - радиус скругления граней кольца.

Выбор самого сердечника производится исходя из рабочей частоты, силы тока и свойств материала. Наиболее часто применяют сердечники (магнитопроводы) из порошкового («распылённого») железа.

Выбор толщины проводника производится в зависимости от величины протекающего по нему тока, по плотности тока в проводе.

Плотность тока может колебаться в широких пределах от 2 А/мм² до 10 А/мм². На практике она выбирается на основании многих факторов, главными из которых являются величина потерь и условия охлаждения дросселя. Увеличение плотности тока позволяет использовать более тонкий провод, однако при этом увеличивается его сопротивление, а, значит – и величина потерь, что, в свою очередь, приводит к увеличению температуры дросселя. Значительный нагрев может разрушить выполненную из лака изоляцию проводников и вызвать короткое замыкание.

Если же плотность тока невелика, то есть риск, что обмотки не поместятся в окне сердечника и тогда придется выбирать сердечник с большим окном. При малых токах минимально необходимое сечение проводов может оказаться настолько малым, что намотать обмотку проводом нужно диаметра окажется технологически сложно и даже невозможно. В этом случае плотность тока может быть и меньше 2 А/мм².

Формула для расчёта сечения проводника (в мм²) с учетом выбранной плотности тока:

$$S = I / \quad (5.4)$$

Формула дает сечение проводника, но действительный обмоточный провод имеет больше сечение (и диаметр), так как он покрыт лаковой изоляцией.

После расчета сечения проводника необходимо выбрать провод из списка производимых. В основном выбор производится в большую сторону, например, рассчитано 1,3 мм², а в наличии есть 1 и 1,5.

Берем провод с сечением 1,5 мм².

ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ **Варианты 1 - 20**

Вариант (по списку группы, часть 1)	Задание 1	
	L, мкГн	I, мА
1	30	100
2	50	1000
3	10	300
4	20	500
5	45	50
6	10	75
7	5	95
8	25	250
9	8	400
10	10	370
11	11	100
12	12	1000
13	17	300
14	24	500
15	80	50
16	90	75
17	14	95
18	300	250
19	150	400
20	55	430

Варианты 21 - 40

Вариант (по списку группы, часть 2)	Задание 1	
	L, мкГн	I, мА
21	40	200
22	60	1200
23	20	400
24	30	300
25	55	150
26	20	175
27	15	45
28	35	350
29	18	500
30	30	320
31	45	210
32	22	1050
33	25	330
34	20	490
35	60	55
36	70	85
37	25	125
38	150	310
39	120	500
40	75	630

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Цель работы: выполнить исследование статической вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода, выполнить сравнение практических и теоретических характеристик, выполнить сравнения экспериментальных характеристик диодов, выполненных из различных полупроводников.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сравнение характеристики реального диода с характеристикой идеального р-п перехода.

Известно, что статическая ВАХ идеализированного полупроводникового диода описывается выражением:

$$I = I_s (e^{\frac{qU}{kT}} - 1), \quad (6.1)$$

где I – ток диода; U – приложенное к нему напряжение; I_s – ток насыщения, определяемый параметрами р-п перехода; kT/q – тепловой потенциал (0,0259 В при $T=300\text{K}$).

Вид характеристики описанной данным выражением представлен на рис. 6.1.

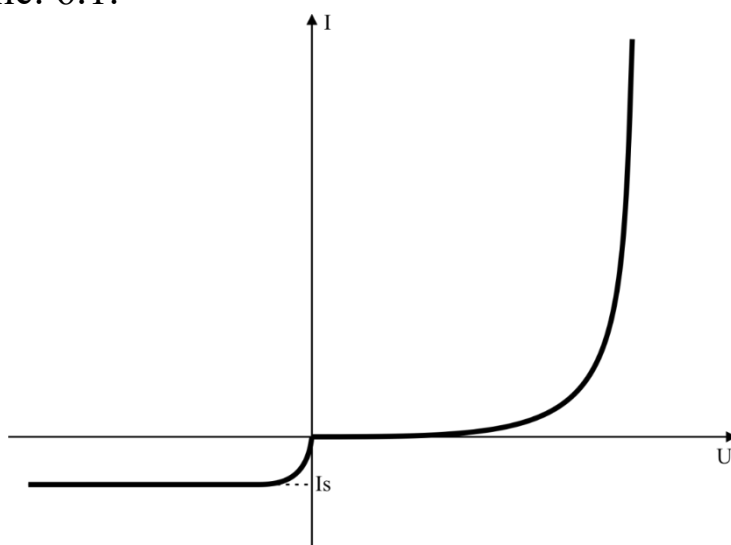


Рис. 6.1. ВАХ идеального р-п перехода.

При изображении ВАХ масштаб по осям прямых и обратных напряжений выбирается разным так как эти значения различаются на порядки (мА на прямом участке и мкА на обратном). Разные масштабы создают впечатление излома характеристики в нулевой точке, в действительности же ВАХ является дифференциально гладкой. На прямой ветви характеристики зависимость тока от напряжения носит экспоненциальный характер, а после прохождения напряжения через пороговое значение $U_{пр}$ дальнейшее изменение напряжения на десятые доли вольта вызывает значительное изменение тока через диод.

Единственный параметр ВАХ, связанный с физико-конструктивными параметрами и геометрическими размерами активной области диода, является ток насыщения I_s .

$$I_s = \frac{qD_{pb}n_i^2}{N_{Db}L_{pb}th(\frac{W_b}{L_{pb}})} \quad (6.2)$$

где q – заряд электрона; n_i – собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике; N_{Db} и L_{pb} – коэффициент диффузии и диффузионная длина неосновных носителей в ней; W_b – толщина базы; F – площадь р-п перехода.

ВАХ реального диода отличается от характеристики идеального р-п перехода в силу ряда причин:

- Рекомбинации и генерации дырок и электронов в ОПЗ перехода.
- Падения напряжения на объемном сопротивлении.
- Появления эффектов высокого уровня инжекции при больших токах.
- Наличия токов утечки через р-п переход.
- Начала пробоя на обратной ветви ВАХ.
- Неоднородного легирования базы.
- Разогрева р-п перехода выделяемой мощностью.

Перечисленные эффекты приводят к тому, что ВАХ диода описывается только качественно, т.е. экспериментально.

Обратная ветвь ВАХ образуется суммой трех составляющих:

тока насыщения I_s , тока термогенерации в ОПЗ р-п перехода I_G и тока утечки I_{ym} . Соотношение между этими составляющими для диодов из разных полупроводниковых материалов различно

$$I_{OBR} = I_s + I_G + I_{YT} \quad (6.3)$$

Ток термогенерации в р-п-переходе описывается формулой:

$$I_G = q \frac{n_i}{\tau_{pn}} \delta F \quad (6.4)$$

где δ – ширина р-п-перехода; τ_{pn} – эффективное время жизни, характеризующее темп генерации электронно-дырочных пар в ОПЗ перехода. Ток зависит от приложенного обратного напряжения через зависимость $\delta(U)$.

Ток утечки обусловлен проводящими каналами внутри р-п-перехода и на поверхности кристалла. Он зависит от площади и периметра перехода и ряда других факторов и имеет примерно линейную зависимость от обратного напряжения.

Прямая ветвь ВАХ реального диода сохраняет экспоненциальную зависимость тока от напряжения, поэтому ее можно описывать выражениями типа:

$$I = I_0 (e^{\frac{qU}{mKT}} - 1) \approx I_0 e^{\frac{qU}{mKT}} \quad (6.5)$$

где I_0 и m – параметры характеристики, которые могут изменяться на различных участках ВАХ.

Сравнение характеристик диодов, выполненных из различных полупроводниковых материалов

Исследуемые в работе диоды выполнены из различных полупроводниковых материалов и имеют различные сферы применения. Отличие их характеристик связано с отличием параметров:

- Ширины запрещенной зоны.
- Подвижности носителей заряда.
- Время жизни носителей заряда.

и д.р.

Наибольшее влияние на различие параметров оказывает разница в значениях ширины запрещенной зоны E_g . Она определяет собственную концентрацию носителей заряда n_i которая входит в выражение параметров ВАХ.

Токи насыщения всех диодов, кроме германиевого, очень малы и составляют единицы наноампер, поэтому основным компонентом обратного тока этих диодов является ток утечки. Основное отличие прямых ветвей ВАХ различных диодов заключается в различном значении тока насыщения. В приложении 1 приведены значения $U_{пр}$ полученные теоретическим путем у реальных диодов оно может отличаться по ряду причин, в основном из-за падения на объемном сопротивлении базы.

Основные параметры выпрямительных диодов.

1) Максимальное обратное напряжение диода — $V_r (U_{обр.макс})$

Одна из основных характеристик выпрямительного диода. Это такая величина напряжения, приложенного к диоду в обратном направлении, которое он уверенно выдержит. Но если данное напряжение превысить, то нет гарантии, что диод не будет пробит. Величина этого напряжения уменьшается с нагревом диода.

Данный параметр для разных диодов отличается. Может быть в диапазоне от десятков вольт до нескольких тысяч вольт. Например, для распространённого выпрямительного диода 1N4007 максимальное постоянное обратное напряжение равно 1000В, а для 1N4001 – всего 50В.

2) Средний ток диода — $I_f (I_{ср.макс})$

Диод выпрямляет переменный ток, поэтому для выпрямительного диода характеристикой будет средний ток диода — средняя за период величина выпрямленного постоянного тока, текущего через р-п-переход. Для выпрямительных диодов данный параметр может составлять от сотен миллиампер до сотен ампер. Превышение среднего тока ведет к разрушению диода.

3) Максимальный импульсный ток диода — I_{fsm} (единичный импульс) и I_{frm} (повторяющиеся импульсы)

Пиковое значение тока, которое данный выпрямительный диод способен выдержать только определенное время, которое указывается в документации вместе с этим параметром. Например, диод 10A10 способен выдержать единичный импульс тока в 600А длительностью 8,3мс.

Для повторяющихся импульсов ток должен быть таким, чтобы средний ток уложился бы в допустимый диапазон. Например, повторяющиеся прямоугольные импульсы с частотой 20кГц диод 80EВU04 выдержит даже если их максимальный ток составит 160А, однако средний ток должен оставаться не более 80А.

4) Средний обратный ток диода — I_r (ток утечки)

Средний обратный ток диода показывает средний за период ток через переход в обратном направлении. Обычно это значение меньше микроампера, максимум — единицы миллиампер. Обратный ток заметно растет с нагревом диода. Например, для диода 1N4007, средний обратный ток не превышает 5 мкА при температуре рп перехода +25°C, и не превышает 50 мкА при температуре рп перехода +100°C.

5) Среднее прямое напряжение диода — $V_f(U_{пр})$

Среднее прямое напряжение диода указывается для значения среднего тока через диод. Это то напряжение, которое оказывается приложено непосредственно к р-п-переходу диода при прохождении через него постоянного тока указанной в документации величины. Обычно не более долей, максимум единиц вольт.

Например, в документации для диода EM516 приводится прямое напряжение в 1,2В для тока в 10А, и 1,0В при токе 2А.

6) Дифференциальное сопротивление диода — R_d

Сопротивление диода нелинейно, поэтому оно заменено на «эквивалентное», дифференциальное сопротивление.

Дифференциальное сопротивление диода выражает отношение приращения напряжения на р-п-переходе диода к вызвавшему это приращение небольшому приращению тока через переход.

Обычно от долей Ома до десятков Ом. Его можно вычислить по графикам зависимости падения напряжения от прямого тока, взяв для расчёта небольшой участок изменения тока через диод - ΔI и соответствующие ΔU .

Например, для диода 80EВU04 приращение тока на 1 А (на участке от 1 до 2А) дает приращение падения напряжения на переходе в 0,08 В, следовательно, дифференциальное сопротивление диода в этой области токов равно $0,08 / 1 = 0,08$ Ом.

7) Средняя рассеиваемая мощность диода — P_d

Средняя рассеиваемая мощность диода — это средняя за период мощность, рассеиваемая корпусом диода, при протекании через него тока в прямом и обратном направлениях. Данная величина зависит от конструкции корпуса диода, и может варьироваться от сотен милливатт до десятков ватт.

Например, для диода КД203А средняя рассеиваемая корпусом мощность составляет 20 Вт, данный диод можно даже устанавливать при необходимости на радиатор для отвода тепла.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить диоды для визуального изучения.
- 3) Записать информацию о полученных диодах. Восстановить их параметры по маркировке на корпусе с использованием выданных справочников.
- 4) Выполнить поиск информации по вопросам для самостоятельного изучения.
- 5) Выполнить расчёты по индивидуальному заданию.
- 6) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Описание выданных диодов и их параметров, восстановленных по маркировке.
- 2) Конспект вопросов для самостоятельного изучения.

3) Решение индивидуального задания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

– Схемы для последовательного и параллельного включения диодов. Как изменяются параметры полученной цепи (какой параметр полученного сборного «диода» становится больше) и почему необходимо использовать дополнительные резисторы?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните выпрямляющее действие диода.
2. Приведите основные параметры выпрямительного диода.
3. Как влияет температура на диод?
4. Чем определяется рабочая область диода?
5. В чём заключается основное свойство выпрямительного диода?
6. По каким параметрам выбираются выпрямительные и импульсные диоды для использования в реальных схемах?
7. Как работает диодный мост?
8. Какова величина потерь на диодном мосте и от чего она зависит.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАСЧЁТА

1. Выполнить выбор одиночного выпрямительного диода в соответствии с заданными параметрами прямого тока и обратного напряжения. По документации на диод оценить величину падения напряжения на диоде (смотри ВАХ в документации) и выделяемой тепловой мощности при протекании через него указанного в задании тока.

2. Выполнить выбор диодного моста в соответствии с заданными параметрами прямого тока и обратного напряжения. При отсутствии подходящего диодного моста выбрать подходящий по параметрам диод и оценить параметры получаемого диодного моста. По документации на диод или диодный мост оценить величину падения напряжения и выделяемой тепловой мощности.

ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ «ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРО- ВОДНИКОВОГО ДИОДА»

Вариант (по списку группы)	Задание 1		Задание 2	
	$I_{пр}, A$	$U_{обр}, B$	$I_{пр}, A$	$U_{обр}, B$
1	2	50	7,5	100
2	23	60	2	200
3	5	100	3	400
4	56	70	3	100
5	560	600	12	50
6	6	230	150	35
7	9	320	17	70
8	100	380	56	36
9	5	120	33	300
10	10	55	14	30
11	7	140	25	130
12	19	45	50	70
13	25	60	250	90
14	34	700	9	45
15	42	300	20	80
16	20	45	400	67
17	32	450	7	80
18	200	250	42	67
19	3	460	200	36
20	5	130	6	80
21	42	300	20	67
22	20	45	400	55
23	42	450	20	80
24	20	45	400	67
25	100	300	56	36
26	42	300	20	80
27	20	45	400	67
28	32	450	7	55
29	19	45	50	70
30	25	60	250	90
31	34	700	9	45
32	5	130	20	80
33	10	300	400	67
34	20	45	50	70
35	19	700	250	90

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ

Цель работы: изучение принципов работы, основных параметров и характеристик биполярных транзисторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Биполярный транзистор (БПТ) – это трехэлектродный полупроводниковый прибор с двумя р-п переходами, применяющийся для усиления и генерации электрических сигналов, имеющий три и более выводов. Биполярные транзисторы строятся на основе структур р-п-р или п-р-п. Процессы в данных структурах проходят одинаково.

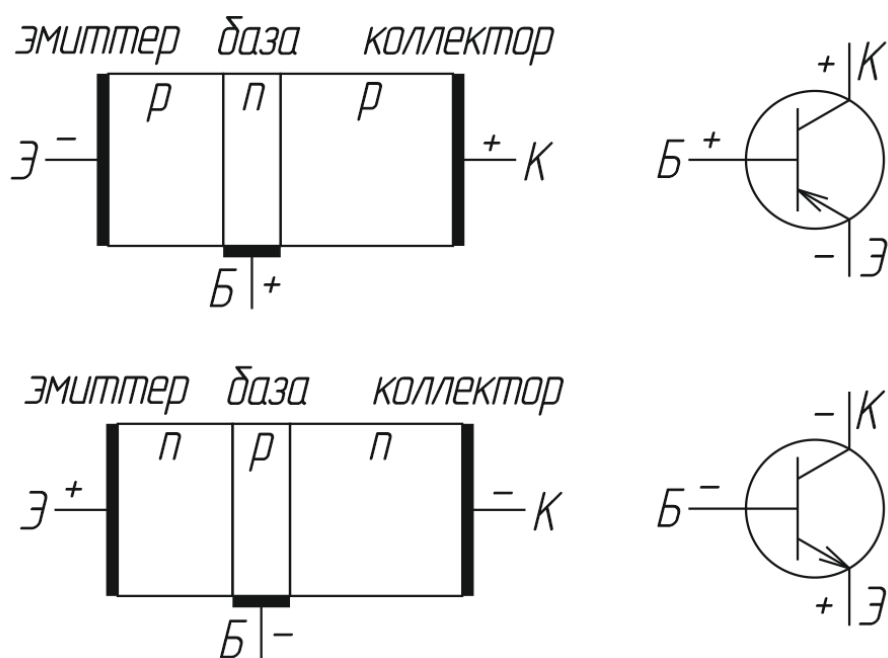


Рис. 7.1 Возможные структуры (слева) и их условные графические обозначения (УГО) БПТ (справа). При этом внешний круг на УГО может не изображаться.

Центральная область структуры называется базой, две другие области, являющиеся источниками и приемниками зарядов, называются эмиттер и коллектор соответственно.

В основном рабочем режиме, который носит название Активный, эмиттерный переход смещен в прямом направлении, что

означает что к переходу эмиттер база прикладывается прямое напряжение, а переход коллектор-база смещен в обратном.

Наиболее используемой схемой включения БПТ является схема с «общим эмиттером», где общим электродом для входной и выходной цепи является электрод эмиттера.

Для анализа усилительных свойств транзистора применяются семейства входных и выходных характеристик. Это необходимо потому что параметры р-п переходов база-эмиттер и эмиттер – коллектор зависят от величины токов и напряжений на третьем электроде (втором р-п переходе).

Для схемы с общим эмиттером (ОЭ) входными будут являться зависимости $I_{\text{б}} = f(U_{\text{б}})$, при $U_{\text{к}} = \text{const}$ (рис.7.2 а), а выходными – $I_{\text{к}} = f(U_{\text{к}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$ (рис 7.2 б).

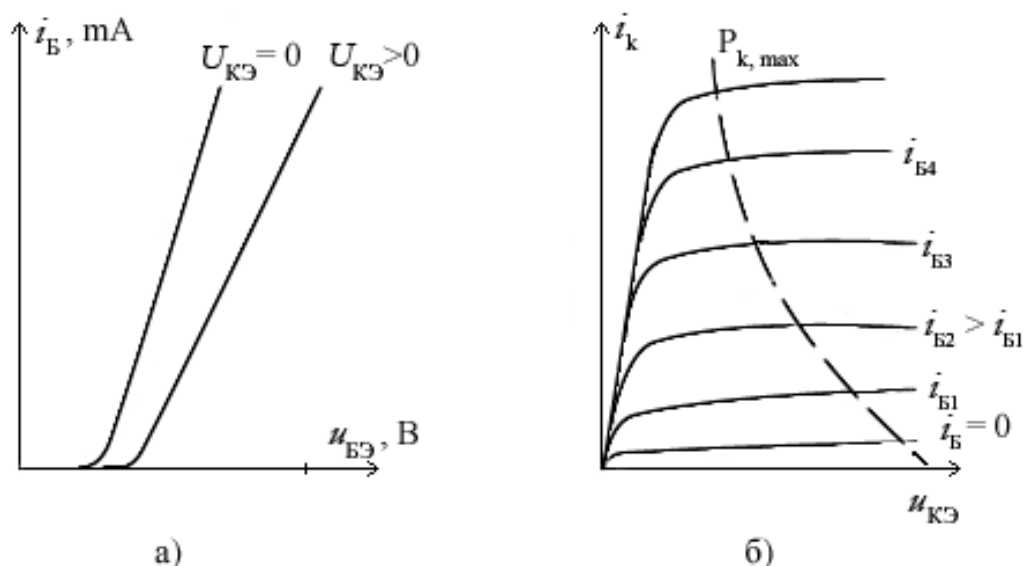


Рис. 7.2 Входные (а) и выходные характеристики (б) БПТ.

Наклон характеристик в активном режиме обусловлен модуляцией ширины базы коллекторным напряжением. С ростом обратного напряжения на коллекторе увеличивается ширина коллекторного перехода и уменьшается ширина базы, вследствие чего рекомбинация дырок в базе становится меньше и коллекторный ток возрастает.

Достоинством включения по схеме с общим эмиттером является большое усиления по напряжению и значительное усиление по току что дает и большое усиление по мощности.

К параметрам транзистора отвечающим за усиление электрического сигнала относят статический коэффициент усиления по току для схемы с общим эмиттером $\beta = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\epsilon}}$, при $U_{\kappa\epsilon} = const$ и α — коэффициент усиления по току для схемы с общей базой, $\alpha = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\epsilon}}$ при $U_{\kappa\epsilon} = const$. Данные коэффициенты связаны между собой зависимостью.

Так же транзисторы описываются семейством h-параметров:

1) h_{11} — Входное сопротивление. Сопротивление транзистора входному переменному току при коротком замыкании на выходе. Изменение входного тока является результатом изменения входного напряжения, без влияния обратной связи от выходного напряжения.

2) h_{12} — Коэффициент обратной связи по напряжению. Безразмерная величина, показывающая какая доля выходного переменного напряжения передаётся на вход транзистора вследствие обратной связи в нём. Во входной цепи транзистора нет переменного тока (холостой ход), и изменение напряжения на входе происходит только в результате изменения выходного напряжения.

3) h_{21} — Коэффициент передачи тока (коэффициент усиления по току). Безразмерная величина, показывающая усиление переменного тока при нулевом сопротивлении нагрузки. Выходной ток зависит только от входного тока без влияния выходного напряжения.

4) h_{22} — Выходная проводимость. Внутренняя проводимость для переменного тока между выходными зажимами. Выходной ток изменяется под влиянием выходного напряжения.

При обозначении h-параметров, внизу, в зависимости от схемы включения, к цифровым индексам добавляется буква. Для схемы с общим эмиттером это $h_{11\epsilon}$, $h_{12\epsilon}$, $h_{21\epsilon}$, $h_{22\epsilon}$; для схемы с общим коллектором — $h_{11\kappa}$, $h_{12\kappa}$, $h_{21\kappa}$, $h_{22\kappa}$; для схемы с общей базой это $h_{11\delta}$, $h_{12\delta}$, $h_{21\delta}$, $h_{22\delta}$.

Определение h-параметров возможно, как чисто математически, на основании измеренных значений, так и по графикам характеристик транзистора (рис. 7.3, 7.4). При этом значения должны быть взяты с рабочих участков характеристики (относительно

«линейных»), так как параметры транзистора в режиме насыщения (полностью «открыт») или отсечки (полностью закрыт или начинает «открываться») существенно отличаться от таковых в рабочем режиме.

$$h_{11Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_{Б} \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}; \quad h_{12Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta U_{КЭ} \text{ при } I_{Б} = \text{const};$$

$$h_{21Э} = \Delta I_{К} / \Delta I_{Б} \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}; \quad h_{22Э} = \Delta I_{К} / \Delta U_{КЭ} \text{ при } I_{Б} = \text{const}.$$

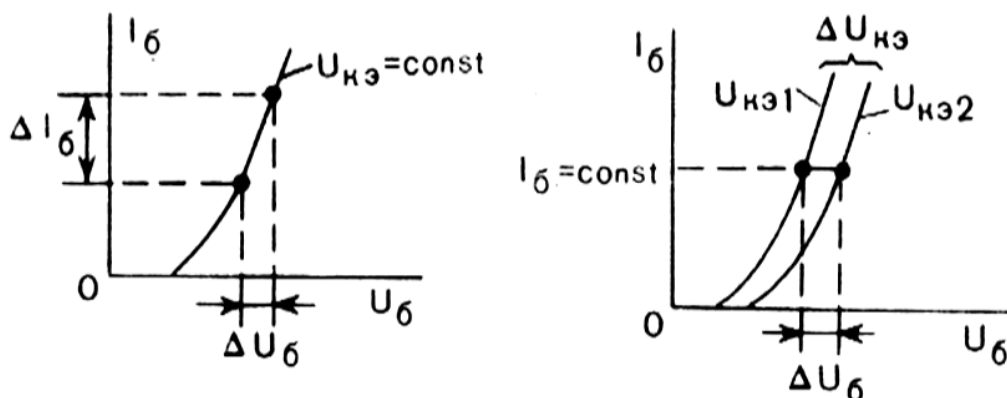


Рис. 7.3 Определение параметров h_{11} (слева) и h_{12} (справа) по входным характеристикам.

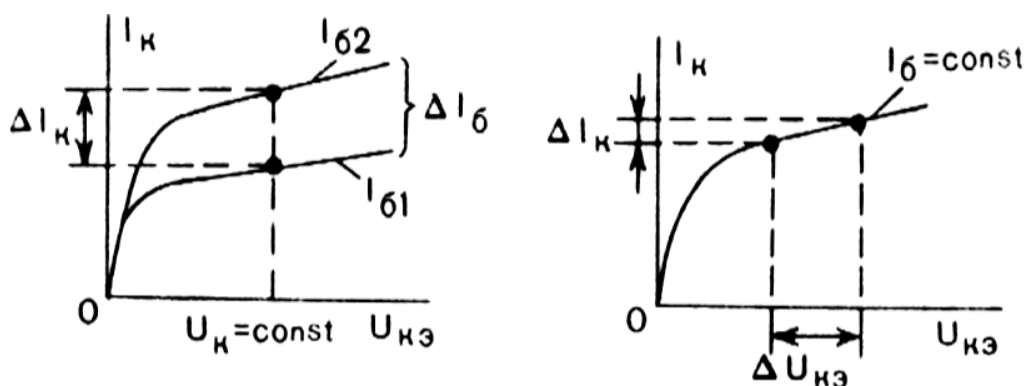


Рис. 7.4 Определение параметров h_{21} (слева) и h_{22} (справа) по входным характеристикам.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.
- 2) Получить транзисторы для визуального изучения.
- 3) Записать информацию о полученных транзисторах. Восстановить их параметры по маркировке на корпусе с использованием выданных справочников.
- 4) Выполнить расчёты по индивидуальному заданию.

5) Выполнить отчет по проделанной работе.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

1) Описание выданных транзисторов и их параметров, восстановленных по маркировке.

2) Решение индивидуального задания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия биполярного транзистора.

2. Приведите основные параметры биполярного транзистора.

3. В чем отличия между n-p-n и p-n-p типами?

4. Какие характеристики являются входными и выходными при схеме включения с общим эмиттером?

5. Чем обусловлен ток коллекторного перехода в случае, когда ток через эмиттерный переход равен нулю?

6. Как определить по входным и выходным характеристикам биполярного транзистора h -параметры?

7. Три основные схемы включения биполярного транзистора.

8. В чем достоинства и недостатки различных схем включения биполярный транзисторов?

9. Как температура и частота влияют на параметры БПТ?

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАСЧЁТА

1. Произвести выбор транзистора с параметрами не менее указанных в задании. Выбор производить по коэффициенту усиления по току и максимальному току коллектора.

ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ «ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ»

Вариант (по списку группы)	Задание 1	
	I_k , mA	I_b , mA
1	5	3,5
2	20	5
3	50	9
4	100	12
5	200	24
6	500	36
7	1000	20
8	2000	3,5
9	5	5
10	20	9
11	50	12
12	100	25
13	200	35
14	500	20
15	1000	3,5
16	2000	5
17	20	9
18	500	12
19	100	24
20	50	36
21	100	20
22	200	3,5
23	500	24
24	1000	5
25	2000	9
26	1000	12
27	2000	35
28	1000	35
29	2000	25
30	1000	15
31	1500	20
32	5	3,5
33	2000	5
34	1000	25
35	1500	35

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8. ПОДБОР ПО СПРАВОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ РАДИОКОМПОНЕНТОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: изучение принципов выбора электронных компонентов для установки в электронное устройство.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

подавляющее большинство электронных устройств состоит из множества взаимосвязанных компонентов различного типа и назначения.

Процесс проектирования электронного устройства предполагает разработку схемы и выбор компонентов с учетом требований к ним, возникающим при работе устройства. Таковыми могут быть протекающие в цепях устройства токи, величиной напряжений, необходимые величины по ограничению или усилению токов, формированию пропорции напряжения и многое другое.

Выбор компонентов производится на основе знаний об основных параметрах компонентов, а также знаний о методиках расчёта токов и напряжений в участках схемы.

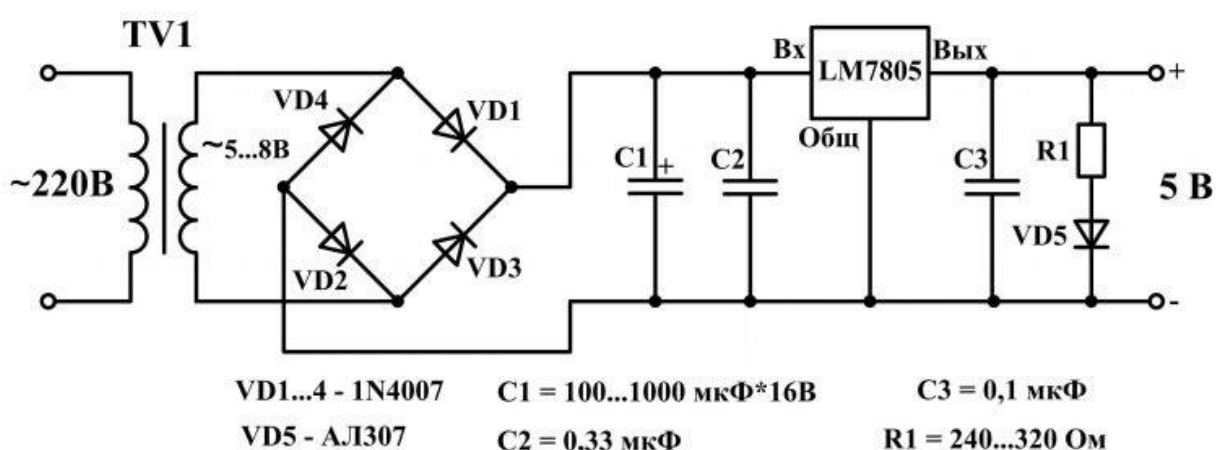


Рис. 7.1 Пример схемы простого электронного устройства.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с краткой теорией.

2) Получить схему электронного устройства с указанными параметрами токов и напряжений.

3) Произвести поиск и выбор конкретных наименований электронных компонентов.

4) Выполнить расчёты с обоснованием выбора.

5) Выполнить отчет по проделанной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1) Перечень выбранных элементов.

2) Расчеты, выполненные для выбора элементов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия биполярного транзистора.

2. Приведите основные параметры биполярного транзистора.

3. В чем отличия между n-p-n и p-n-p типами?

4. Какие характеристики являются входными и выходными при схеме включения с общим эмиттером?

5. Чем обусловлен ток коллекторного перехода в случае, когда ток через эмиттерный переход равен нулю?

6. Как определить по входным и выходным характеристикам биполярного транзистора h-параметры?

7. Три основные схемы включения биполярного транзистора.

8. В чем достоинства и недостатки различных схем включения биполярных транзисторов?

9. Как температура и частота влияют на параметры БПТ?

Самостоятельная работа

Самостоятельная работа необходима для формирования у обучающихся способности самостоятельно решать задачи профессиональной деятельности, формирования умения и навыков планирования времени, формирования стремления развиваться и совершенствоваться.

Вид СРС
1. Выполнение индивидуального исследования по направлению «Новейшие технологии и методы производства электрорадиоматериалов»
Выполнение индивидуального исследования по направлению «Перспективы развития качества производимых электрорадиоматериалов»
Выполнение индивидуального проекта по направлению: «Новейшие технологии и методы производства полупроводниковых интегральных схем»

**Выполнение индивидуального исследования
по направлению «Новейшие технологии
и методы производства электрорадиоматериалов»**

Цель задания: получение навыков самостоятельного исследования вопроса по источникам литературы, навыков публичного доклада, навыков подготовки презентации.

Задачи:

1. Найти информацию по исследуемому вопросу в источниках литературы из перечня, приведенного ниже, но не менее чем в 10 литературных источниках.

Изложить материал в краткой и понятной форме в объеме не менее 10 страниц формата А4.

Составить презентацию и выступить с докладом по данному исследованию.

**Выполнение индивидуального исследования
по направлению «Перспективы развития качества производимых электрорадиоматериалов»**

Цель задания: получение навыков самостоятельного исследования вопроса по источникам литературы, навыков публичного доклада, навыков подготовки презентации.

Задачи:

1. Найти информацию по исследуемому вопросу в источниках литературы из перечня, приведенного ниже, но не менее чем в 10 литературных источниках.

Изложить материал в краткой и понятной форме в объеме не менее 10 страниц формата А4.

Составить презентацию и выступить с докладом по данному исследованию.

Выполнение индивидуального исследования по направлению «Новейшие технологии и методы производства полупроводниковых интегральных схем»

Цель задания: получение навыков самостоятельного исследования вопроса по источникам литературы, навыков публичного доклада, навыков подготовки презентации.

Задачи:

1. Найти информацию по исследуемому вопросу в источниках литературы из перечня, приведенного ниже, но не менее чем в 10 литературных источниках.

Изложить материал в краткой и понятной форме в объеме не менее 10 страниц формата А4.

Составить презентацию и выступить с докладом по данному исследованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко, Г. Г. Материаловедение: учебник для СПО / Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. ; Под ред. Бондаренко Г.Г.. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2021. – 329 с. – ISBN 978-5-534- 08682-9. – URL: <https://urait.ru/book/materialovedenie-470070> (дата обращения: 09.02.2024). – Текст : электронный

2. Плошкин, В. В. Материаловедение: учебник для СПО / Плошкин В. В.. – 3-е изд., пер. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 463 с. – ISBN 978-5-534-02459-3. – URL: <https://urait.ru/book/materialovedenie451280> (дата обращения: 09.02.2024). – Текст : электронный.