

Реферат по дисциплине «Электроника и электронные компоненты»

На тему «Электронные компоненты»

Содержание

1. РЕЗИСТОРЫ
 - 1.1. Классификация (менее 1 Вт)
 - 1.2. Резисторы для объемного и печатного монтажа
 - 1.3. SMD резисторы
 - 1.4. Эквивалентная схема резистора на ВЧ и СВЧ
 - 1.5. Условное графическое обозначение резисторов. Примеры, обозначения резисторов, принципиальные схемы
2. КОНДЕНСАТОРЫ
 - 2.1. Классификация
 - 2.2. Конденсаторы для объемного и печатного монтажа
 - 2.3. SMD конденсаторы
 - 2.4. Эквивалентная схема конденсатора
 - 2.5. Условное графическое обозначение транзисторов.
3. ИНДУКТИВНОСТЬ
 - 3.1. Классификация
 - 3.2. Особенности и ограничения создания индуктивностей
4. ТРАНСФОРМАТОРЫ
 - 4.1. Классификация
 - 4.2. Условное графическое обозначение трансформаторов
5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ
 - 5.1. Классификация
 - 5.2. Выпрямительные диоды
 - 5.3. ВЧ и СВЧ диоды
 - 5.4. Импульсные диоды
 - 5.5. Диоды Шоттки
 - 5.6. Стабилитроны и стабисторы
 - 5.7. Туннельные и обращенные диоды
 - 5.8. Варикапы
6. БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР
 - 6.1. Принцип действия
 - 6.2. Схема включения биполярного транзистора (ОБ, ОЭ, ОК)
 - 6.3. Частотные свойства биполярного транзистора
7. СИСТЕМЫ h-ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА
 - 7.1. Система h-параметров для схемы с ОБ
 - 7.2. h-параметры для схемы с ОЭ

7.3. Задача. Графо-аналитический метод определения параметров на примере биполярного транзистора

7.4. Задача 2. Определение собственных параметров транзистора через его h -параметры

8. ПОЛЕВЫЕ ИЛИ УНИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

8.1. Полевые транзисторы управляемым переходом

8.2. Полевые транзисторы с изолированным затвором и встроенным f каналом. Понятие МДП-транзисторы

8.3. МДП транзисторы с изолированным и индуцированным каналом

8.4. Схемы включения полевых транзисторов (ОИ, ОС, ОЗ)

8.5. Сравнение различных транзисторов по частям свойствам по типу использования и по типу канала

8.6. Эквивалентная схема замещения транзистора на ВЧ

Список литературы

1. РЕЗИСТОРЫ

1.1. Классификация резисторов

Резистор (англ. *resistor*, от лат. *Resisto* - сопротивляюсь) - радиокомпонент, основное назначение которого оказывать активное сопротивление электрическому току. Основные характеристики резистора - номинальное сопротивление и рассеиваемая мощность. Наиболее широко используются постоянные резисторы, реже - переменные, подстроечные, а также резисторы, изменяющие свое сопротивление под действием внешних факторов.

По назначению:

- резисторы общего назначения;
- резисторы специального назначения:
- высокоомные (сопротивления от десятка МОм до единиц ТОм, рабочие напряжения 100—400 В);
- высоковольтные (рабочие напряжения — десятки кВ);
- высокочастотные (имеют малые собственные индуктивности и ёмкости, рабочие частоты до сотен МГц);
- прецизионные и сверхпрецизионные (повышенная точность, допуск 0,001 — 1 %).

По характеру изменения сопротивления:

- постоянные резисторы;
- переменные регулировочные резисторы;
- переменные подстроечные резисторы.

По способу защиты:

- изолированные;
- неизолированные;
- вакуумные;
- герметизированные.

По способу монтажа:

- для печатного монтажа;
- для навесного монтажа;
- для микросхем и микромодулей.

По виду вольт-амперной характеристики:

- линейные резисторы;
- нелинейные резисторы:
- варисторы — сопротивление зависит от приложенного напряжения;
- терморезисторы — сопротивление зависит от температуры;
- фоторезисторы — сопротивление зависит от освещённости;
- тензорезисторы — сопротивление зависит от деформации резистора;
- магниторезисторы — сопротивление зависит от величины магнитного поля.

- мемристоры (разрабатываются) — сопротивление зависит от протекавшего через него заряда (интеграла тока за время работы).

Резистором называется пассивный элемент РЭА, предназначенный для создания в электрической цепи требуемой величины сопротивления, обеспечивающей перераспределение и регулирование электрической энергии между элементами схемы. Внешний вид резистора приведен на рисунке 1.

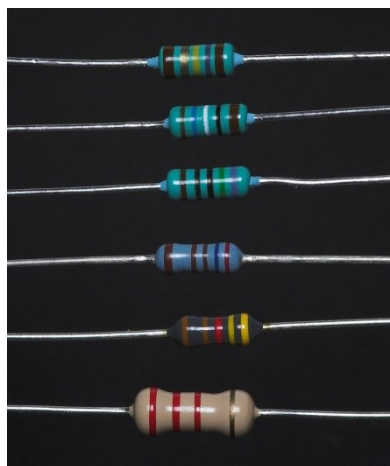


Рисунок 1 – Общий вид резистора

Выпускаемые отечественной промышленностью резисторы классифицируются по различным признакам. В зависимости от характера изменения сопротивления резисторы разделяют на постоянные — значение сопротивления фиксировано; переменные — с изменяющимся значением сопротивления.

В зависимости от назначения резисторы делятся на общего назначения и специальные (прецизионные, сверхпрецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокомегаомные).

Резисторы общего назначения используются в качестве нагрузок активных элементов, поглотителей, делителей в цепях питания, элементов фильтров, шунтов, в RC — цепях формирования импульсных сигналов и т.д. Диапазон номинальных сопротивлений этих резисторов 1 Ом...10 МОм, номинальные мощности рассеяния — 0,125... 100 Вт. Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 %. Примерами резисторов общего назначения служат C2-33, P1-12 и др..

Прецизионные и сверхпрецизионные резисторы отличаются высокой стабильностью параметров и высокой точностью изготовления (допуск $\pm 0,0005$... $0,5$ %). Данные резисторы применяются в основном в измерительных приборах, системах автоматики. Диапазон этих резисторов значительно шире, чем резисторов общего назначения. Примерами служат резисторы P1-72, P2-67, C2-10, C2-29, C2-36, P1-16, P1-8 и др.

Высокочастотные резисторы отличаются малыми собственными индуктивностью и емкостью и предназначены для работы в высокочастотных цепях, кабелях и волноводах. Примерами служат резисторы P1-69,

Высоковольтные резисторы рассчитаны на работу при больших (от единиц до десятков киловольт) напряжениях. Примерами высоковольтных резисторов служат P1-32, P1-35, C2-33НВ и др.

Высокомегаомные резисторы имеют диапазон номинальных сопротивлений от десятков мегаом до единиц тераом. Высокомегаомные резисторы применяются в цепях с рабочим напряжением до 400 В и обычно работают в режиме малых токов. Мощности рассеяния их невелики (до 0,5 Вт). Примером служит резистор P1-33.

В зависимости от способа защиты от внешних факторов резисторы делятся на неизолированные, изолированные, герметизированные и вакуумные.

Неизолированные резисторы с покрытием или без него не допускают касания своим корпусом шасси аппаратуры. Пример: P1-69.

Изолированные резисторы имеют изоляционное покрытие (лак, компаунд, пластмасса) и допускают касание корпусом шасси и токоведущих частей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Примеры: C5-35В, C5-36В, C5-37В, C5-43В, C5-47В и др.

Герметизированные резисторы имеют герметичную конструкцию корпуса, которая исключает влияние окружающей среды на его внутреннее пространство. Герметизация осуществляется, с помощью опрессовки специальным компаундом.

Вакуумные резисторы имеют резистивный элемент, помещенный в стеклянную вакуумную колбу.

По способу монтажа резисторы подразделяются на резисторы для навесного и печатного монтажа, для микромодулей и интегральных микросхем.

По материалу резистивного элемента резисторы делятся на проволочные, непроволочные, металлофольговые.

Проволочные - резисторы, в которых резистивным элементом является высокоомная проволока (изготавливается из высокоомных сплавов: константан, нихром, никелин).

Непроволочные - резисторы, в которых резистивным элементом являются пленки или объемные композиции с высоким удельным сопротивлением.

Металлофольговые - резисторы, в которых резистивным элементом является фольга определенной конфигурации.

Непроволочные резисторы можно разделить на тонкопленочные (толщина слоя в нанометрах), толстопленочные (толщина в долях миллиметра), объемные (толщина в единицах миллиметра). Примеры: C2-23, C2-33, C2-14, P1-32, P1-35, P1-12 и др.

1.2. Резисторы для объёмного и печатного монтажа

Размещение или компоновка резисторов и их монтаж на печатной плате является одним из важнейших составляющих радиоконструирования. Промышленно выпускаемые резисторы, например, типа МЛТ, обычно имеют выводы, ориентированные в осевом направлении, как показано на рис. 7. По форме выводы, как правило, круглые, но у некоторых резисторов, например, типа ВС, бывают и плоские. Выводы резисторов вставляют в отверстия контактных площадок печатной платы. Перед установкой выводы резисторов деформируют или изгибают и облуживают. Технологическая операция гибки выводов называется формованием выводов, придание выводам резисторов необходимой геометрической формы. Минимальное расстояние от корпуса резистора до места изгиба должно быть не менее пяти миллиметров.

Следующей важной характеристикой резисторов, влияющей на их применение в СВЧ аппаратуре, например в аттенуаторах гигагерцового диапазона, является реактивная составляющая полного сопротивления. Наименьшим значением этой составляющей обладают пленочные резисторы (пригодные как для объемного монтажа, так и для монтажа на поверхность) типов С6-1, С6-2, С6-3, С6-4, С6-5, С6-6 и С2-20. Резисторы перечисленных типов допускают работу в цепях с частотой сигнала до 18 ГГц. Большинство этих резисторов выпускаются с фиксированными номинальными значениями 50 Ом и 75 Ом. Резисторы С6-4 могут иметь номинальное значение сопротивления в диапазоне от 5,11 Ом до 1 Ком. Минимальный допуск на номинальное значение сопротивления составляет $\pm 0,5\%$ (для резисторов С5-6), ТКС изменяется для различных типов от ± 50 ppm/°C (для С6-5) до ± 600 ppm/°C (для С2-20).

1.3. Эквивалентная схема Резисторов на высоких частотах

Эквивалентная схема резисторов на высоких частотах приведена на рисунке 2.

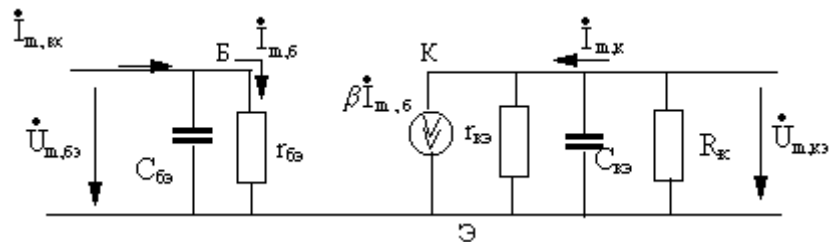


Рисунок 2

1.4. Схема обозначения

| | |
|--|---|
|  | <p><u>Переменный резистор</u> (реостат).</p> |
|  | <p>Переменный резистор, включенный как <u>реостат</u> (ползунок соединён с одним из крайних выводов).</p> |
|  | <p><u>Подстроечный резистор</u>.</p> |
|  | <p>Подстроечный резистор, включенный как <u>реостат</u> (ползунок соединён с одним из крайних выводов).</p> |
|  | <p><u>Варистор</u> (сопротивление зависит от приложенного напряжения).</p> |
|  | <p><u>Термистор</u> (сопротивление зависит от <u>температуры</u>).</p> |
|  | <p><u>Фоторезистор</u> (сопротивление зависит от <u>освещённости</u>).</p> |

2. КОНДЕНСАТОРЫ

2.1. Классификация конденсаторов

Конденсаторы делятся на конденсаторы общего и специального назначения, а также группируются по некоторым характеристикам.

Конденсаторы общего назначения широко применяются в различной аппаратуре. Обычно это низковольтные конденсаторы, к которым не предъявляются особые требования по классу точности, ТКЕ, напряжению и т.п.

Конденсаторы специального назначения - это все остальные конденсаторы. Как понятно из названия, эти конденсаторы предназначены для выполнения специфических функций (подавление помех, пуск электродвигателя и т.п.) или для работы в особых условиях (высокое напряжение, импульсный ток и т.п.).

Итак, классификация конденсаторов определяет группы по следующим признакам:

- **По назначению:**

1. Конденсаторы общего назначения
2. Конденсаторы специального назначения

- **По характеру изменения ёмкости:**

1. Конденсаторы постоянной ёмкости (постоянные конденсаторы)
2. Конденсаторы переменной ёмкости (переменные конденсаторы)
3. Подстроечные конденсаторы

- **По способу защиты:**

1. Незащищённые конденсаторы
2. Защищённые конденсаторы
3. Неизолированные конденсаторы
4. Изолированные конденсаторы
5. Уплотнённые конденсаторы
6. Герметизированные конденсаторы

- **По виду диэлектрика:**

1. С газообразным диэлектриком
2. С оксидным диэлектриком
3. С неорганическим диэлектриком
4. С органическим диэлектриком

Конденсаторы постоянной ёмкости (постоянные конденсаторы) подразделяются на высокочастотные и низкочастотные. Постоянные конденсаторы не могут изменять свою ёмкость в процессе работы, то есть их ёмкость является постоянной (точнее, она может колебаться в небольших пределах в зависимости от температуры, но это в пределах допусков).

Конденсаторы переменной ёмкости (переменные конденсаторы) могут изменять свою ёмкость в процессе работы. Как известно, ёмкость

конденсатора зависит от площади его обкладок и расстояния между ними. Эти параметры можно изменять различными способами. Вы наверняка пользовались аналоговыми радиоприёмниками, в которых переменные конденсаторы используются для настройки на радиостанцию.

Подстроечные конденсаторы также могут изменять свою ёмкость. Переменные конденсаторы отличаются от подстроечных тем, что их ёмкость можно изменять во время работы устройства, в то время как подстроечные конденсаторы используются обычно только при настройке аппаратуры на заводе.

Кроме этого конденсаторы можно разделить на полярные и неполярные (хотя по этим признакам их обычно не классифицируют).

Полярные конденсаторы могут работать только в цепях постоянного тока и требуют строгого соблюдения полярности при подключении (плюс подключается к выводу со знаком плюс, минус, соответственно - к выводу со знаком минус). При не соблюдении этого требования такой конденсатор может выйти из строя.

Неполярные конденсаторы могут работать в цепях как постоянного, так и переменного тока. Такие конденсаторы можно подключать без учёта полярности напряжения.

2.2. Конденсаторы для объёмного и печатного монтажа

Наиболее распространёнными в настоящее время являются керамические конденсаторы поверхностного монтажа. Конструктивно они представляют собой параллельное соединение плоских конденсаторов, нанесённых на керамическую подложку. Параллельное соединение позволяет увеличивать ёмкость конденсатора, не увеличивая при этом площадь, занимаемую конденсатором на печатной плате.

2.3 SMD Конденсаторы

Конденсаторы в SMD исполнении (рис.3) выпускаются в различных корпусах, керамических, пластиковых и металлических (алюминиевых).



Рисунок 3 – SMD конденсаторы.

2.4 Эквивалентная схема замещения конденсатора на высоких частотах

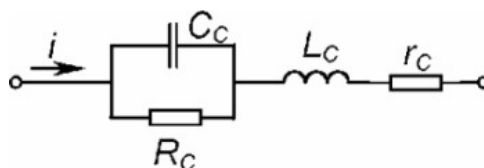


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения конденсатора.

2.5 Условное графическое обозначение

| Обозначение по ГОСТ 2.728-74 | Описание |
|------------------------------|--------------------------------|
| | Конденсатор постоянной ёмкости |
| | Поляризованный конденсатор |
| | Подстроечный конденсатор |

3.ИНДУКТИВНОСТЬ

3.1 Классификация

Катушка индуктивности - винтовая, спиральная или винтоспиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении. Как следствие, при протекании через катушку переменного электрического тока наблюдается её значительная инерционность.

Применяются для подавления помех, сглаживания биений, накопления энергии, ограничения переменного тока, в резонансных (колебательный контур) и частотно-избирательных цепях, в качестве элементов индуктивности искусственных линий задержки с сосредоточенными параметрами, создания магнитных полей, датчиков перемещений и так далее.

Конструктивно выполняется в виде винтовых или винтоспиральных (диаметр намотки изменяется по длине катушки) катушек однослойных или многослойных намоток изолированного одножильного или многожильного (литцендрат) проводника на диэлектрическом каркасе круглого, прямоугольного или квадратного сечения, часто на тороидальном каркасе или, при использовании толстого провода и малом числе витков — без каркаса.

Иногда, для снижения распределённой паразитной ёмкости, при использовании в качестве высокочастотного дросселя однослойные катушки индуктивности наматываются с «прогрессивным» шагом — шаг намотки плавно изменяется по длине катушки. Намотка может быть как однослойной (рядовая и с шагом), так и многослойной (рядовая, внавал, типа «универсал»). Намотка «универсал» имеет меньшую паразитную ёмкость. Часто, опять же, для снижения паразитной ёмкости, намотку выполняют секционированной, группы витков отделяются пространственно (обычно по длине) друг от друга.

3.2. Особенности изготовления индуктивности в интегральном исполнении

При создании интегральных схем наибольшую трудность представляет изготовление катушек индуктивности. В настоящее время для этого используют только тонкопленочную технологию, согласно которой индуктивные катушки получают осаждением на подложку материала, имеющего малое удельное сопротивление. Их обычно выполняют в виде спирали с малым шагом. Тонкопленочные индуктивные катушки имеют размеры, значительно больше размеров других компонентов интегральных схем. Номинальные значения их индуктивности не превышают 10 мкГн.

Для изготовления трансформаторных элементов нет разработанной технологии, поэтому в интегральных схемах, где необходимо использовать катушки с большими индуктивностями или трансформаторы, эти элементы делают навесными. Некоторые возможности по созданию эквивалентов индуктивных катушек имеются при использовании пьезокерамических кристаллов. Трудности, возникающие при изготовлении индуктивных катушек, заставляют при разработке интегральных схем почти полностью отказаться от их использования.

4. ТРАНСФОРМАТОРЫ ПИТАНИЯ

4.1. Классификация

Конструкция трансформаторов в значительной степени зависит от их назначения. По этому признаку трансформаторы разделяют на следующие основные виды:

- силовые:
 - в системах передачи и распределения электроэнергии;
 - для установок со статическими преобразователями (ионными, или полупроводниковыми);
 - при преобразовании переменного тока в постоянный (выпрямители), или постоянного в переменный (инверторы);
 - для получения требуемых напряжений в цепях управления электроприводами и в цепях местного освещения;
- силовые, специального назначения (печные, сварочные и т. п.);
- измерительные (для включения электрических измерительных приборов в сети высокого напряжения, или тока);
- испытательные (для получения высоких и сверхвысоких напряжений, необходимых при испытаниях на электрическую прочность электроизоляционных изделий);
- радио – трансформаторы (применяемые в устройствах радио и проводной связи, в системах автоматики и телемеханики, для получения требуемых напряжений, согласования сопротивлений электрических цепей, гальванического разделения цепей и др.);

Кроме того, имеется еще ряд специализированных трансформаторов.

Трансформаторы одного и того же назначения могут различаться:

- по виду охлаждения: с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением;
- по числу трансформируемых фаз: однофазные и многофазные;
- по форме магнитопровода: стержневые, броневые, бронестержневые, тороидальные;
- по числу обмоток: двухобмоточные и многообмоточные (одна первичная и две, или более вторичных обмоток);
- по конструкции обмоток: с концентрическими и чередующимися обмотками.

4.2 Условное графическое обозначение трансформаторов питания

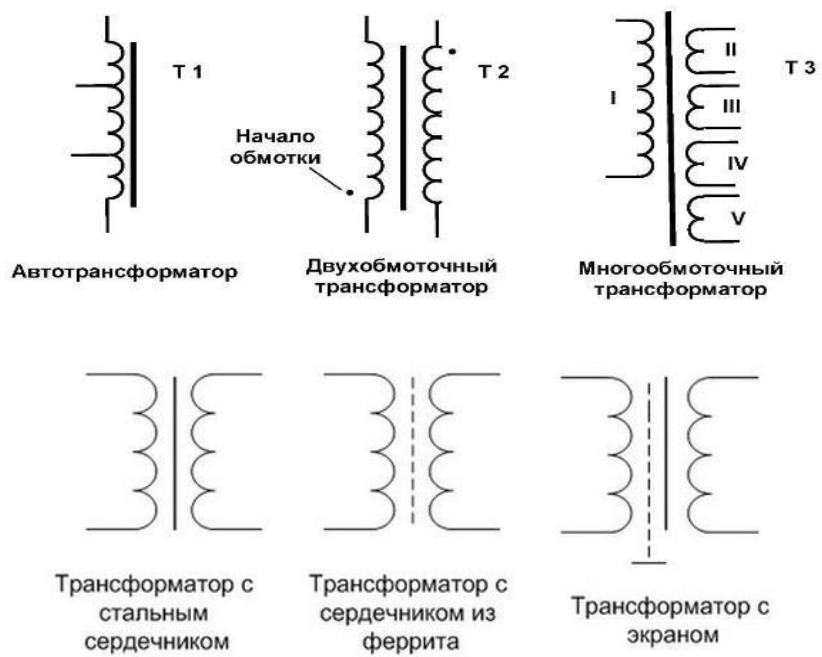


Рисунок 5 – Условное графическое обозначение трансформатора.

5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

5.1. Классификация

Полупроводниковый диод - полупроводниковый прибор, в широком смысле - электронный прибор, изготовленный из полупроводникового материала, имеющий два электрических вывода (электрода). В более узком смысле - полупроводниковый прибор, во внутренней структуре которого сформирован один p-n-переход.

1. Типы диодов по назначению
2. Типы диодов по частотному диапазону
3. Типы диодов по размеру перехода
4. Типы диодов по конструкции

5.2. Диоды выпрямительные

Выпрямительный диод – это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный.

Выпрямительные диоды, помимо применения в источниках питания для выпрямления переменного тока в постоянный, также используются в цепях управления и коммутации, в ограничительных и развязывающих цепях, в схемах умножения напряжения и преобразователях постоянного напряжения, где не предъявляются высокие требования к частотным и временным параметрам сигналов.

С повышением температуры обратный ток у германиевых выпрямительных диодов резко возрастает за счет роста теплового тока.

У кремниевых диодов тепловой ток очень мал, и поэтому они могут работать при более высоких температурах и с меньшим обратным током, чем германиевые диоды.

Кремниевые диоды могут работать при значительно больших обратных напряжениях, чем германиевые диоды. Максимально допустимое постоянное обратное напряжение у кремниевых диодов увеличивается с повышением температуры до максимального значения, в то время как у германиевых диодов резко падает.

5.3 Высокочастотные и сверхвысокочастотные диоды

Сверхвысокочастотный диод — полупроводниковый диод, предназначенный для работы в диапазоне ВЧ и СВЧ.

ВЧ и СВЧ диоды подразделяют на:

- смесительные;
- детекторные;

- параметрические;
- переключательные и ограничительные;
- умножительные и настроечные;
- генераторные.

В зависимости от внутреннего строения диода и используемых в нём физических эффектов диоды СВЧ различных типов подразделяются на большое число подтипов. Часто диоды одного подтипа могут использоваться в функциональных узлах различного назначения. Например, в некоторых случаях диоды СВЧ умножительные могут применяться в смесителях и т. д. Наиболее известны и распространены следующие виды диодов СВЧ:

- лавинно-пролетные диоды (диоды Рида, диоды Мисавы, диоды Тагера и т. д.);
- р-і-п диоды;
- диоды Ганна;
- точечно-контактные диоды;
- диоды с переходом («барьером») Шоттки или Мотта.

5.4. Диоды импульсные

Импульсный диод – это полупроводниковый диод, имеющий малую длительность переходных процессов и предназначенный для применения в импульсных режимах работы.

Импульсные режимы – это такие режимы, когда диоды переключаются с прямого напряжения на обратное, через короткие промежутки времени порядка долей микросекунды при этом важную роль играют здесь переходные процессы.

5.5 Диоды Шоттки

Потенциальный барьер, полученный на основе контакта «металл – полупроводник», часто называют барьером Шоттки, а диоды, использующие такой потенциальный барьер, – диодами Шоттки (рис.6).

Диоды Шоттки изготавливаются обычно на основе кремния Si или арсенида галлия GaAs, реже на основе германия Ge. Выбор металла для контакта с полупроводником определяет многие параметры диода.



Рисунок 6 – Условное графическое обозначение диода Шоттки.

5.6 Стабилитроны и стабилитроны

Стабилитронами называют полупроводниковые диоды, использующие особенность обратной ветви вольт-амперной характеристики на участке пробоя изменяться в широком диапазоне изменения токов при сравнительно небольшом отклонении напряжения. Это свойство широко используется при создании специальных устройств – стабилизаторов напряжения.

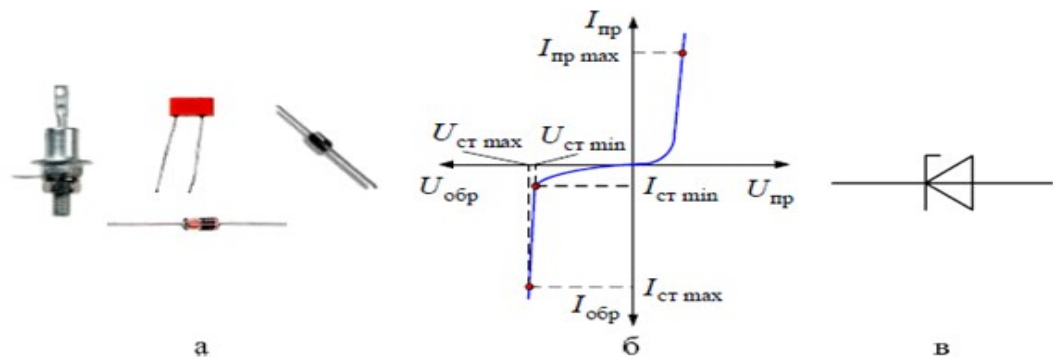


Рисунок 7 – Стабилитроны: конструкции (а), вольт-амперная характеристика (б) и условное графическое обозначение (в).

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, напряжение на котором в области прямого смещения слабо зависит от тока в заданном его диапазоне и который предназначен для стабилизации напряжения.

Стабилизацию постоянного напряжения можно также получить при использовании диода, включенного в прямом направлении, используя для этой цепи крутой участок прямой ветви вольт-амперной характеристики.

5.7 Туннельные и обращенные диоды

Туннельный диод – это полупроводниковый диод (рис.8) на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольт-амперной характеристике при прямом напряжении участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

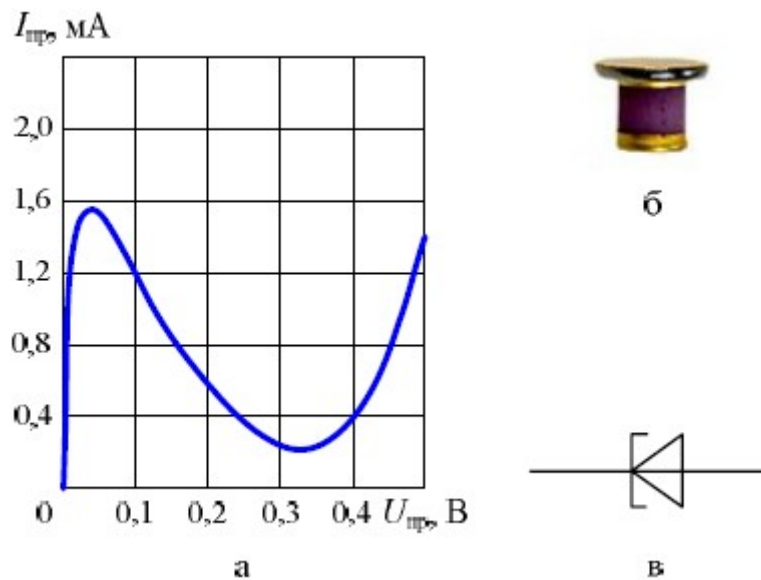


Рисунок 8 – Туннельный диод 1И104:
 а – вольтамперная характеристика при прямом смещении;
 б – конструктивное исполнение;
 в – условное графическое изображение туннельных диодов.

Обращенный диод – это разновидность туннельного диода, у которого концентрация примесей подобрана таким образом, что в уравновешенном состоянии при отсутствии внешнего напряжения потолок валентной зоны материала р-типа совпадает с дном зоны проводимости материала n-типа.

5.8 Варикапы

Варикап – это полупроводниковый диод (рис.9), в котором используется зависимость барьерной емкости р-n-перехода от обратного напряжения.

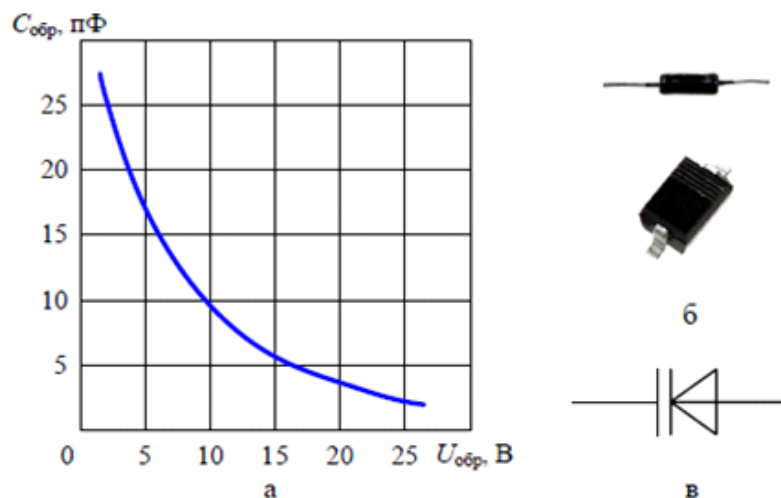


Рисунок 9 – Варикапы: вольт-амперная характеристика (а);
 конструкции (б); условное графическое изображение варикапов (в).

Основные параметры варикапов:

- номинальная ёмкость C – ёмкость между выводами, измеренная при заданном обратном напряжении;
- добротность варикапа Q – отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданной ёмкости или обратном напряжении;
- коэффициент перекрытия по ёмкости K – отношение максимальной ёмкости C_{\max} варикапа к его минимальной ёмкости C_{\min} при двух заданных значениях обратного напряжения.
- температурный коэффициент ёмкости – относительное изменение ёмкости варикапа, приходящееся на один градус изменения температуры окружающей среды.

6. БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

6.1. Принцип действия

В активном усилительном режиме работы транзистор включён так, что его эмиттерный переход смещён в прямом направлении (открыт), а коллекторный переход смещён в обратном направлении (закрит). Условное обозначение биполярного транзистора приведено на рисунке 10.

В транзисторе типа п-р-п основные носители заряда в эмиттере (электроны) проходят через открытый переход эмиттер-база (инжектируются) в область базы. Часть этих электронов рекомбинирует с основными носителями заряда в базе (дырками). Однако, из-за того, что базу делают очень тонкой и сравнительно слабо легированной, большая часть электронов, инжектированных из эмиттера, диффундирует в область коллектора, так как время рекомбинации относительно велико. Сильное электрическое поле обратносмещённого коллекторного перехода захватывает неосновные носители из базы (электроны) и переносит их в коллекторный слой. Ток коллектора, таким образом, практически равен току эмиттера, за исключением небольшой потери на рекомбинацию в базе, которая и образует ток базы ($I_э = I_б + I_к$).

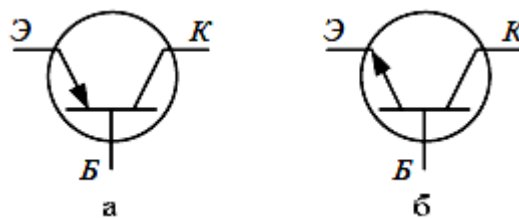


Рисунок 10 – Условное обозначение транзисторов:
а) – транзистор р-п-р типа; б) – транзистор п-р-п типа.

Коэффициент α , связывающий ток эмиттера и ток коллектора ($I_к = \alpha I_э$), называется коэффициентом передачи тока эмиттера. Численное значение коэффициента $\alpha = 0,9—0,999$. Чем больше коэффициент, тем эффективней транзистор передаёт ток. Этот коэффициент мало зависит от напряжения коллектор-база и база-эмиттер. Поэтому в широком диапазоне рабочих напряжений ток коллектора пропорционален току базы, коэффициент пропорциональности равен $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$, от 10 до 1000. Таким образом, малый ток базы управляет значительно большим током коллектора.

6.2. Схемы включения биполярного транзистора

Схема включения биполярного транзистора с общей базой (рис.11)

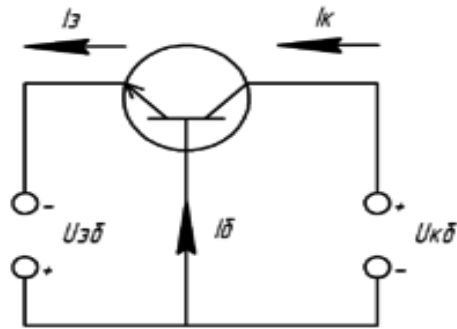


Рисунок - 11

Схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером (рис.12)

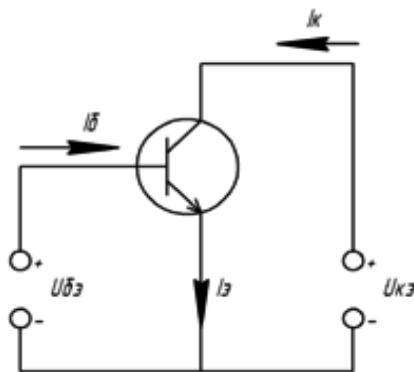


Рисунок - 12

Схема включения биполярного транзистора с общим коллектором (рис.13)

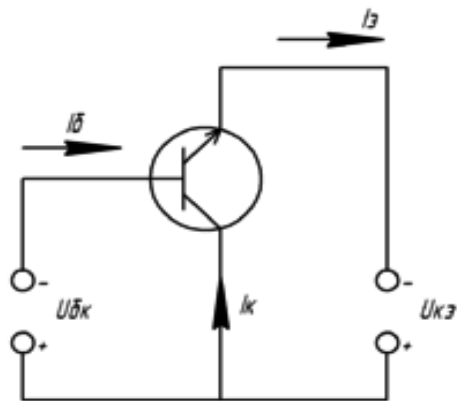


Рисунок - 13

6.3. Частотные свойства биполярного транзистора

Частотные свойства транзисторов определяют диапазон частот синусоидального сигнала, в пределах которого прибор может выполнять характерную для него функцию преобразования сигнала. Принято частотные свойства приборов характеризовать зависимостью величин его параметров от частоты.

Для биполярных транзисторов в основном представляет интерес зависимость от частоты коэффициента передачи входного тока, а также зависимость входного и выходного сопротивлений. Обычно рассматривается активный режим при малых амплитудах сигнала в схемах включения с ОБ и ОЭ.

В динамическом режиме между входными и выходными сигналами появляются фазовые сдвиги и вместо приращений токов и напряжений необходимо брать комплексные величины, поэтому и параметры заменяются комплексными (частотно зависимыми) величинами.

Проведем анализ частотных свойств коэффициентов передачи, используя Т-образную линейную модель (эквивалентную схему) транзистора.

На частотные свойства БТ влияют время пролета носителей через базу t_b , а также ёмкости эмиттерного и коллекторного переходов $C_{э}$, $C_{к}$ и объёмное сопротивление базы R'_B .

При рассмотрении работы транзистора р-п-р в схеме ОБ оказывается, что диффузионный характер распространения неравновесных дырок в базовой области приводит к дисперсии времени их прибытия к коллекторному переходу. С ростом частоты из-за этого уменьшается амплитуда сигнала на выходе транзистора, а, следовательно, и коэффициент передачи тока. Допустим, что в момент поступления на вход транзистора положительного полупериода сигнала через эмиттерный переход инжектируется большое число дырок. Часть из них быстро достигает коллекторного перехода; другая же часть, двигаясь по более длинному пути, задерживается. При высокой частоте сигнала, когда среднее время перемещения дырок в базовой области сравнимо с его периодом, положительный полупериод быстро сменяется отрицательным. В течение действия отрицательного полупериода число инжектированных дырок уменьшится, и часть их дойдет до коллекторного перехода одновременно с запоздавшими дырками от положительного полупериода. В результате этого сигнал на выходе транзистора получится усредненным, а усилительный эффект и коэффициент $h_{21Б}$ уменьшатся.

7. Система h-полярности для биполярного транзистора

Транзистор с его внутренними параметрами, определяемыми эквивалентной схемой, можно представить в виде линейного четырехполюсника – «черного ящика» с произвольной, но неизменной структурой, которая определяет соответствующие зависимости между входными и выходными параметрами (U_1, I_1, U_2, I_2).

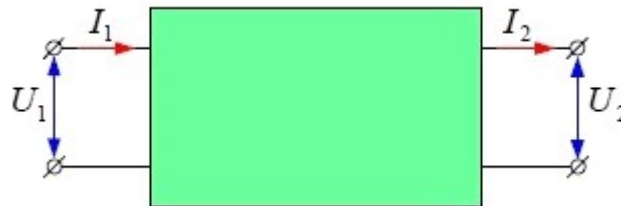


Рисунок 14 – Схема четырехполюсника

7.1 Система h-параметров для схемы с общей базой

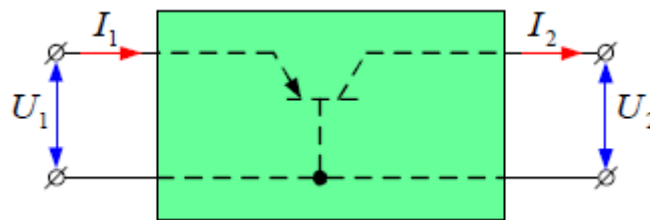


Рисунок 15 – Эквивалентная схема четырехполюсника для схемы с общей базой

Для схемы с общей базой входными и выходными величинами являются :

$$\begin{aligned} U_1 &= U_{эб}; & I_1 &= I_э; \\ U_2 &= U_{кэ}; & I_2 &= I_к. \end{aligned}$$

Так как транзистор чаще усиливает сигнал переменного тока, то и h-параметры по переменному току должны определяться не как статические, а как динамические (дифференциальные). Для схемы с общей базой они определяются по выражениям:

$$h_{11\delta} = \left. \frac{\Delta U_{\delta\delta}}{\Delta I_{\delta}} \right|_{U_{\kappa\delta} = const}$$

$$h_{12\delta} = \left. \frac{\Delta U_{\delta\delta}}{\Delta U_{\kappa\delta}} \right|_{I_{\delta} = const}$$

$$h_{21\delta} = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\delta}} \right|_{U_{\kappa\delta} = const}$$

$$h_{22\delta} = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta U_{\kappa\delta}} \right|_{I_{\delta} = const}$$

7.2 Система h-параметров для схемы с общим эмиттером

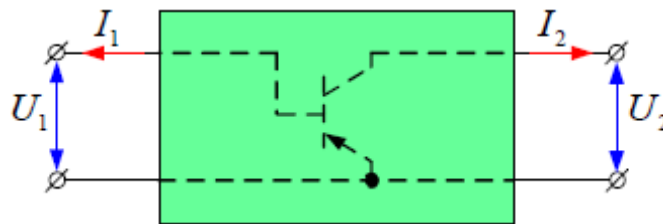


Рисунок 16 – Эквивалентная схема четырехполюсника для схемы с общим эмиттером.

Для схемы с общим эмиттером входными и выходными величинами являются: $U_1 = U_{\delta\delta}$; $I_1 = I_{\delta}$; $U_2 = U_{\kappa\delta}$; $I_2 = I_{\kappa}$.

Для схемы с общим эмиттером h-параметры определяются из соотношений:

$$h_{11\delta} = \left. \frac{\Delta U_{\delta\delta}}{\Delta I_{\delta}} \right|_{U_{\kappa\delta} = const}$$

$$h_{12\delta} = \left. \frac{\Delta U_{\delta\delta}}{\Delta U_{\kappa\delta}} \right|_{I_{\delta} = const}$$

$$h_{21\delta} = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\delta}} \right|_{U_{\kappa\delta} = const}$$

$$h_{223} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{K3}} \right|_{I_{\bar{6}} = const}$$

7.3 Графоаналитический метод определения h-параметров на примере биполярного транзистора КТ349

Вольт- амперная характеристика биполярного транзистора представлена на рисунке 17.

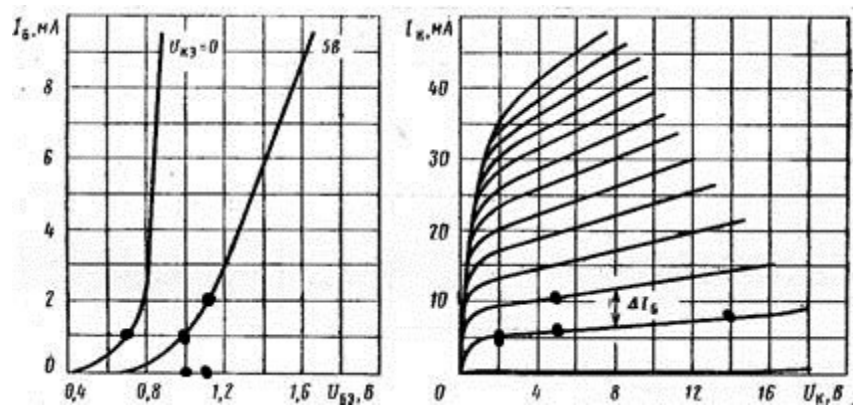


Рисунок - 17

Для расчета применим схему включения транзистора с ОЭ.
Формулы для расчет:

$$h_{113} = \left. \frac{\Delta U_{B3}}{\Delta I_B} \right|_{U_{K3} = const}$$

$$h_{123} = \left. \frac{\Delta U_{B3}}{\Delta U_{K3}} \right|_{I_B = const}$$

$$h_{213} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{K3} = const}$$

$$h_{223} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{K3}} \right|_{I_B = const}$$

$$h_{11} = 100 \text{ Ом}$$

$$h_{12} = 0,06 \text{ Ом}$$

$$h_{21} = 0,005 \text{ A}$$

$$h_{22} = 0,00025 \text{ См}$$

7.4 Определение собственных параметров транзистора КП101 через его h-параметры

Для определения собственных параметров униполярного транзистора КП101 используются следующие формулы:

$$r_6 = h_{11} - \frac{h_{12}}{h_{22}}(1 + h_{21})$$

$$r_3 = \frac{h_{12}}{h_{22}}$$

$$r_{K(\infty)} = \frac{1}{h_{22}}$$

$$\beta = h_{21}$$

Отсюда:

$$r_6 = 152 \text{ Ом}$$

$$r_3 = 240 \text{ Ом}$$

$$r_k = 4 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$\beta = 0,005 \text{ А}$$

8. УНИПОЛЯРНЫЕ ИЛИ ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

8.1. Полевые транзисторы с управляющим р-n переходом (условные и графические обозначения, принцип действия)

Полевой транзистор с управляющим р-n-переходом — это полевой транзистор, в котором пластина из полупроводника, например n-типа, имеет на противоположных концах электроды (исток и сток), с помощью которых она включена в управляемую цепь. Управляющая цепь подключается к третьему электроду (затвору) и образуется областью с другим типом проводимости, в данном случае р-типом.

Источник питания, включенный во входную цепь, создаёт на единственном р-n-переходе обратное напряжение. Во входную цепь также включается и источник усиливаемых колебаний. При изменении входного напряжения изменяется обратное напряжение на р-n-переходе, в связи с чем меняется толщина обедненного слоя (n-канал), то есть площадь поперечного сечения области, через которую проходит поток основных носителей заряда. Эта область называется каналом.

Проводимость канала может быть как n-, так и р-типа. Поэтому по типу проводимости канала различают полевые транзисторы с n-каналом и р-каналом. Полярности напряжений смещения, подаваемых на электроды транзисторов с n- и с р-каналом, противоположны.

Управление током и напряжением на нагрузке, включённой последовательно к каналу полевого транзистора и источнику питания, осуществляется изменением входного напряжения, вследствие чего изменяется обратное напряжение на р-n-переходе, что ведёт к изменению толщины запирающего (обеднённого) слоя. При некотором запирающем напряжении площадь поперечного сечения канала станет равной нулю и ток в канале транзистора станет весьма малым. В связи с незначительностью обратных токов р-n-перехода, мощность источника сигнала ничтожно мала.

От биполярного транзистора полевой транзистор отличается, во-первых, принципом действия: в биполярном транзисторе управление выходным сигналом производится входным током, а в полевом транзисторе — входным напряжением или электрическим полем. Во-вторых, полевые транзисторы имеют значительно большие входные сопротивления, что связано с обратным смещением р-n-перехода затвора в рассматриваемом типе полевых транзисторов. В-третьих, полевые транзисторы могут обладать низким уровнем шума (особенно на низких частотах), так как в полевых транзисторах не используется явление инъекции неосновных носителей заряда и канал полевого транзистора может быть отделён от поверхности полупроводникового кристалла. Процессы рекомбинации носителей в р-n-

переходе и в базе биполярного транзистора, а также генерационно-рекомбинационные процессы на поверхности кристалла полупроводника сопровождаются возникновением низкочастотных шумов.

8.2 Полевые транзисторы с изолированным затвором, МДП транзисторы, транзисторы с встроенным каналом

Полевой транзистор с изолированным затвором – это транзистор, имеющий один или несколько затворов, электрически изолированных от проводящего канала.

Дальнейшим развитием полевых транзисторов являются транзисторы с изолированным затвором. У них металлический затвор отделен от полупроводникового канала тонким слоем диэлектрика. Поскольку металлический затвор отделен от полупроводника слоем диэлектрика, то входное сопротивление таких транзисторов велико (для современных транзисторов достигает 10^{17} Ом).

Полевые транзисторы с изолированным затвором бывают двух типов:

- со встроенным (собственным) каналом;
- с индуцированным (инверсионным) каналом.

Структура в обоих типах полевых транзисторов с изолированным затвором одинакова: металл – окисел (диэлектрик) – полупроводник, то такие транзисторы еще называют МОП-транзисторами (металл – окисел – полупроводник), или МДП-транзисторами (металл – диэлектрик – полупроводник).

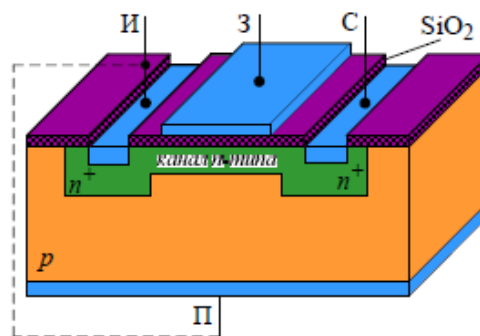


Рисунок 18 – Структура полевого транзистора с изолированным затвором со встроенным каналом n-типа.

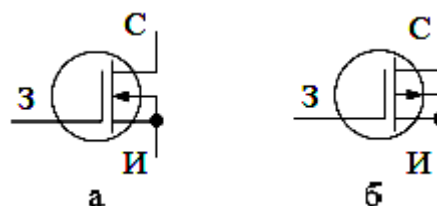


Рисунок 19 – Условные графические обозначения МДП-транзистора со встроенным каналом n-типа (а) и p-типа (б).

8.3 Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом

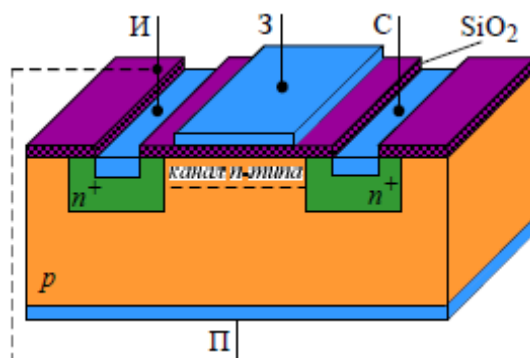


Рисунок 20 – Структура полевого транзистора с изолированным затвором с индуцированным каналом n-типа.

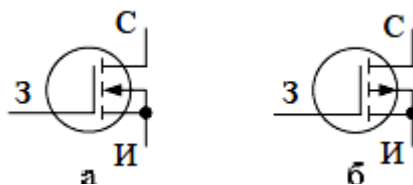


Рисунок 21 – Условные графические обозначения МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа (а) и р-типа (б)

При напряжении на затворе относительно истока, равном нулю, и при наличии напряжения на стоке, — ток стока оказывается ничтожно малым. Он представляет собой обратный ток р-п-перехода между подложкой и сильнолегированной областью стока. При отрицательном потенциале на затворе в результате проникновения электрического поля через диэлектрический слой в полупроводник при малых напряжениях на затворе (меньших $U_{зипор}$) у поверхности полупроводника под затвором возникает обеднённый основными носителями слой эффект поля и область объёмного заряда, состоящая из ионизированных некомпенсированных примесных атомов. При напряжениях на затворе, больших $U_{зипор}$, у поверхности полупроводника под затвором возникает инверсный слой, который и является каналом р-типа, соединяющим исток со стоком. Толщина и поперечное сечение канала будут изменяться с изменением напряжения на затворе, соответственно будет изменяться и ток стока, то есть ток в цепи нагрузки и относительно мощного источника питания. Так происходит управление током стока в полевом транзисторе с изолированным затвором и с индуцированным каналом.

В связи с тем, что затвор отделён от подложки диэлектрическим слоем, ток в цепи затвора ничтожно мал, мала и мощность, потребляемая от

источника сигнала в цепи затвора и необходимая для управления относительно большим током стока. Таким образом, МДП-транзистор с индуцированным каналом может производить усиление электромагнитных колебаний по напряжению и по мощности.

Принцип усиления мощности в МДП-транзисторах можно рассматривать с точки зрения передачи носителями заряда энергии постоянного электрического поля (энергии источника питания в выходной цепи) переменному электрическому полю. В МДП-транзисторе до возникновения канала почти всё напряжение источника питания в цепи стока падало на полупроводнике между истоком и стоком, создавая относительно большую постоянную составляющую напряжённости электрического поля. Под действием напряжения на затворе в полупроводнике под затвором возникает канал, по которому от истока к стоку движутся носители заряда — дырки. Дырки, двигаясь по направлению постоянной составляющей электрического поля, разгоняются этим полем и их энергия увеличивается за счёт энергии источника питания, в цепи стока. Одновременно с возникновением канала и появлением в нём подвижных носителей заряда уменьшается напряжение на стоке, то есть мгновенное значение переменной составляющей электрического поля в канале направлено противоположно постоянной составляющей. Поэтому дырки тормозятся переменным электрическим полем, отдавая ему часть своей энергии.

8.4. Схемы включения полевого транзистора

Схема включения полевого транзистора с общим затвором (рис.22)

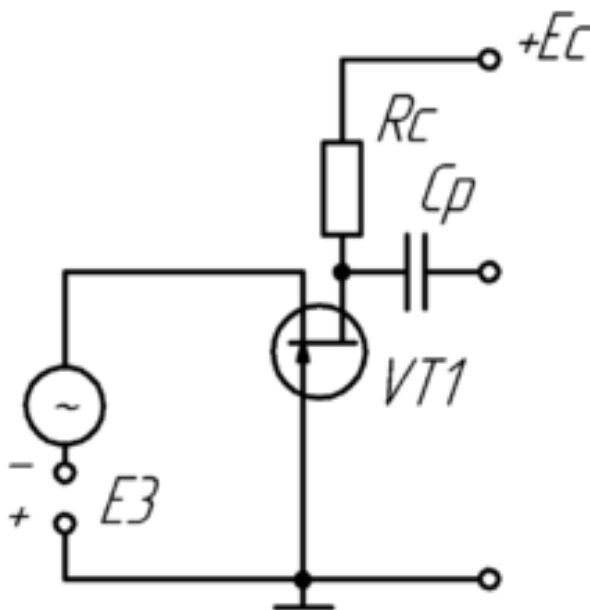


Рисунок - 22

Схема включения полевого транзистора с общим истоком (рис.23)

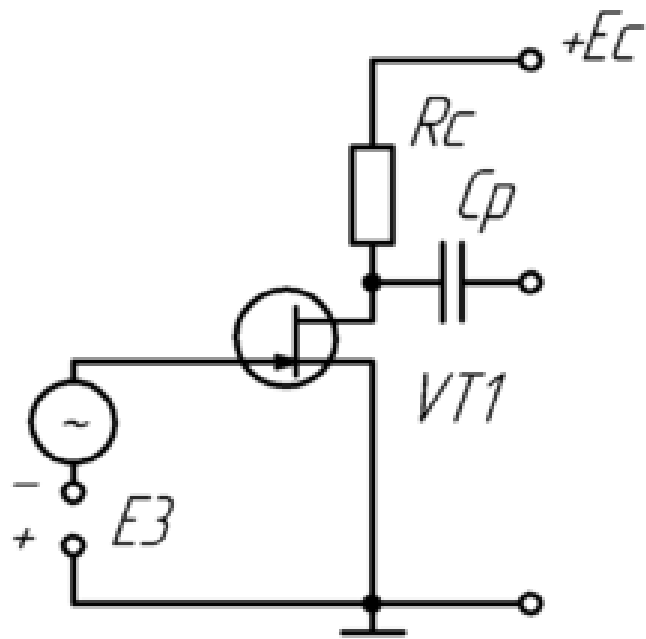


Рисунок - 23

Схема включения полевого транзистора с общим стоком (рис.24)

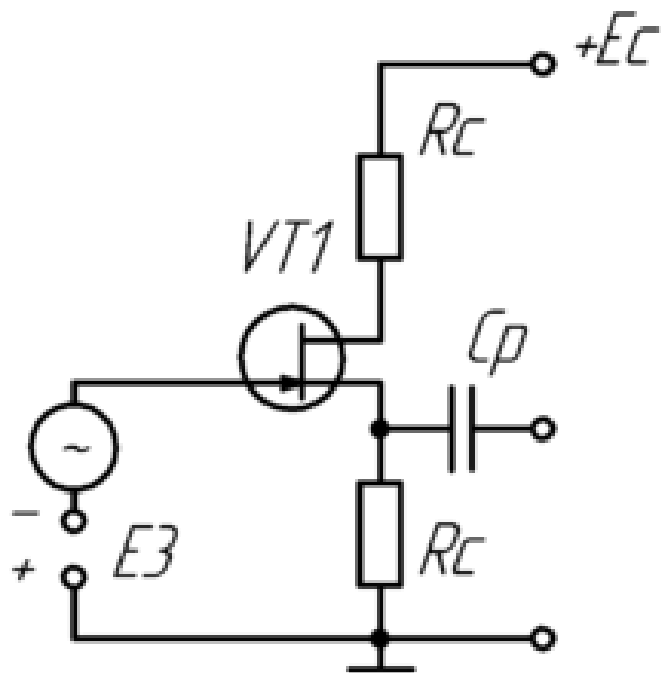


Рисунок - 24

8.5 Сравнение различных транзисторов по частям свойств по типу использования и по типу канала

Полевые и биполярные транзисторы выполняют одинаковые функции: работают в схеме или в качестве линейного усилителя, или в качестве ключа. Ниже приводится краткое обобщающее сравнение этих двух типов транзисторов.

Таблица 1

| Биполярные транзисторы | Полевые транзисторы |
|---|--|
| Управляемый физический процесс – инжекция неосновных носителей заряда: изменяется ток управления – изменяется поток инжектированных носителей заряда, что приводит к изменению выходного тока | Управляемый физический процесс – эффект поля, вызывающий изменение концентрации носителей заряда в канале: изменяется управляющее напряжение – изменяется проводимость канала, что приводит к изменению выходного тока |
| Выходной ток обеспечивается носителями обоих знаков (дырками и электронами) | Выходной ток обеспечивается основными носителями одного знака (или дырками, или электронами) |
| Прибор управляется током, так как на входе имеется прямосмещенный <i>pn</i> - переход и входное сопротивление мало | Прибор управляется напряжением; входное сопротивление очень большое, так как входная цепь от выходной изолирована обратносмещенным <i>pn</i> -переходом или слоем диэлектрика |
| При управлении от интегральных схем требуется дополнительное усиление тока | Возможно непосредственное управление от интегральных схем |
| Относительно небольшой коэффициент усиления по току | Очень большой коэффициент усиления по току |
| Необходимость специальных мер по повышению помехоустойчивости | Высокая помехоустойчивость |
| Низкая теплостойкость: с увеличением тока растет температура структуры, что приводит к большему увеличению тока | Высокая теплостойкость: рост температуры структуры приводит к увеличению сопротивления канала, и ток уменьшается |
| Высокая вероятность саморазогрева и вторичного пробоя | Низкая вероятность саморазогрева и вторичного пробоя |
| Высокая чувствительность к токовым перегрузкам | Низкая чувствительность к токовым перегрузкам |
| Необходимость выравнивания токов в параллельном соединении приборов | Равномерное распределение тока в параллельном соединении приборов |

Проведенное сравнение показывает, что в дискретных электронных устройствах полевые транзисторы в ряде применений предпочтительнее

биполярных. Во-первых, управляющая цепь полевых транзисторов потребляет ничтожную энергию, так как входное сопротивление этих приборов очень велико. Как правило, усиление мощности и тока в полевых транзисторах много больше, чем в биполярных. Во-вторых, вследствие того, что управляющая цепь изолирована от выходной цепи, значительно повышаются надежность работы и помехоустойчивость схем на полевых транзисторах. В-третьих, полевые транзисторы имеют низкий уровень собственных шумов, что связано с отсутствием инжекции и свойственных ей флюктуаций. Наконец, в-четвертых, полевые транзисторы, вообще говоря, обладают более высоким собственным быстродействием, так как в них нет инерционных процессов накопления и рассасывания носителей заряда.

Однако полевые транзисторы имеют и недостатки. Вследствие относительно высокого сопротивления канала в открытом состоянии падение напряжения на открытом полевом транзисторе заметно больше, чем падение напряжения на насыщенном биполярном транзисторе. Этот недостаток усугубляется еще и тем, что температурная зависимость сопротивления канала сильнее, чем зависимость от температуры напряжения насыщения биполярного транзистора.

8.6 Эквивалентная схема замещения транзистора на ВЧ

Характеристиками транзисторов пользуются, как правило, для определения режимов работы транзисторных схем, а также для графического анализа этих схем при больших сигналах. При аналитическом методе расчета транзисторных схем, позволяющем проводить их количественную оценку, пользуются *эквивалентными схемами транзисторов*, которые отражают структурную связь малосигнальных параметров транзисторов в режиме переменного тока.

Малосигнальные эквивалентные схемы транзистора, представляющие собой линейные цепи, подразделяют на две большие группы: эквивалентные схемы, построенные с учётом физических свойств, структуры и геометрии транзистора (модели), и эквивалентные схемы, отражающие свойства транзистора как активного линейного четырехполюсника (формальные эквивалентные схемы). Первые характеризуются физическими собственными или *внутренними параметрами транзистора*, вторые - параметрами транзистора как четырехполюсника (*характеристическими параметрами*). Обе группы эквивалентных схем могут быть использованы при анализе транзисторных каскадов, работающих в активном режиме.

Эквивалентная схема, содержащая физические параметры транзистора, может быть составлена для любой схемы его включения: ОБ, ОЭ, ОК. Ниже

рассматриваются схемы замещения транзисторов ОБ и ОЭ для переменных составляющих токов и напряжений применительно к расчету схем с транзисторами, работающими в усилительных каскадах. Такие схемы замещения справедливы для линейных участков входных и выходных характеристик транзистора, при которых параметры транзистора можно считать неизменными. В этом случае используют так называемые дифференциальные параметры транзистора, относящиеся к небольшим приращениям напряжения и тока. Наиболее точно структуру транзистора при этом отражает Т-образная схема замещения.

Т-образная схема замещения транзистора, включенного по схеме с ОБ показана на рисунке 25, а. она представляет собой сочетание двух контуров: левого, относящегося к входной цепи (эмиттер - база), и правого, относящегося к выходной цепи (коллектор - база). Общим для обоих контуров является цепь базы с сопротивлением r_b .

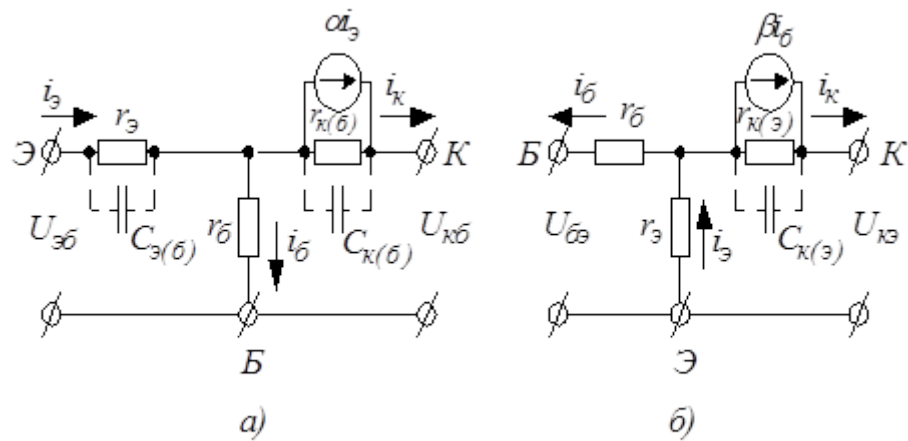


Рисунок 25 - Схема замещения транзистора в физических параметрах, включенного по схемам ОБ и ОЭ.

Список используемой литературы:

- Малютин А. Е., Филиппов И. В. История электроники М.: Электронный учебник — РГРТА, 2006.
- Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. — М.: Мир, 1982
- Гейтс Э. Д. Введение в электронику — 1998
- Горбачёв Г. Н. Чаплыгин Е. Е. Промышленная электроника / Под ред. проф. В. А. Лабунцова. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
- Грабовски Б. Краткий справочник по электронике — 2004.
- Жеребцов И. П. Основы электроники. — 1989