

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Методические рекомендации
по изучению учебного предмета,
задания для контрольной работы и
рекомендации по ее выполнению
для учащихся заочной формы получения образования
специальности 5-04-0714-11 «Техническая эксплуатация машин
и оборудования горнодобывающих производств»

Составитель: Цыбулько С.Н., преподаватель филиала БНТУ "СГГХК"

Методические указания и контрольные задания рассмотрены и одобрены на заседании цикловой комиссии естественно-математического модуля.

Протокол № _____ от « » _____ 20 ____ г.

Председатель цикловой комиссии _____ С.Н. Цыбулько

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Учебный предмет «Основы электроники и микроэлектроники»

Специальность 5-04-0714-11 «Техническая эксплуатация машин и оборудования горнодобывающих производств»

Раздел, тема	Количество учебных часов			Домашняя контрольная работа
	на предмет	в том числе		
		на лекционные занятия	на лабораторные, практические работы	
<i>1</i>	2	3	4	5
Введение	1			
Раздел 1. Пассивные элементы электронных устройств	3	1		
1.1 Резисторы, конденсаторы	1			
1.2 Катушки индуктивности	2			
Раздел 2. Полупроводниковые приборы	14	4		
2.1 Электрофизические свойства полупроводников	4			
2.2 Полупроводниковые диоды	2			
2.3 Биполярные транзисторы	2			
2.4 Полевые транзисторы	2			
2.5 Тиристоры	2			
2.6 Полупроводниковые оптоэлектронные приборы	2			
Раздел 3. Интегральные микросхемы (ИМС)	6	1		
3.1 Общие сведения об ИМС	1			
3.2 Полупроводниковые интегральные микросхемы	1			
3.3 Плёночные и гибридные ИМС	2			
3.4 Большие и сверхбольшие интегральные микросхемы	2			
Раздел 4. Приборы и устройства индикации	2	1		
Раздел 5. Электронные усилители	24	2	2	
5.1 Общие сведения об электронных усилителях	2			
5.2 Режимы работы усилителя по постоянному току	2			
5.3 Усилители синусоидальных сигналов	4			
<i>Практическая работа №1 “Расчет предварительного усилителя на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмитером”</i>			2	
5.4 Многокаскадные усилители	8			
5.5 Усилители с гальваническими связями	2			
5.6 Операционные усилители и их применение	6			
Раздел 6. Электронные генераторы гармонических колебаний	10	2		
6.1 Классификация, структурная схема, параметры и характеристики электронных генераторов	4			
6.2 LC- и RC-генераторы	6			
Раздел 7. Импульсные генераторы	8			
7.1 Общая характеристика импульсных устройств	2			
7.2 Мультивибраторы и одновибраторы	4			
7.3 Генераторы линейно-изменяющегося напряжения	2			

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Раздел 8. Вторичные источники питания электронных устройств	16	2	2	
8.1 Общие сведения об источниках питания	2			
8.2 Однофазные и трёхфазные выпрямители	4			
<i>Практическая работа №2 “Исследование однофазных неуправляемых и управляемых выпрямителей”</i>			2	
8.3 Сглаживающие фильтры	2			
8.4 Преобразователи постоянного напряжения в переменное	4			
8.5 Электронные стабилизаторы постоянного напряжения	4			
Раздел 9. Логические устройства (цифровая микросхемотехника)	2	1		
9.1 Общие сведения	1			
9.2 Базовые логические (цифровые) элементы	1			
Раздел 10. Триггерные структуры	4	1		
10.1 Триггеры на биполярных транзисторах	2			
10.2 Триггеры на логических интегральных микросхемах	2			
Раздел 11. Цифровые и комбинированные электронные системы	9	1		
11.1 Шифраторы и дешифраторы	2			
11.2 Регистры	4			
11.3 Цифровые счётчики импульсов	2			
11.4 Цифроаналоговые преобразователи и аналоговоцифровые преобразователи	1			
Раздел 12. Применение электронных устройств в промышленности	2			
Итого	100	16	4	1

1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Электроника – наука, занимающаяся изучением взаимодействия электронов с электромагнитными полями и разработкой методов создания электронных приборов и устройств, используемых для передачи, обработки хранения информации. В электронике можно выделить области: физическую, прикладную, информационную, энергетическую, промышленную, микроэлектронику.

Электроника находит все более широкое применение почти во всех областях науки и техники, что обусловлено высокой чувствительностью, быстродействием, универсальностью и малыми габаритными размерами электронных устройств.

По учебному предмету «Основы электроники и микроэлектроники» выполняется одна контрольная работа, которая содержит три теоретических вопроса и две задачи.

Для получения практических навыков программой учебного предмета предусматривается выполнение лабораторных работ во время лабораторно-экзаменационной сессии.

Изучать программный материал рекомендуется не только по предлагаемой литературе, но и используя соответствующие справочники и журналы. При изучении материала темы, его следует конспектировать с выполнением рисунков, схем, графиков, таблиц.

После усвоения темы следует устно ответить на вопросы для самопроверки.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Варианты заданий для выполнения лабораторных и домашних контрольных работ для каждого учащегося индивидуальные. Выбор номера варианта осуществляется по последним двум цифрам шифра. Первая из этих цифр определяет горизонтальную строку, а вторая - вертикальную. На их пересечении в соответствующей клетке будут указаны номера теоретических вопросов и задач (раздел 4). Например, если две последние цифры шифра 42, то учащийся должен ответить на вопросы № 33, 61, 78 и решить задачи № 108, 141.

Домашняя контрольная работа выполненная не по своему варианту, не засчитывается и возвращается учащемуся. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради. Условия задач (вопросов) переписываются полностью, оставляется поле шириной 25 мм для замечаний рецензента, а в конце тетради – 2-3 страницы для рецензии. Формулы и расчеты выполняют чернилами, а чертежи и схемы – карандашом и линейкой, на графиках указывают масштаб. Решение задач ведётся в Международной системе единиц (СИ). Страницы тетради нумеруют.

Если домашняя контрольная работа не зачтена, учащийся выполняет её повторно по старому или новому варианту в зависимости от указания преподавателя и отправляется на повторную проверку.

В случае возникновения затруднений при выполнении домашней контрольной работы учащийся может обратиться к преподавателю для получения соответствующей консультации.

Лабораторные и практические работы выполняются в период лабораторно-экзаменационной сессии. К этим работам учащиеся допускаются после сдачи домашней контрольной работы. По каждой лабораторной и практической работе составляется отчет по установленной форме.

Сдача экзамена разрешается учащимся, выполнившим все лабораторные и практические работы.

3 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Введение

Содержание программы

Цели и задачи предмета, его связь с другими учебными предметами.

Краткие сведения по истории развития электроники микроэлектроники.

Важнейшие направления развития промышленной электроники. Пути микроминиатюризации электронных приборов и устройств, её значение.

Литература [1, с.4-6]; [2, с.4-6]; [3, с.5-6]; [4, с.4-9].

Методические указания

Промышленная электроника является частью более общего понятия электроника. Электроника представляет собой отрасль науки и техники, занимающуюся изучением принципов устройства, работы и применения различных электронных приборов.

Физическая электроника изучает явления в электровакуумных и полупроводниковых приборах, процессы на поверхности раздела между вакуумом или газом и твердыми или жидкими телами. В технической электронике изучается устройство электронных приборов, их электрические характеристики, параметры и применение в технике.

Промышленная электроника является одним из направлений технической электроники, которое связано с применением электронных приборов и устройств в различных отраслях промышленности и обслуживанием этих отраслей электронными устройствами измерения, контроля, управления, преобразования электрической энергии, а также электронными технологическими установками.

Различные области технической электроники базируются на единой основе использования электронных (полупроводниковых и электровакуумных) приборов. Они объединены общностью принципов действия и характеристик основных электронных функциональных устройств (усилителей, генераторов, логических элементов, выпрямителей и т.д.). Эти устройства являются составными частями электронных систем, например электронных регуляторов различных процессов, электронных вычислительных машин.

В промышленной электронике можно выделить три области: информационную электронику, и электронную технологию.

Информационная электроника составляет основу электронно-вычислительной и информационно-измерительной техники, устройств автоматики. К ней относятся электронные устройств получения, обработки, передачи, хранения и использования информации, устройства управления различными объектами и технологическими процессами.

Энергетическая электроника связана с устройствами и системами преобразования электрической энергии средней и большой мощности. Сюда относятся выпрямители, инверторы, мощные преобразователи частоты и другие устройства.

Электронная технология включает в себя методы и устройства, используемые в технологических процессах, основанных на действии электронных волн различной длины.

Развитие электроники характеризуется постоянным увеличением сложности электронных устройств. В настоящее время принято считать, что сложность электронной аппаратуры через каждые пять лет возрастает примерно в 10 раз.

Недостатками электронных ламп оказались небольшой срок службы и большое потребление энергии. Эти недостатки и усложнение электронных устройств заставили специалистов разрабатывать электронные приборы с другими принципами действия. Ими оказались полупроводниковые приборы.

Применение полупроводниковых приборов в электронике, вычислительной технике, энергетике приобрело массовый характер, что определялось их большими достоинствами: высокими КПД, долговечностью, надежностью, небольшими габаритами, массой и т.д.

В конце 60-х годов появились первые изделия микроэлектроники – интегральные схемы, которые быстро совершенствовались и стали основными изделиями электроники.

Полупроводниковая интегральная микросхема (ИМС)- микроминиатюрный функциональный узел электронной аппаратуры, в котором элементы и соединительные проводники изготавливаются в едином технологическом цикле на поверхности или в объеме полупроводникового материала.

Важной особенностью микроэлектроники является разработка и внедрение методов предельного уменьшения размеров элементов микросхемы: микрорезисторов, диодов, транзисторов. Это приводит к увеличению функциональных возможностей микросхем, повышению их надежности и быстродействия, снижению потребляемой энергии.

В перспективе развития микроэлектроники намечается функциональное укрупнение ИМС за счет использования новых физических явлений, позволяющих с помощью простых не расчленяемых структур осуществлять функции, обычно реализуемые с помощью многоэлементной сложности цепи или устройства. Реализация такого принципа соответствует появлению новых изделий микроэлектроники, которые называют функциональными. Они представляют собой новый этап развития электроники- функциональную микроэлектронику, которая будет создаваться на основе физической интеграции в отличие от технологической интеграции, по которой изготавливаются современные микросхемы. Особенностью схем с физической интеграцией является то, что в них невозможно выделить область в твердом теле микросхемы, выполняющую роль транзистора, диода, резистора и т.д. Подобные функциональные свойства реализуются за счет атомарных, молекулярных и других связей, создающих различные эффекты. Примером функционального прибора является пьезокристалл.

Полупроводниковые приборы. Электрофизические свойства полупроводников

Содержание программы

Полупроводниковые материалы. Собственная, электронная и дырочная электропроводности. Примесные полупроводники и их электропроводность. Электронно-дырочный переход (ЭДП) при отсутствии внешнего напряжения при прямом и обратном напряжении. Вольт - амперная характеристика p-n – перехода. Переход металл - полупроводник.

Литература: [1, с. 7-18]; [2, с. 20-33]; [3, с. 25-33]; [4, с. 19-37]; [8, с.4-12]; [13, §1.1]

Методические указания

Почти во всех областях современной электроники основными приборами стали полупроводниковые. Подавляющее число полупроводниковых приборов изготавливается из германия и кремния, имеющих кристаллическую структуру и являющихся четырёхвалентными элементами.

Для придания полупроводниковым приборам требуемых свойств в чистые полупроводники добавляют дозированные примеси других элементов. При внесении в германий или кремний пятивалентных элементов (фосфора P или сурьмы Sb, или мышьяка As) четыре валентных электрона примесных атомов образуют устойчивые ковалентные связи с соседними атомами основных веществ. Пятые валентные электроны примесных атомов, не участвующие в ковалентных связях, добавляются к свободным электронам собственной электропроводности. Такие полупроводники называют полупроводниками n-типа, а пятивалентные примеси - донорными.

При введении в германий или кремний трёхвалентных примесей (In–индия и др.) три валентных электрона примесных атомов установят ковалентные связи с тремя соседними атомами основного вещества. Для образования четвертой ковалентной связи электронов получается за счёт разрыва ковалентных связей у других атомов германия или кремния. При этом на месте разрушенных ковалентных связей образуются дырки. В полупроводнике будет преобладать дырочная электропроводность. Такой полупроводник называют полупроводником p-типа, а входящие в него примеси - акцепторными.

Принцип действия большинства полупроводниковых приборов основан на явлениях, происходящих на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности. Область на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности называется p-n-переходом и обладает очень важным свойством – её сопротивление зависит от направления тока.

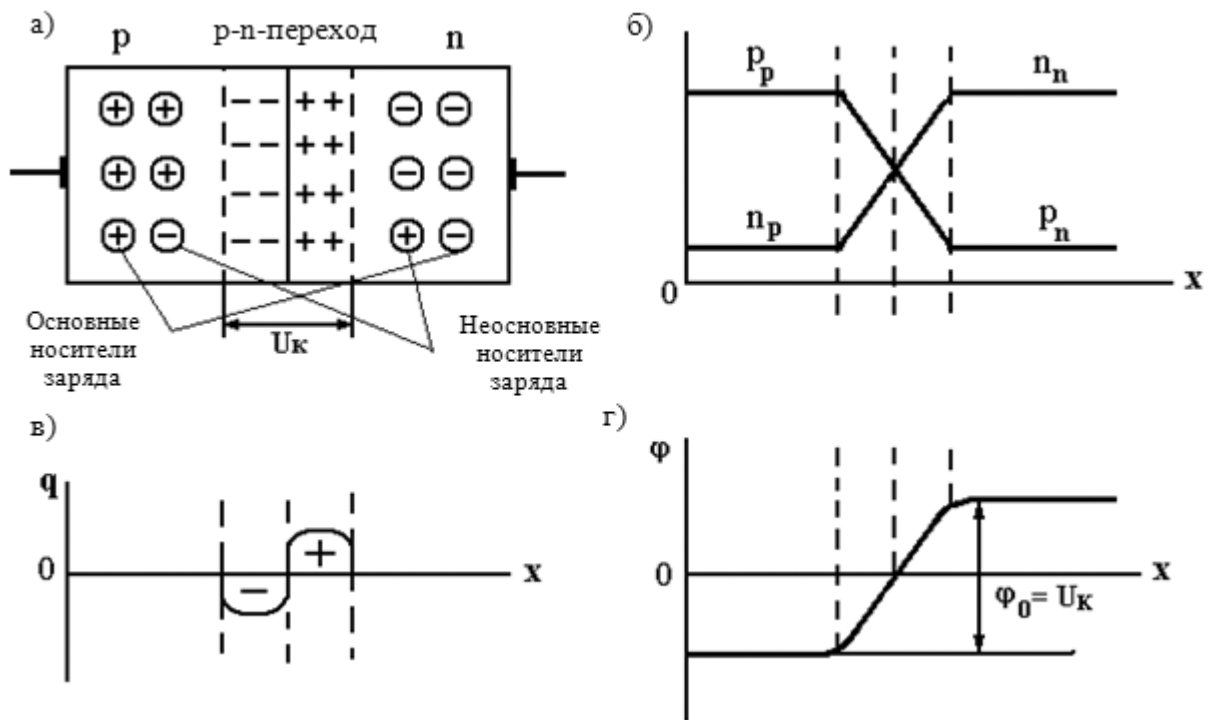


Рисунок 1 а. Электронно-дырочный переход (ЭДП) при отсутствии внешнего напряжения(а,б), скачкообразное изменение заряда (в) и контактная разность потенциалов (г).

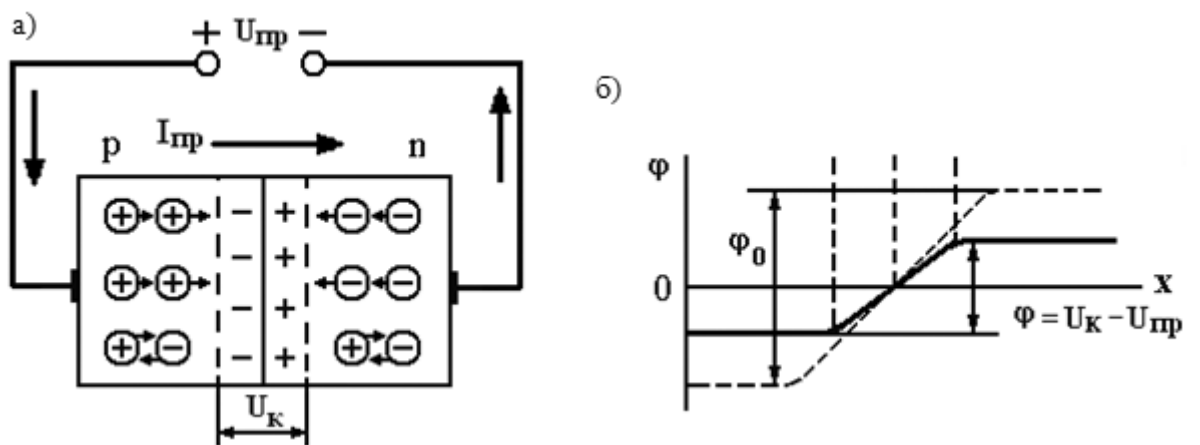


Рисунок 1б. Электронно-дырочный переход (ЭДП) при прямом включении (а) и потенциальный барьер (б).

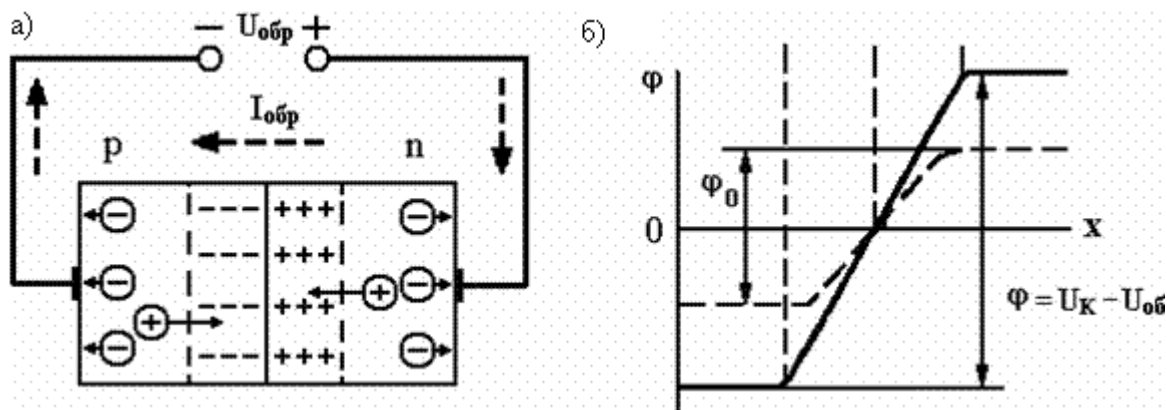


Рисунок 1 в. Электронно-дырочный переход (ЭДП) при обратном включении (а) и потенциальный барьер (б).

Концентрация электронов в n-области во много раз больше чем концентрации в p-области. Вследствие этого происходит диффузия (перемещение) электронов в область их низкой концентрации (в p-область). Здесь они рекомбинируют с дырками и таким путём создают пространственный отрицательный заряд ионизированных атомов акцептора не скомпенсированный положительным зарядом дырок. Аналогично дырки из p-области перемещаются в n-области. В результате встречного движения противоположных зарядов возникает диффузный ток. По обе стороны границы раздела двух полупроводников создаются объёмные заряды различных знаков, рисунок 1а. Между образовавшимися объёмными зарядами возникает так называемая контактная разность потенциалов U_K и электрическое поле E_K . Напряжённость этого поля максимальная на границе раздела, где происходит скачкообразное изменение объёмного разряда (рисунок 1в).

На некотором удалении от границы раздела объёмной заряд отсутствует и полупроводник является нейтральным. При замыкании n- и p- областей ток в цепи не протекает.

Контактная разность потенциалов U_K , или высота потенциального барьера, зависит от концентрации примесей (степени легирования) в областях ЭДП. Для большинства германиевых ЭДП контактная разность потенциалов имеет значение $0,25 \dots 0,45\text{В}$, а для кремниевых $0,5 \dots 0,9\text{В}$.

Высоту потенциального барьера можно изменить приложением внешнего напряжения к p-n-переходу. Приложение внешнего напряжения называют смещением ЭДП. Различают смещение ЭДП в прямом и обратном направлениях.

Прямое смещение получается при подключении источника внешнего напряжения плюсом к p-области, а минусом к n-области (рисунок 1 б). В этом случае высота потенциального барьера и сопротивление p-n-перехода уменьшается. Если приложенное напряжение равно контактной разности потенциалов, то потенциальный барьер исчезает полностью.

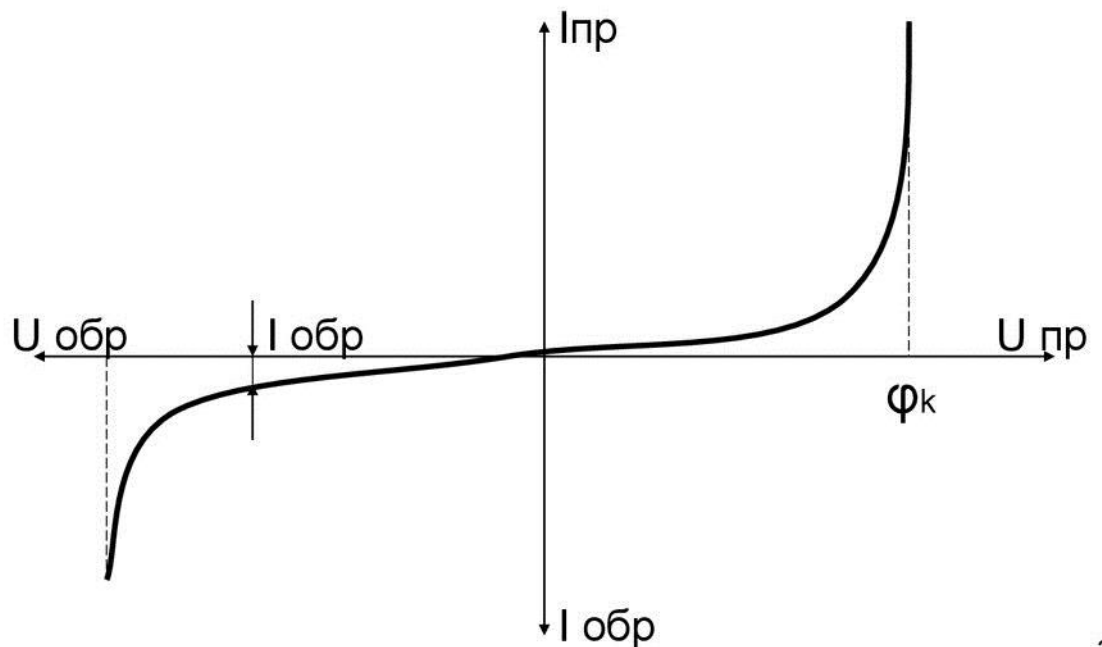
Если внешнее электрическое напряжение приложено к ЭДП плюсом к n-области, а минусом к p-области (рисунок 1 в), то напряжённость $E_{обр}$ внешнего электрического поля совпадает с направлением напряжённости $E_{диф}$ (E_K)

диффузного (внутреннего) поля ЭДП. Это вызовет увеличение потенциального барьера p-n-перехода.

При достаточно большом обратном напряжении диффузия основных носителей через ЭДП прекращается, и протекающий через него ток будет определяться лишь дрейфовым током неосновных носителей. Этот ток называется обратным. Сила его настолько мала, что в большинстве случаев им можно пренебречь и считать, что ток через ЭДП не протекает, т.е. сопротивление ЭДП при обратном включении велико.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n-перехода представляет собой зависимость тока через переход при изменении на нем значения и полярности приложенного напряжения (рисунок 2).

Предельное значение напряжения на p-n-перехода при прямом смещении не превышает контактной разности потенциалов U_k . Обратное напряжение ограничивается пробоем p-n-переходом. Пробой p-n-перехода возникает за счёт лавинного размножения неосновных носителей и называется лавинным пробоем.



24

Рисунок 2. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n-перехода.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие материалы относятся к полупроводникам ?
2. Как объясняется механизм электропроводности полупроводников ?
3. Какие примеси называются донорными, акцепторными ?
Какие полупроводники называются полупроводниками с электропроводностью n – типа, p – типа?
4. Дайте определение электронно-дырочному переходу (p-n-переходу).
Поясните механизм его образования.
5. В чем сущность явления односторонней проводимости p-n-перехода?
6. Объясните вольт- амперную характеристику p-n - перехода.

Общая характеристика полупроводниковых приборов

Введение

Содержание программы

Классификация полупроводниковых приборов. Полупроводниковые резисторы, терморезисторы, варисторы, тензорезисторы. Принцип работы. Маркировка. Условные графические обозначения на схемах.

Литература: [1, с. 18-19; с. 55-58]; [2, с. 10-11]; [11, с. 3-63]; [13, § 1.2]

Методические указания

Полупроводниковыми называют приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводников. Классификация полупроводниковых приборов представлена на рисунке 3.

Полупроводниковым резистором называют полупроводниковый прибор с двумя выводами, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от напряжения, температуры, освещенности других управляющих параметров.

Линейный резистор – полупроводниковый резистор, в котором применяется слаболегированный материал типа кремния или арсенида галлия.

Варистор - полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от приложенного напряжения, поэтому его вольт-амперная характеристика нелинейная.

Терморезистор - полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от механических деформаций.

Фоторезистор - полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от освещенности.

Вопросы для самопроверки:

1. На чем основаны принципы действия полупроводниковых приборов?
2. Классификация полупроводниковых приборов.
3. Назовите основные параметры и характеристики полупроводниковых резисторов.
4. Нарисуйте условные графические обозначения полупроводниковых резисторов.

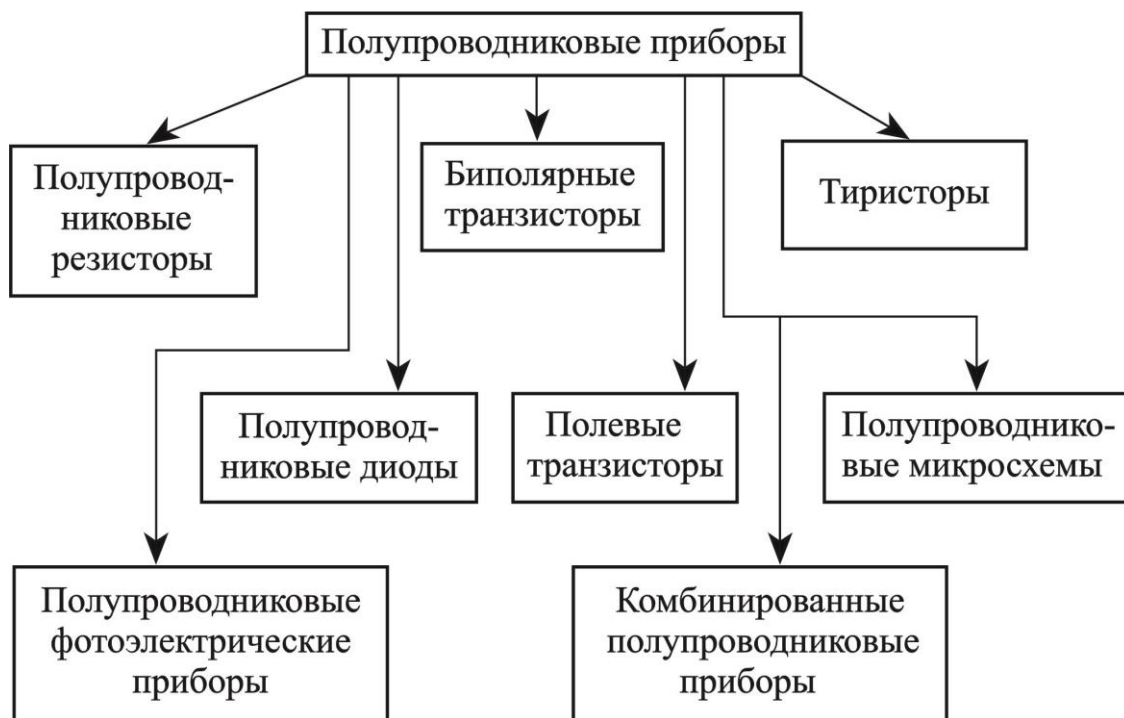


Рисунок 3. Классификация полупроводниковых приборов.

Полупроводниковые диоды

Содержание программы

Классификация диодов. Устройство и назначение диодов. Вольт – амперная характеристика. Основные параметры. Стабилитроны, варикапы, условные графические обозначения на схемах. Буквенно–цифровые обозначения, маркировка.

Литература: [1, с. 19-31; 312, с. 37-46]; [6, с. 3-48]; [7, с. 46-59]; [8, с. 20-32]; [13, § 1.4].

Методические указания

Полупроводниковым диодом называется полупроводниковый прибор с одним р-п переходом и двумя выводами. Классификация и условные обозначения полупроводниковых диодов представлены на рисунке 4.

Выпрямительный диод предназначен для преобразования переменного тока в ток одного направления (постоянный ток).

Для получения больших значений выпрямленного тока выпрямительные диоды выполняются плоскостными, поскольку для нормальной работы диода плотность тока через переход не должна превышать 1-2 А/мм².

Полупроводниковый стабилитрон – это диод, напряжение на котором в области электрического пробоя зависит от тока и который предназначен для стабилизации напряжения.

Вопросы для самопроверки:

1. Как классифицируются полупроводниковые диоды?
2. Опишите устройство полупроводникового диода.
3. Какими параметрами характеризуются выпрямительные, импульсные, СВЧ - диоды, варикапы?

4. Нарисуйте условные графические обозначения полупроводниковых диодов.

5. Проанализируйте вольт-амперную характеристику диода.

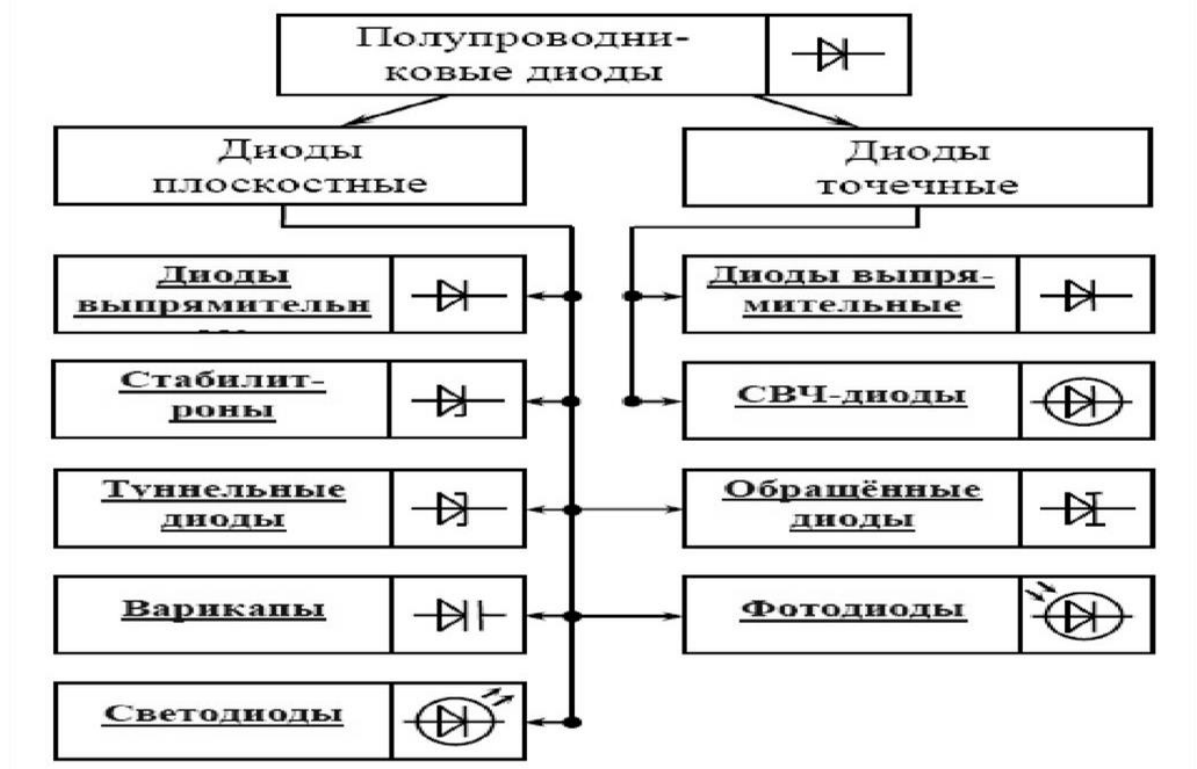


Рисунок 4. Классификация и условные обозначения полупроводниковых диодов.

Биполярные транзисторы (БТ)

Содержание программы

Классификация, устройства и назначение биполярных транзисторов, физические процессы в биполярных транзисторах. Усилительные свойства транзистора. Основные схемы включения. Статические характеристики.

Параметры статического режима и эквивалентные схемы. Биполярный транзистор в динамическом режиме. Влияние температуры. Частотные свойства. Режимы работы транзистора. Условные графические обозначения, маркировка. Буквенно-цифровые обозначения.

Литература: [1, с. 31-44]; [2, с. 46-57]; [3, с. 45-55]; [4, с. 59-82]; [6, с. 65-74]; [13, § 1.5];

ГОСТ 20003-74-Транзисторы биполярные.

Электрические параметры. Термины, определения, буквенные обозначения.

Методические указания

Биполярным транзистором (БТ) или просто транзистором называется полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих между собой р-п-перехода и три или более вывода. Основное назначение БТ- усиление электрических сигналов. Классификация биполярных транзисторов представлена на рисунке 5.

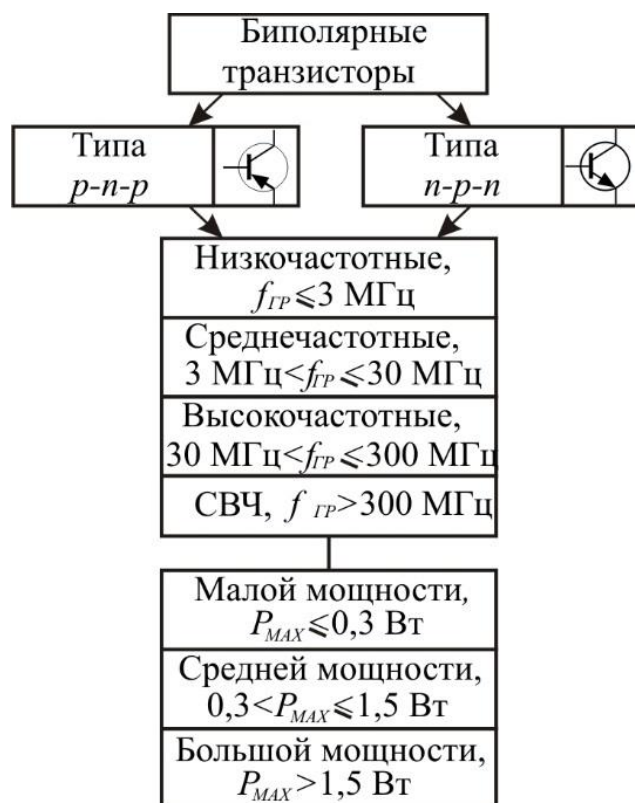


Рисунок 5. Классификация биполярных транзисторов.

Для того, чтобы понять какие процессы происходят в биполярных транзисторах, как они усиливают сигналы и как их использовать в различных усилительных каскадах и других электронных устройствах необходимо уяснить устройство транзисторов, схемы включения, входные и выходным характеристики, основные параметры, в чём заключаются усилительные свойства транзисторов и в каких режимах по току могут работать биполярные транзисторы.

В зависимости от последовательности чередования областей с различным типом электропроводности различают n-p-n транзисторы и p-n-p транзисторы. Устройство плоскостного n-p-n транзистора, его условное графическое обозначение представлена на рисунке 6.

Средняя часть рассматриваемых структур называется базой, одна крайняя область- коллектором, а другая-эмиттером. Переход между базой и эмиттером называют эмиттерным переходом, а между базой и коллектором – коллекторным переходом. На условном графическом обозначении транзисторов n-p-n и p-n-p стрелка показывает условное (от плюса к минусу) направление тока в проводе эмиттера при прямом напряжении на эмиттерном переходе. В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам транзистора, он может работать в трёх основных режимах: линейном (усилительном), отсечки и насыщения.

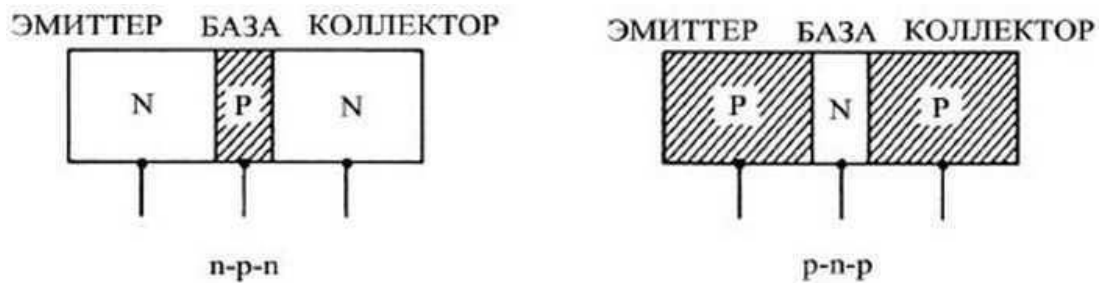


Рис. 2–31. Структура биполярных n-p-n и p-n-p транзисторов

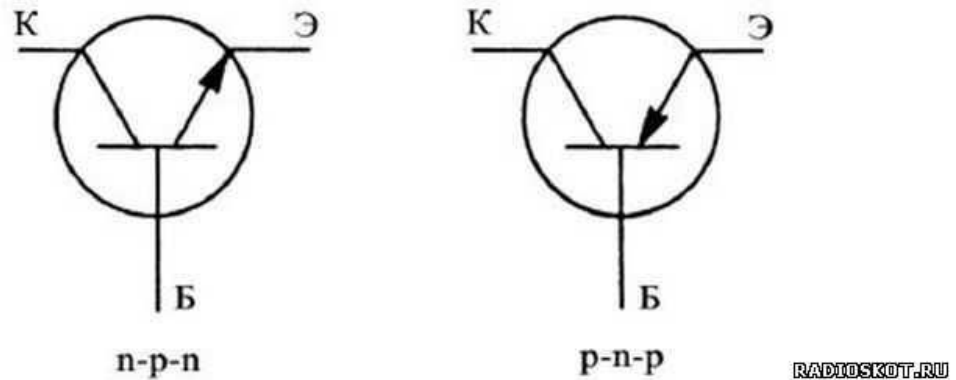


Рисунок 6. Устройство и обозначение биполярных транзисторов.

В линейном режиме работы эмиттерный переход смещён в прямом направлении, а коллекторный - в обратном. В режиме отсечки (запирания) оба перехода смещены в обратном направлении, а в режиме насыщения - в прямом.

Линейный (усилительный) режим является основным. Он используется в большинстве усилителей и генераторов.

В схемах с транзисторами обычно образуется две цепи. Входная, или управляющая, цепь служит для управления работой транзистора. В выходной, или управляемой, цепи получают усиленные сигналы. Источник управляемых сигналов включается во входную цепь, а в выходную включается нагрузка.

Принцип работы транзистора заключается в том, что прямое напряжение эмиттерного перехода, т.е. участка база-эмиттер ($U_{бэ}$), существенно влияет на токи эмиттера и коллектора: чем больше это напряжение (ток базы), тем больше токи эмиттера и коллектора. При этом изменения тока коллектора лишь незначительно меньше изменений тока эмиттера. Таким образом, небольшое напряжение $U_{бэ}$, т.е. входное напряжение, управляет большим током коллектора. Именно на этом явлении основано усиление электрических сигналов с помощью транзистора.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

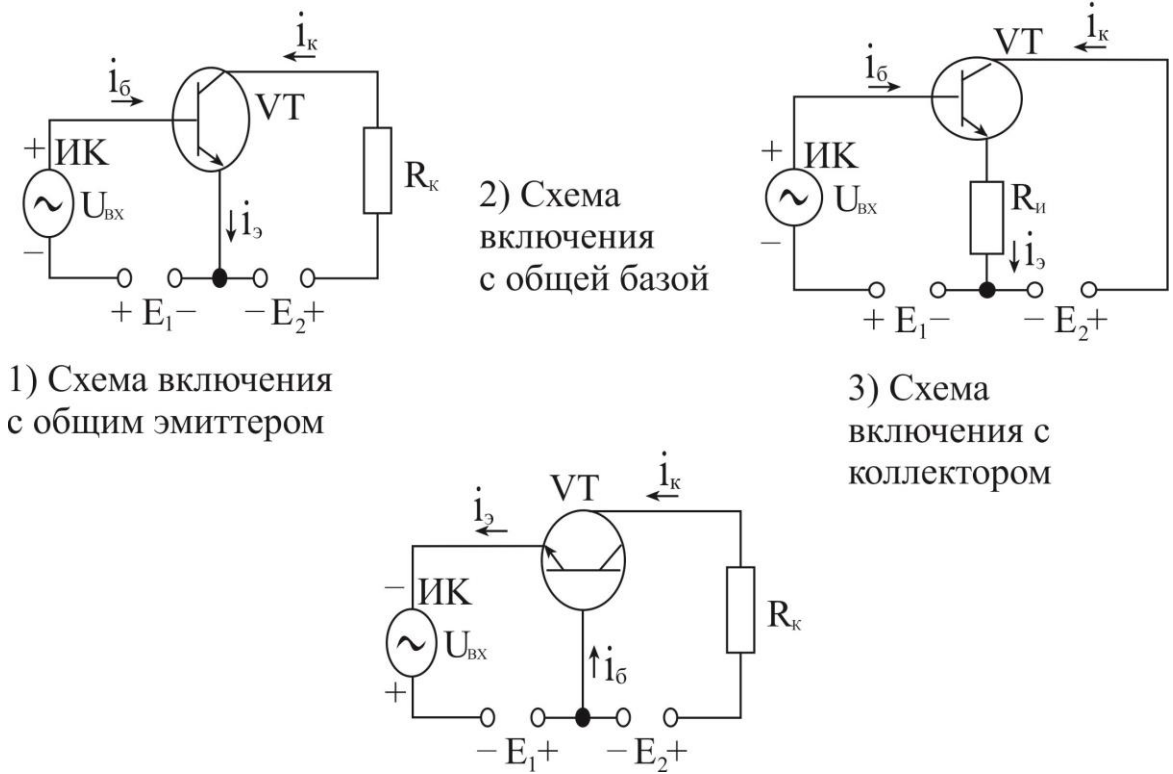


Рисунок 7. Схемы включения биполярного транзистора.

В усилительных или иных каскадах применяют три схемы включения транзисторов: с общим эмиттером (ОЭ), рисунок 7 (1), с общей базой (ОБ), рисунок 7 (2) и общим коллектором (ОК), рисунок 7 (3) - между входной и выходной цепями имеется общая точка. Схема ОЭ является наиболее распространённой, т.к. она даёт наибольшее усилие по мощности.

В транзисторах взаимно связаны всегда четыре величины $I_{вх}$, $I_{вых}$, $U_{вх}$, $U_{вых}$ - входные и выходные токи и напряжения. Взаимосвязи между токами и напряжениями выражаются статическими характеристиками, которые зависят от схемы его включения.

Статические характеристики биполярного транзистора в схеме с ОЭ представлены на рисунке 8.

На рисунке 8(а) показано семейство входных характеристик БТ типа n-p-n, включенного, по схеме ОЭ, которые выражают зависимость $I_б = f(U_{бэ})$ при $U_{кэ} = const$. При $U_{кэ} = 0$ входная характеристика представляет собой прямую ветвь ВАХ эмиттерного ЭДП. При положительном напряжении коллектора входная характеристика смещается вправо.

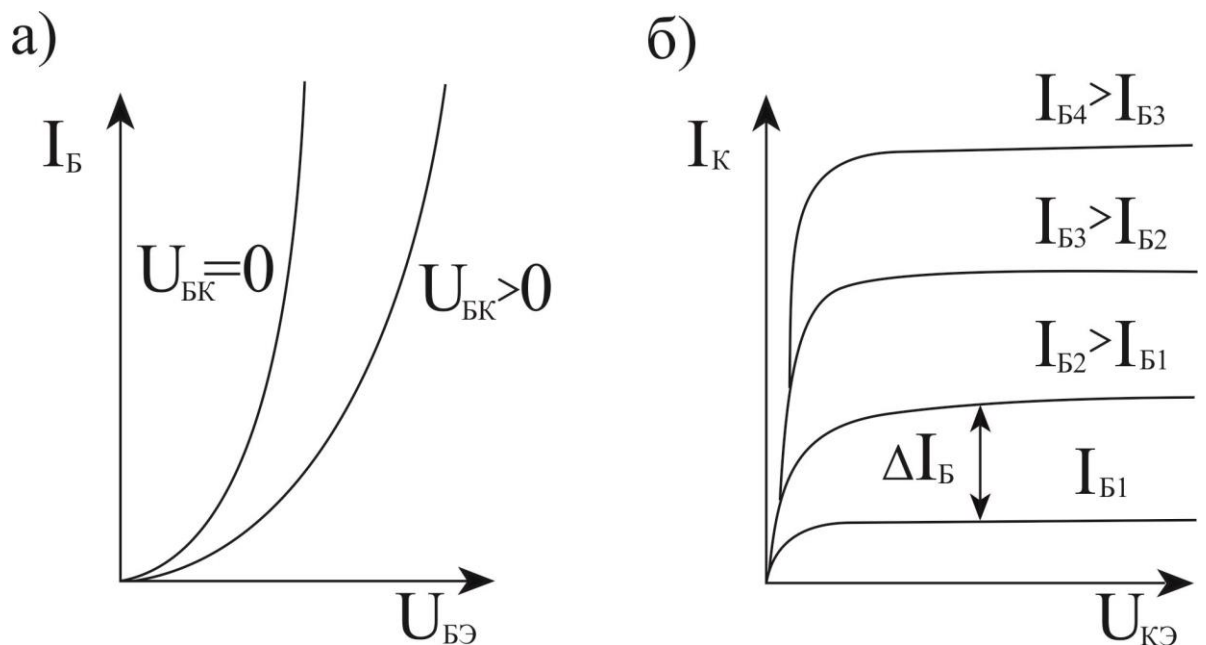


Рисунок 8. Статические характеристики биполярного транзистора в схеме с ОЭ: а) входные характеристики; б) выходные характеристики.

Выходные характеристики, рисунок 8б, отражают зависимость $I_K = f(U_{КЭ})$ при $I_B = \text{const}$. Крутой участок характеристик соответствует режиму насыщения, а пологий – активному режиму. На практике наибольшее применение получили гибридные или h -параметры. Токи напряжения при малых амплитудах переменных составляющих в системе h -параметров связаны следующими соотношениями

$$\begin{aligned} U_{ВХ} &= h_{11} I_{ВХ} + h_{12} U_{ВЫХ} \\ I_{ВЫХ} &= h_{21} I_{ВХ} + h_{22} U_{ВЫХ} \end{aligned} \quad (1)$$

где $h_{11} = U_{ВХ} / I_{ВХ}$ при $U_{ВЫХ} = 0$ – входное сопротивление;
 $h_{12} = U_{ВХ} / U_{ВЫХ}$ при $I_{ВХ} = 0$ коэффициент обратной связи по напряжению;
 $h_{21} = I_{ВЫХ} / I_{ВХ}$ при $U_{ВЫХ} = 0$ – коэффициент прямой передачи по току;
 $h_{22} = I_{ВЫХ} / U_{ВЫХ}$ при $I_{ВХ} = 0$ – выходная проводимость.

Значения h -параметров зависят от способа включения транзистора и на низких частотах могут быть определены по статическим характеристикам. При этом амплитуды малых токов и напряжений заменяются приращениями.

Параметры $h_{21э}$ и $h_{22э}$, определяются по выходным характеристикам по формуле :

$$h_{21э} = \Delta I_K / \Delta I_B | U_{КЭ} = \text{const} \quad (2)$$

$$h_{22э} = \Delta I_K / \Delta U_{КЭ} | I_B = \text{const} \quad (3)$$

Аналогично определяются h -параметры при включении транзистора по схеме с ОБ.

Параметры h_{216} и $h_{21э}$ соответственно называются коэффициентами передачи тока эмиттера и тока базы. Они характеризуют усилительные свойства транзистора по току для переменных сигналов, а их значения зависят от режима работы транзистора и частоты усиливаемых сигналов.

Они связаны между собой соотношением

$$h_{21э} = h_{216} / (1 - h_{216}) \quad (4)$$

Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются биполярные транзисторы
2. Каков принцип действия биполярных транзисторов?
3. Назовите схемы включения транзисторов. Каковы их особенности?
4. Какие режимы работы транзисторов вы знаете?
5. Приведите семейства входных и выходных характеристик транзистора для схемы с общим эмиттером и поясните ход характеристик.
6. Нарисуйте условные графические обозначения биполярных транзисторов.

Полевые транзисторы

Содержание программы

Структура и классификация полевых транзисторов. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом, их устройство, статические характеристики. Полевые транзисторы с изолированным затвором, с индуцированным и встроенным каналом, их устройство, статические характеристики.

Схемы включения полевых транзисторов. Дифференциальные параметры полевых транзисторов. Маркировка. Условные графические обозначения на схемах.

Литература: [2; §2.9]; [3, §2.7]; [4, с. 114-123]; [6, § 7.1; 7.2]; [8, с. 43-55]; [13, § 1.6];

ГОСТ 19095-73.- Транзисторы полевые. Электрические параметры. Термины, определения, буквенные обозначения.

Методические указания

Полевой транзистор (ПТ) - это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены движением основных носителей заряда одного знака через проводящий канал и который управляется электрическим полем, создаваемым входным напряжением.

Управляющий электрод ПТ называется затвором. Он должен быть изолирован от канала. По способу изоляции затвора ПТ делятся на три типа:

- 1) с управляющим р-п-переходом, или с р-п-затвором;
- 2) с металл-полупроводниковым затвором, или с затвором Шоттки;
- 3) с изолированным затвором.

Классификация полевых (униполярных) транзисторов представлена на рисунке 9.

Основу ПТ с р-п-затвором и каналом п-типа составляет полупроводник п-типа (затвор). На границе р- и п- областей образуется ЭДП (электроно-дырочный переход). Слой полупроводника, лежащий справа от ЭДП, называется каналом.

Если между р и n- областями включить источник напряжения $U_{зи}$, как показано на рисунке 10, то ЭДП окажется включенным в обратном направлении и его толщина увеличится, что приведет к уменьшению толщины канала.

Сопротивление канала при этом увеличится. Следовательно, изменяя напряжение $U_{зи}$, можно управлять толщиной канала и его сопротивлением.

Если теперь к каналу подключить второй источник напряжения, рисунок 10, то через канал потечет ток, образованный движением электронов (основных носителей).

Режим работы, схемы включения, характеристики ПТ подобны этим показателям биполярных транзисторов, если представить, что затвор – это база, исток – эмиттер, сток – коллектор (рисунок 11).

Свойства ПТ характеризуются дифференциальными параметрами: крутизна $S = \Delta I_c / \Delta I_{зи}$ при $U_{си} = \text{const}$, характеризует усилительные свойства;

дифференциальное сопротивление $r_i = \Delta U_{си} / \Delta I_{си}$ при $U_{зи} = \text{const}$ представляет собой сопротивление ПТ по переменному току;

статический коэффициент усиления $u = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи}$ при $I_c = \text{const}$ связан с параметрами S и r_i формулой $u = S r_i$.

Пользуясь литературой изучить полевые транзисторы с изолированным затвором.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие ПТ называются униполярными и какой принцип их действия?
2. Что такое МОП – транзисторы?
3. Какими параметрами описывают свойства полевых транзисторов?
4. Поясните принцип управления током стока в полевом транзисторе с р-п-затвором и в МДП – транзисторе с индуцированным каналом.
5. Нарисуйте условные графические обозначения полевых транзисторов.

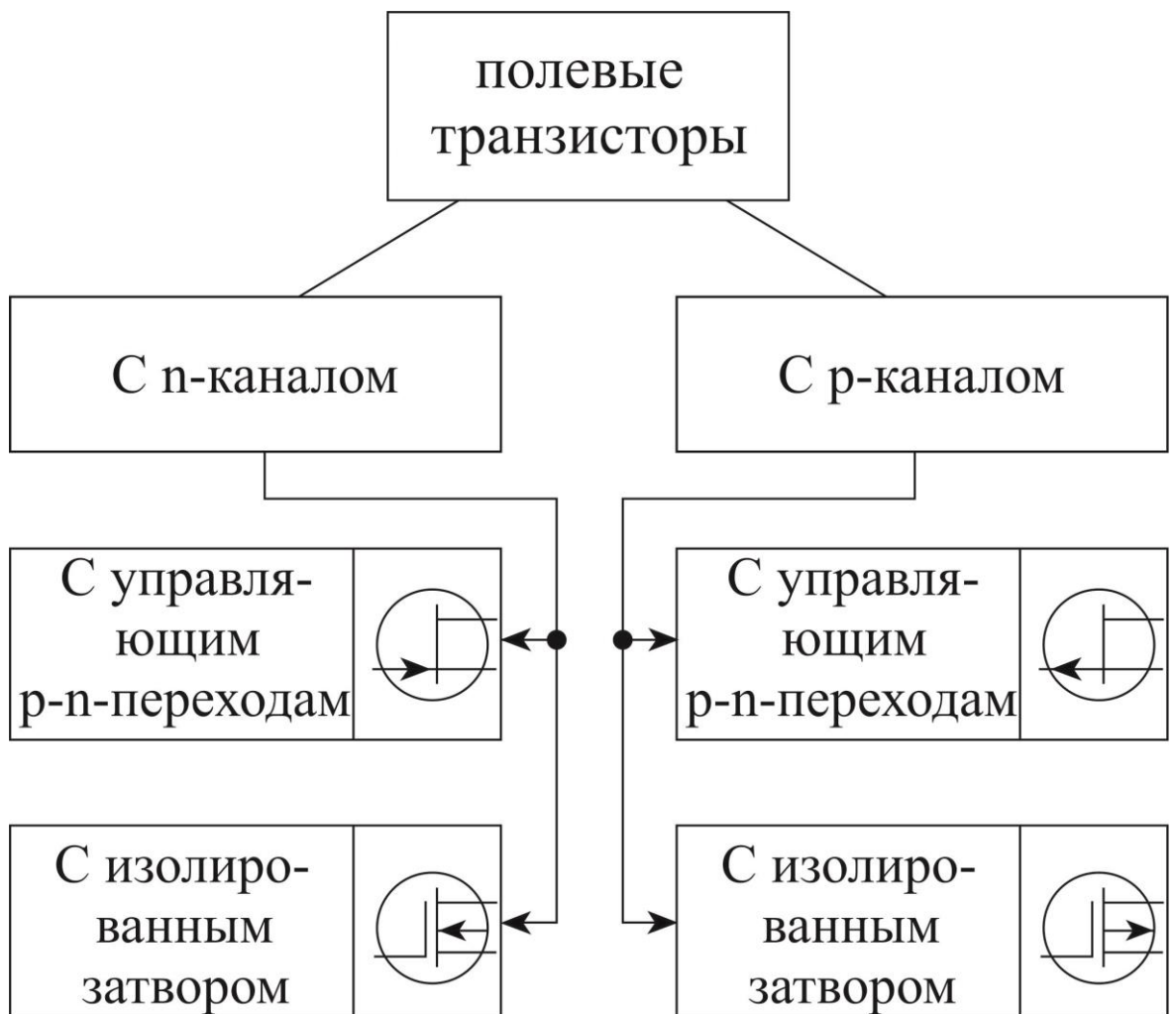


Рисунок 9. Классификация полевых (униполярных) транзисторов.

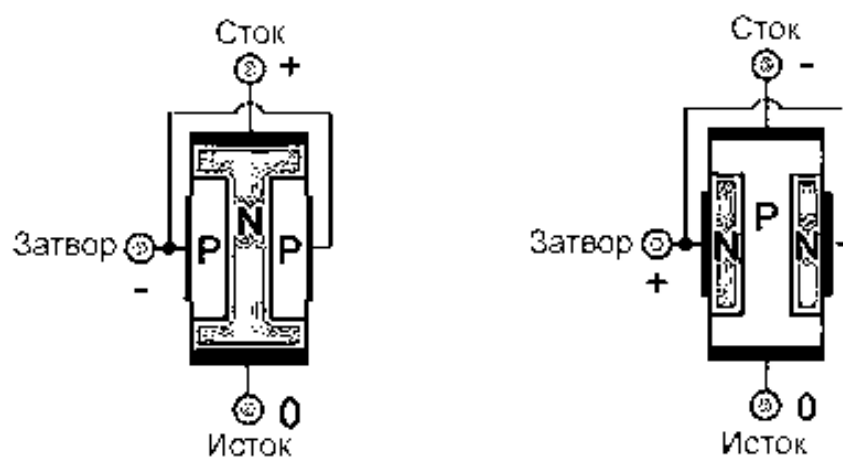


Рисунок 10. Устройство полевых транзисторов.

Схемы включения полевых транзисторов

Функциональное назначение полевого транзистора такое же, что и биполярного. Различают три схемы включения полевого транзистора:

- с общим истоком (ОИ)
- общим стоком (ОС)
- общим затвором (ОЗ).

Наиболее распространены схемы включения транзистора с общим истоком (ОИ).

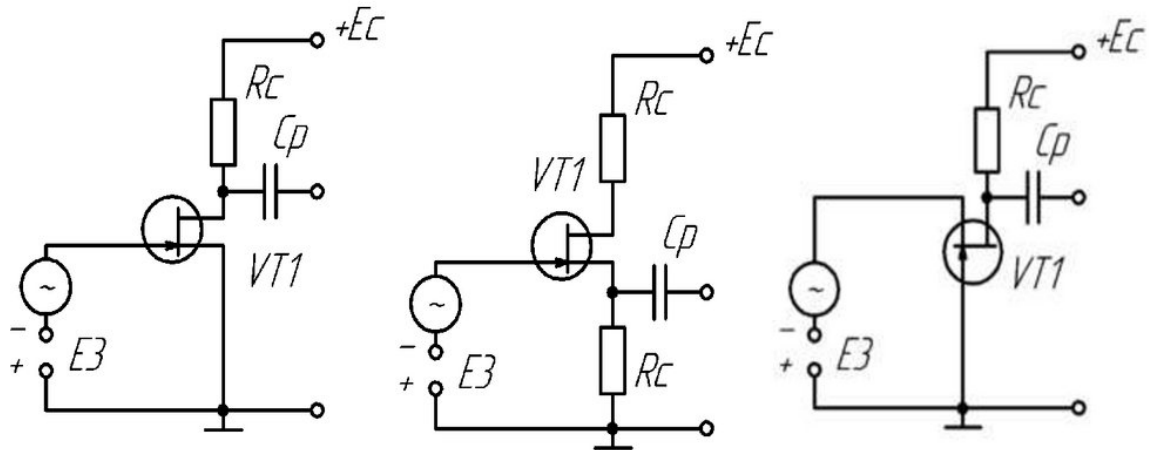


Рисунок 11. Схемы включения полевых транзисторов.

Тиристоры

Содержание программы

Устройство, назначение и принцип работы. Разновидности тиристоров. Основные характеристики и параметры. Схемы включения. Маркировка. Условные обозначения на схемах.

Литература: [1, §2.7]; [2, § 2.8]; [4, §8.1]; [5, §12.5]; [7, §14]; [13, § 1.7].

ГОСТ 20332-74.- Тиристоры. Электрические параметры. Термины. Определения и буквенные обозначения.

Методические указания

Тиристором называют полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, который имеет три р-п перехода и может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот.

Тиристоры с двумя выводами называют диодными или динисторами, а с тремя выводами - триодными или тринисторами.

Классификация тиристоров и условные графические обозначения представлены на рисунке 12.



Рисунок 12. Классификация тиристоры и условные графические обозначения.

Как диодный, так и триодный тиристоры имеют четырехслойную структуру с тремя p-n- переходами.

Структура (рисунок 13) и ВАХ (рисунок 15) динистора представлены на рисунках 13 и 15. Структура динистора показана на рисунке 13.

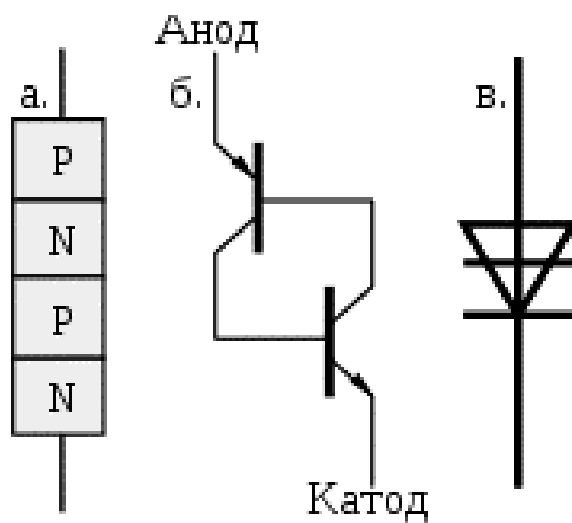


Рисунок 13. Структура динистора.

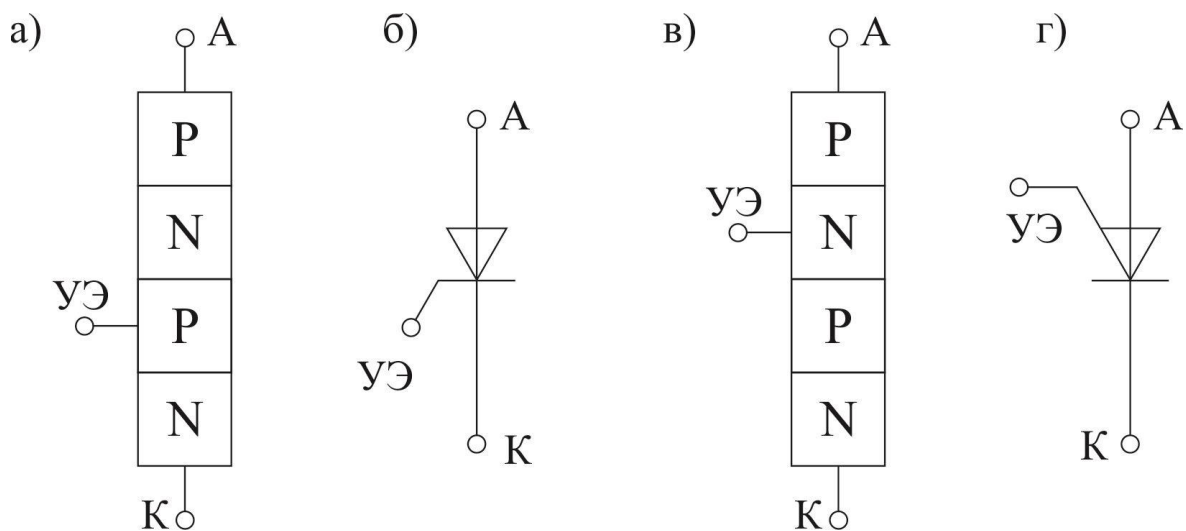


Рисунок 14. Структура тристора и условное обозначение.

Структура тристора с катодным управлением (а) и его условное схематическое обозначение (б), структура тристора с анодным управлением (в) и его условное схематическое обозначение (г)

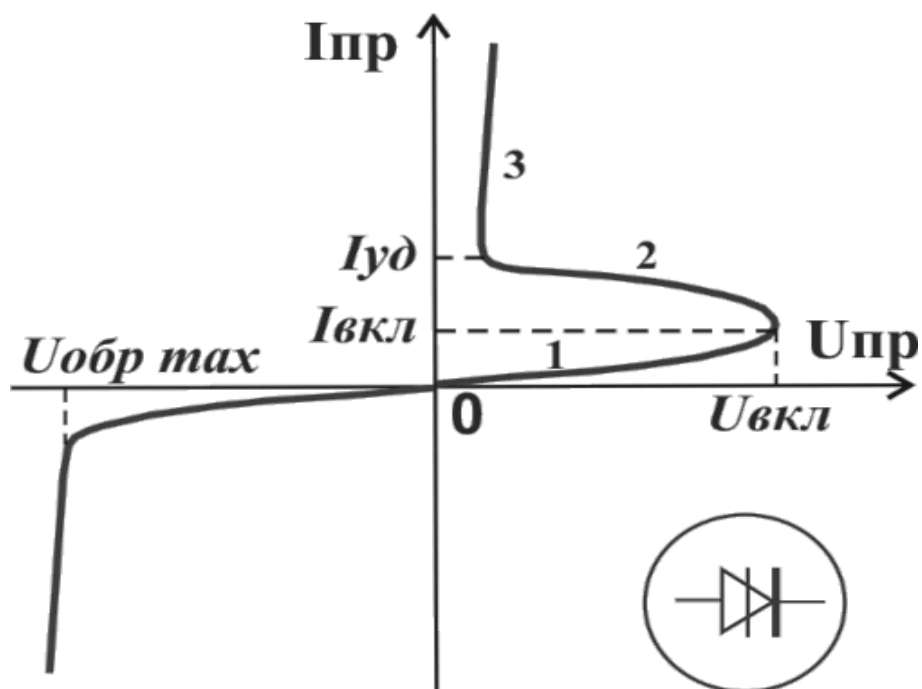


Рисунок 15. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) динистора.

Тиристоры как управляемые переключатели, обладающие выпрямительными свойствами, нашли широкое применение в управляемых выпрямителях, инверторах, коммутационной аппаратуре.

Вопросы для самопроверки:

1. Что представляет собой тиристор?
2. Назовите виды тиристоров.
3. Что происходит в динисторе при напряжении включения? Покажите это на вольтамперной характеристике.
4. Как перевести динистор в состояние низкой проводимости?
5. Чем триодный тиристор отличается от динистора?
6. Можно ли с помощью тока управления закрыть тиристор?
7. Как расшифровать обозначения 2Н102А, КУ208А, 2У205В?

Полупроводниковые оптоэлектронные приборы

Содержание программы

Общие сведения. Излучающие полупроводниковые приборы.

Полупроводниковые приемники излучения. Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры. Устройство и схема включения; параметры и характеристики.

Светоизлучающие диоды: принцип работ, основные параметры.

Оптроны: общие сведения, назначение и принцип работы, разновидности.

Маркировка и условные обозначения оптоэлектронных приборов.

Литература: [1, с. 57-62]; [2, §3]; [4, с. 186-197]; [5, с. 266-277]; [6, Гл. 5]; [8, § 19-22]; [13, гл.4].

ГОСТ 23562-79. – Оптопары. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.

Методические указания

Полупроводниковые приборы широко используются в электронике в качестве устройств, взаимодействующих со световой энергией в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах. Классификация оптоэлектронных полупроводниковых устройств представлена на рисунке 16.

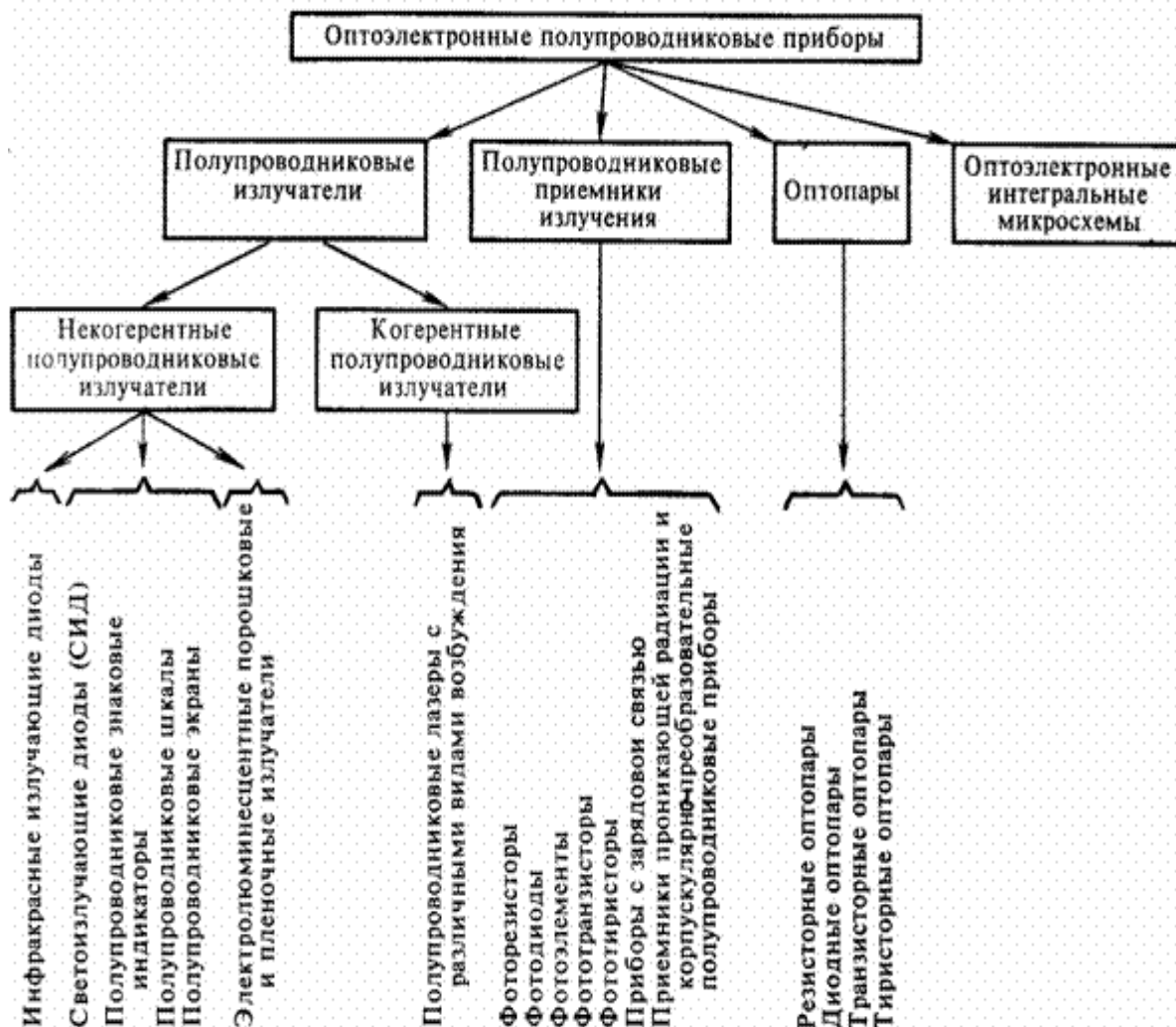


Рисунок 16. Классификация оптоэлектронных полупроводниковых устройств.

Полупроводниковый материал и техника легирования определяют длину световой волны для каждого конкретного устройства. Работа полупроводниковых приемников изучения (фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры) основана на использовании внутреннего фотоэффекта, который состоит в том, что под действием излучения в полупроводниках происходит генерация пар носителей заряда – электронов и дырок. Эти дополнительные носители увеличивают электрическую проводимость. В некоторых приборах за счет фотогенерации электронов и дырок возникает ЭДС, которую принято называть фото- ЭДС, и тогда эти приборы работают как источник тока (фотогальванические или солнечные батареи).

В результате рекомбинации электронов и дырок в полупроводниках образуются фотоны и при некоторых условиях полупроводниковые приборы могут работать в качестве источников излучения. Наиболее распространение получили светоизлучающие диоды (СИД).

Полупроводниковый прибор, содержащий излучающий и фотоприемный элементы, между которыми имеется оптическая связь и обеспечена электрическая изоляция, называют оптопарой или оптроном.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие физические процессы лежат в основе работы светоизлучающего диода (СИД)?
2. Назовите основные характеристики СИД и изобразите их вид.
3. Дайте определение основных параметров СИД.
4. Конструктивное выполнение СИД?
5. На каком физическом эффекте основана работа фоторезисторов?
6. Как изменится сопротивление фоторезистора при изменении светового потока?
7. Что понимают под оптопарой? Изобразите ее структурную схему.
8. Нарисуйте условные графические обозначения резисторной, диодной, транзисторной и тиристорной оптопар.

Интегральные микросхемы

Содержание программы

Особенности микроэлектроники. Классификация и степень интеграции интегральных микросхем (ИМС). Аналоговые и цифровые ИМС.

Литература: [1, § 3.1; 3.2; 3.6]; [4, гл.9]; [5, с. 251-255]; [7, гл.6]; [8, гл.6], [12, с. 18-22; с. 32-33; с. 90-98]; [13, §2.1]

ГОСТ 17021-88. Микросхемы интегральные. Термины и определения.

ГОСТ 19480-89. Микросхемы интегральные. Термины определения и буквенные обозначения электрических параметров.

Вопросы для самопроверки:

1. Какую аппаратуру называют микроэлектронной?
2. По каким признакам классифицируются ИМС?
3. Как определяют степень интеграции ИМС?
4. Какие функции реализуют аналоговые интегральные микросхемы?
5. Какие функции выполняют логические элементы?

Полупроводниковые ИМС

Содержание программ

Общие сведения о полупроводниковых ИМС. Элементы полупроводниковых ИМС и их формирование, биполярные транзисторы, диоды, полевые транзисторы, резисторы, конденсаторы.

Литература: [1, § 3.2; 3.3; 3.5]; [2, § 4.2]; [4, с.147-159]; [8, гл.6]; [8, § 25-31]; [12, с. 6-15]; [13, §2.4].

Вопросы самопроверки:

1. Какие ИМС называют полупроводниковыми?
2. Каковы особенности резисторов и конденсаторов ИМС?
3. Какими способами изолируют биполярные транзисторы ИМС?
4. Что вы знаете о корпусах ИМС? Поясните рисунками.

Пленочные и гибридные ИМС

Содержание программы

Общие сведения. Элементы пленочных и гибридных ИМС: подложки, пленки, компоненты. Монтаж в корпусе. Бескорпусные ИМС. Система обозначений ИМС.

Литература: Л1, § 3.4; Л2, § 4.5; 4.6; Л7, § 28; Л12, с 15-22; Л13, § 2.3.

Вопросы для самопроверки:

1. Как подразделяются плёночные ИМС?
2. Что называют элементом и компонентом в ИМС?
3. Какие компоненты используют при создании гибридных интегральных микросхем?
4. В чем разница между совмещенными и гибридными ИМС?
5. Как расшифровать следующие обозначения микросхем: К155тм5, К237УН2. К142ЕН1?

Большие и сверхбольшие интегральные микросхемы

Содержание программы

Общие сведения. Особенности проектирования и изготовления больших интегральных микросхем (БИС). Элементы сверхбольших интегральных микросхем (СБИС).

Литература: [12, с. 21-26].

Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключаются особенности БИС (СБИС), характеризующие достижения современной микроэлектронной элементной базы?
2. Как достигается высокая степень интеграции полупроводниковых БИС (СБИС)?
3. Что такое ПЛИС?

Методические указания

Интегральной микросхемой (ИМС) называется микроэлектронное изделие, состоящее из комплекса электрически связанных активных и пассивных элементов, объединенных в кристалле или на общей подложке в виде функционального завершеного узла. Технология изготовления, при которой совмещаются процессы изготовления электро-радиодеталей и соединений между ними, называется интегральной.

Микросхемы разделяют по технологическим методам их изготовления на полупроводниковые и гибридные.

С точки зрения интеграции основными параметрами ИМС является степень интеграции и плотность упаковки.

Классификация ИМС представлена на рисунке 17.

По характеру выполняемых функций различают аналоговые и цифровые ИМС.

Аналоговая интегральная схема выполняет функции преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывных функций. Такие ИМС применяются в качестве усилителей, генераторов, фильтров, детекторов и др.

Цифровая интегральная схема предназначена для преобразования и обработки сигналов изменяющихся по закону дискретной функции (двоичный и другой код).

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ НАЗНАЧЕНИЮ И СИСТЕМА ИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

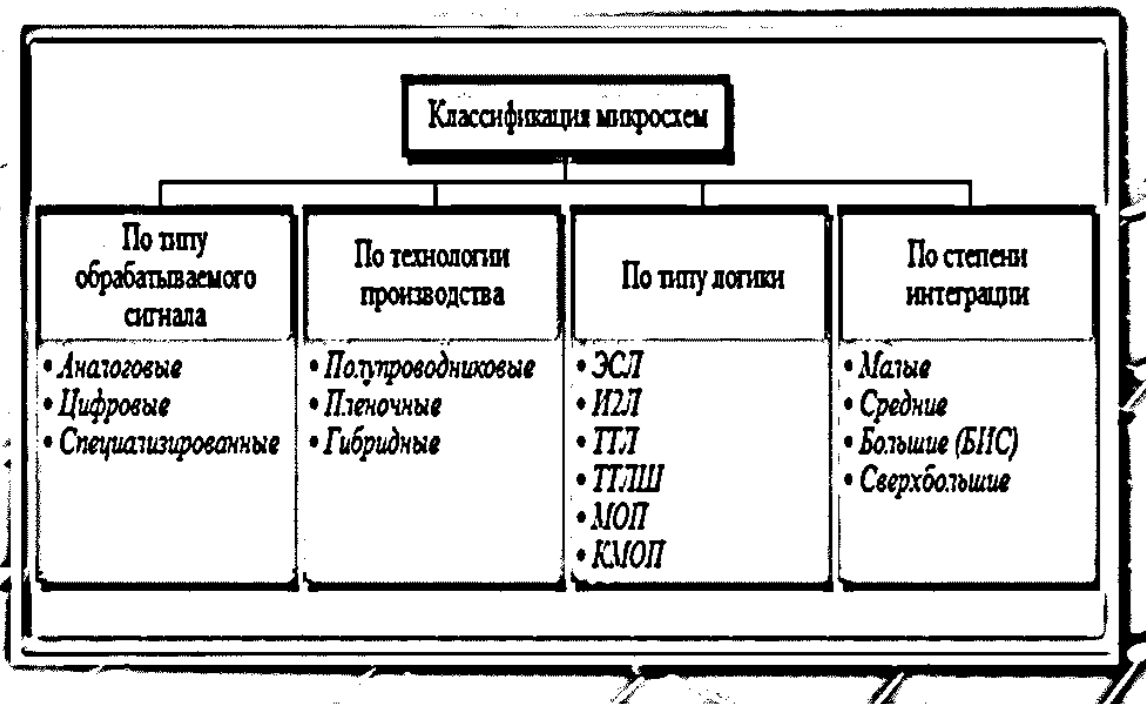


Рисунок 17. Классификация интегральных микросхем(ИМС).

Цифровой ИМС называют еще логическими ИМС

Устройства индикации

Содержание программы

Электронно-лучевые индикаторы (ЭЛИ). Конструкции. Принцип действия. Основные параметры. Особенности ЭЛИ различного назначения.

Литература: [1, § 7.1]; [4, гл.20; § 21.5]; [5, с. 261-264]; [7, § 25]; [12, § 7.2]; [13, § 31].

Вопросы для самопроверки:

1. Какую роль в электронно-лучевой трубе выполняет модулятор?
2. Как изменить фокусировку электронного луча?
3. Как работают трубки со звуковой индикации?
4. Что обозначает 59ЛК2Б?

Газоразрядные и вакуумно-люминесцентные индикаторы

Содержание программы

Конструкция газоразрядных и вакуумно-люминесцентных индикаторов. Принцип их действия, основные параметры, достоинства и недостатки.

Литература: [1, § 7.2; 7.3]; [4, § 21.1, 21.5]; [5, § 13.3]; [12, § 7.2]; [13, § 3.3; 3.5].

Вопросы для самопроверки:

1. Какие существуют приборы для отображения цифровых, буквенных и знаковых сигналов?
2. Как устроены накальные и катодолюминесцентные индикаторы?
3. Какие процессы лежат в основе работы газоразрядных приборов?
4. Как работает цифровой вакуумный люминесцентный индикатор?
5. Какие индикаторы требуют большего рабочего напряжения?

Полупроводниковые и жидкокристаллические индикаторы

Содержание программы

Конструкция полупроводниковых и жидкокристаллических индикаторов. Принцип их действия, основные параметры, достоинства и недостатки. Система обозначения индикаторных приборов.

Литература: [1, § 7.4; 7.5]; [4, с.300-301]; [5, § 14.3]; [7, § 23]; [12, § 7.2]; [3, § 3.4].

Вопросы для самопроверки:

1. На чём основана работа светодиодов?
2. Как устроены знаковые индикаторы на основе светодиодов?
3. Что представляют собой жидкокристаллические индикаторы?
4. Как расшифровать следующие обозначения АЛ304А, АОТ102?

Методические указания

Практически во всех областях промышленной электроники используются приборы и устройства для отображения информации в виде цифр, букв, геометрических фигур, условных знаков, цветных тонов, зависимости величин в виде графиков и т.п.

Индикаторные приборы удобно классифицировать по физическим явлениям, на которых основаны их принципы действия. В соответствии с этим различают:

- 1) Накальные индикаторы, в которых используются свечение разогретой электрическим током металлической нити накаливания;
- 2) Электролюминесцентные индикаторы, в которых применяется свечение некоторых кристаллических веществ под воздействием электрического поля;
- 3) Электронно-лучевые и вакуумно-люминесцентные индикаторы, основаны на свечении люминофора при бомбардировке электронами;
- 4) Газоразрядные индикаторы, в которых используется свечение газа при электрическом разряде;
- 5) Полупроводниковые индикаторы, в которых происходит излучение квантов света рекомбинации неосновных носителей заряда в р-n- переходе при подаче на переход внешнего напряжения;
- 6) Жидкокристаллические индикаторы, основанные на изменении оптических свойств жидких кристаллов под воздействием электрического поля.

В настоящее время для отображения знаковой информации чаще всего применяются полупроводниковые, вакуумно-люминесцентные, газоразрядные и жидкокристаллические индикаторы; для отображения знаковой и графической

информации – электронно-лучевые индикаторы, более сложные приборы с широкими возможностями (например, дисплей).

Изучить материал по рекомендованной литературе и ответить на поставленные вопросы.

Электронные усилители

Общие сведения об электронных усилителях

Содержание программы

Понятие об электронных усилителях. Обобщённая функциональная схема усилительного каскада. Классификация усилителей. Виды усиливаемых сигналов. Гармонические и импульсные сигналы и их параметры.

Виды обратных связей в усилителях. Влияние обратной связи на параметры усилителя. Паразитная обратная связь.

Литература: [1, § 4.1, 4.3]; [2, гл.5]; [3, гл. 3]; [5, гл. 16]; [7, гл.8]; [10, гл. IX]; [13, § 5.1; 5.2; 6.2].

Вопросы для самопроверки:

1. Для какой цели предназначен усилитель?
2. Какие основные элементы содержат усилитель?
3. По каким признакам классифицируются усилители?
4. Назовите основные характеристики усилителей.
5. Для какой цели в усилителях вводится обратная связь?
6. Какие сигналы называются гармоническими?
7. Назовите виды и параметры импульсных сигналов.

Режимы работы усилительного каскада по постоянному току

Содержание программы

Рабочая точка усилительного каскада. Характеристика режимов работы каскада в зависимости от положения рабочей точки. Линейные и нелинейные искажения сигнала. Методы обеспечения режима работы транзистора в каскаде усилителя и его термостабилизация.

Литература: [1, § 4.2; § 4.4]; [2, гл.8]; [7, §4.2]; [10, § 29]; [13, §5.6].

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите особенности работы усилителя в разных режимах.
2. Как выбирают точку покоя и как обеспечивают заданное её положение?
3. Дайте характеристику искажениям сигнала.
4. Как обеспечить температурную стабилизацию точки покоя?

Усилители синусоидальных сигналов

Содержание программы

Каскады предварительного усиления. Усилительные каскады на биполярных транзисторах. Динамические параметры и характеристики.

Эквивалентные схемы. Анализ частотных свойств усилителей синусоидальных сигналов. Усилительные каскады на полевых транзисторах.

Выходные каскады усиления (усилители мощности).

Однотактные и двухтактные выходные каскады (трансформаторные и бестрансформаторные).

Повторители напряжения. Избирательные усилители.

Литература: [1, § 4.5; 4.6; 4.7; 4.13]; [2, гл.6]; [3, § 3.2; 3.3;3.5]; [5, гл.16 (16.2; 16.3)]; [13, § 5.5; 6.1].

Вопросы для самопроверки:

1. Какие элемент образуют входную выходную цепи усилителя?
2. За счет каких элементов обеспечиваются режим начального смещения?
3. Как влияют параметры схемы усилителя на коэффициенты K_u , K_i ?
4. Каково назначение конденсаторов, шунтирующих резисторов в цепях источника и эмиттера транзисторных усилителей?
5. Поясните принцип усиления переменного напряжения в простейших усилителях на полевых и биполярных транзистора.
6. В чем особенности работы усилительной мощности?

Методические указания

Электронным усилителем называют устройство, обеспечивающее увеличение мощности электрических сигналов, поступающих на его вход, увеличение мощности сигнала в усилителе происходит за счет преобразования энергии источника питания. Это преобразование осуществляется с помощью активных элементов обладающих управляющими свойствами: биполярных и полевых транзисторов, обобщенная схема простейшего усилителя изображена на рисунке 18. Ко входу усилителя (точки 1-2) подключен источник входного сигнала с действующим значением ЭДС и внутренним сопротивлением $R_{и}$.

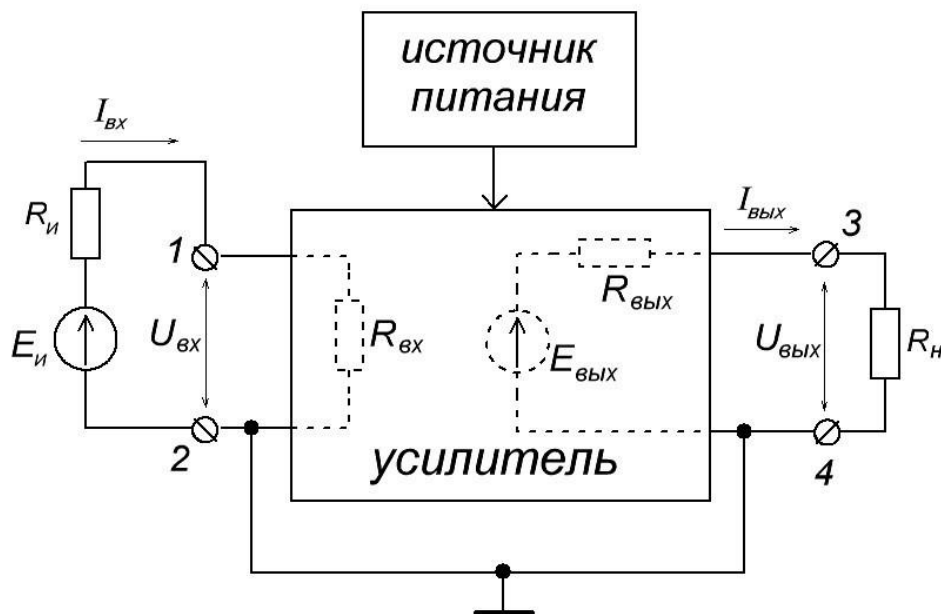


Рисунок 18. Обобщенная схема простейшего усилителя.

Маломощный входной сигнал управляет расходом энергии источника питания значительно больше уровня мощности. Таким образом, благодаря использованию управляющего (активного) элемента и более мощного источника питания, представляется возможность усиления мощности входных сигналов.

В выходной цепи усилителя действует, усилительный сигнал, что отображено на схеме наличием источника напряжения $K_{U_{вх}}$ с выходным сопротивлением $R_{вх}$. Для выделения усиленного сигнала в выходную цепь включается нагрузка R_n (точки 3-4).

К основным техническим показателям и характеристикам электронных усилителей относятся: коэффициент усиления, амплитудно- частотная, фазо- частотная и амплитудная характеристики, линейные и нелинейные искажения, динамический диапазон, входное и выходное сопротивления, коэффициент полезного действия, выходная полезная мощность и некоторые другие.

При работе электронных устройств в их цепях протекают постоянные и переменные токи, создаваемые различными электрическими сигналами. Законы изменения сигналов во время могут быть самыми разнообразными. Чаще всего приходится иметь дело гармоническими и импульсными сигналами.

На рисунке 19 показана схема простейшего усилителя на биполярном транзисторе, включенном с ОЭ.

При отсутствии входного сигнала усилитель находится в исходном режиме покоя, который определяется напряжением на базе и коллекторе и током коллектора.

Ток покоя протекает через резистор нагрузки и создаёт на его сопротивлении напряжение.

В момент времени t_1 на базу подается сигнал и напряжение базы начинает изменяться по закону $U_{вх} = U_{max} \sin \omega t$. Это вызывает изменения I_k и U_{Rk} и появление усиленного выходного напряжения $U_{мвх}$ приблизительно равного по абсолютной величине $U_{мкэ}$.

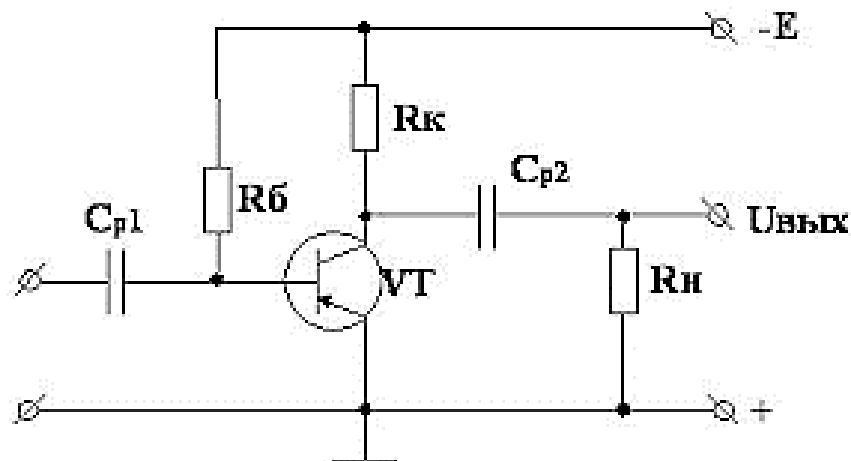


Рисунок 19. Схема простейшего усилителя на биполярном транзисторе, включенном с ОЭ.

В усилителе, рисунок 19, ток коллектора I_k и напряжение на коллекторе $U_{кэ}$ связаны уравнением:

$$U_{кэ} = E_k - I_k R_k$$

Это уравнение учитывает наличие нагрузки в выходной цепи и в координатах

I_K и $U_{KЭ}$ на входных характеристиках транзистора, рисунок 20, отображается прямой линией, которую называют выходной нагрузочной характеристикой.

В зависимости от положения рабочей точки покоя на нагрузочной характеристике различают два основных режима работы усилительного каскада: режимы классов А (точка 1), В (точка 2).

Режимы задаются способами смещения эмиттерного перехода. Смещение может осуществляться отдельными источниками питания или специальными цепями смещения (с фиксированным током базы, с фиксированным напряжением база-эмиттер и с цепью смещения отрицательной обратной связью).

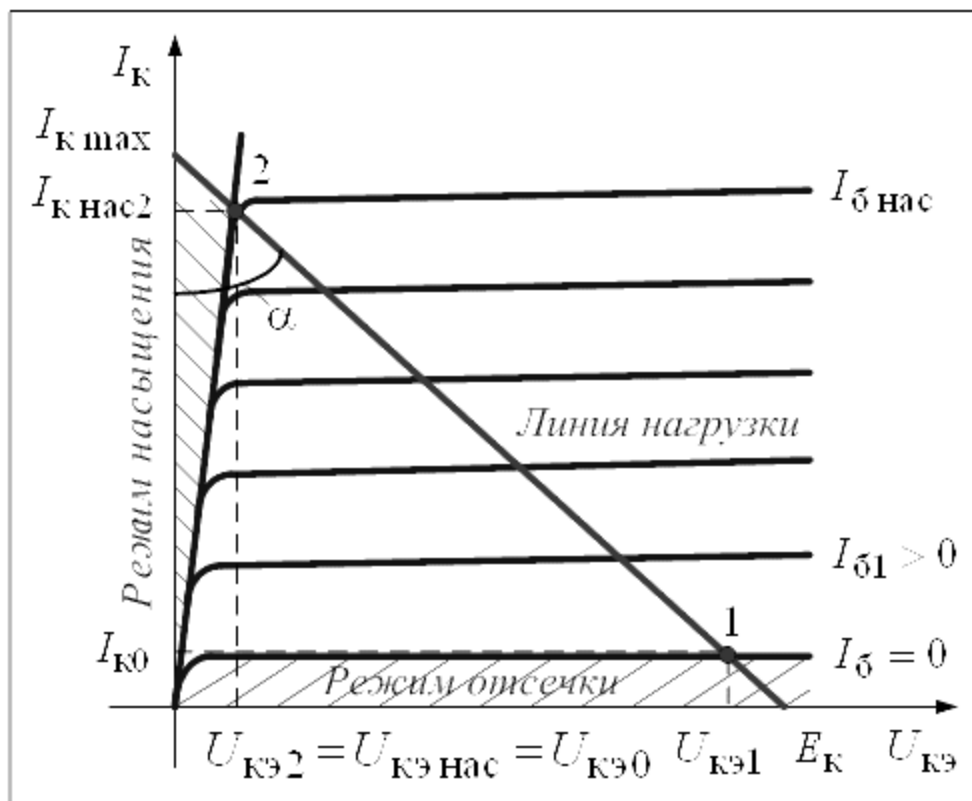


Рисунок 20. Выходные характеристики транзистора.

Многокаскадные усилители

Содержание программы

Разновидности связей многокаскадных усилителей. Характеристики многокаскадных усилителей. Составные транзисторы.

Литература: [1, § 4.8]; [7, § 44]; [13, §6.1].

Вопросы для самопроверки:

1. В каких случаях применяются схемы многокаскадных усилителей?
2. Назовите виды межкаскадных связей.

3. Нарисуйте схему двухкаскадного усилителя с резистивно-ёмкостной межкаскадной связью на микросхемах.

Усилители с гальваническими связями

Содержание программы

Общие сведения об усилителях с гальваническими связями.

Простейшие усилители постоянного тока. Дрейф нуля. Балансные усилители.

Дифференциальные усилители.

Литература: [1, § 4.9; 4.10]; [2, гл. 7]; [3, § 3.6, 3.7]; [5, с. 315-319]; [7, §45].

Вопросы для самопроверки:

1. В каких схемах применяются гальванические связи?
2. Нарисуйте схему простейшего усилителя постоянного тока.
3. Поясните явление дрейф нуля. Как уменьшить дрейф нуля в усилителях постоянного тока?
4. По какому принципу строятся балансные (мостовые) схемы?
5. Как построен дифференциальный усилительный каскад?

Методические указания

В тех случаях, когда одиночный каскад не обеспечивает заданного усиления, применяются многокаскадные усилители.

Структурная схема многокаскадного усилителя представлена на рисунке 21.

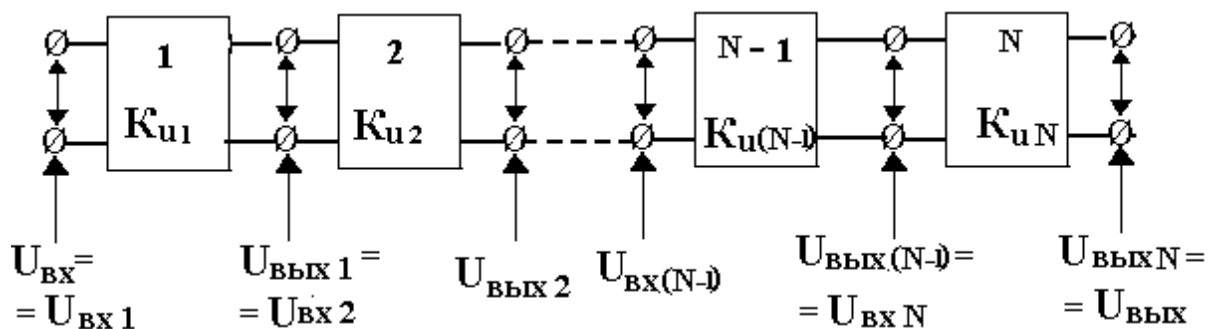


Рисунок 21. Структурная схема многокаскадного усилителя.

При выполнении условий $U_{ВЫХ1} = U_{ВХ2}$, $U_{ВЫХ2} = U_{ВХ3}, \dots$,

$U_{ВЫХ(n-1)} = U_{ВХn}$ коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов:

$$K_U = \frac{U_{ВЫХn}}{U_{ВХ1}} K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (5)$$

Связь между каскадами осуществляется с помощью специальных схем межкаскадной связи. Основными видами межкаскадных связей являются: резистивно-ёмкостная, трансформаторная и непосредственная (гальваническая).

Усилители мощности (УМ) являются оконечными, т.е. выходными, каскадами многокаскадного усилителя и служат для передачи потребителю заданной или максимально возможной мощности. Основными параметрами УМ являются: выходная мощность, отдаваемая усилителем в нагрузку; коэффициент полезного действия (КПД); коэффициент гармоник. Эти параметры существенно зависят от режима работы выходного каскада.

Различают три основных режима усилительного каскада: режимы классов А, В и С. В режиме А обычно используются однотактные усилители мощности. В режиме В и С применяют двухтактные усилители мощности (УМ), которые могут быть трансформаторными или бестрансформаторными.

Операционные усилители

Содержание программы

Общие сведения об операционных усилителях (ОУ). Структура операционных усилителей. Параметры и характеристики ОУ. Схемотехника интегральных ОУ.

Инвертирующие и не инвертирующее включение ОУ.

Типовое применение ОУ: сумматор, вычитающее устройство, интегрирующий усилитель, дифференцирующий усилитель.

Литература: [1, § 4.12]; [2, гл.7(7.5)]; [3, §3.8]; [7, §47]; [13, §6.4].

Методические указания

При усилении медленно изменяющихся напряжений и токов, а также в тех случаях, когда требуется усиливать не только переменные, но и постоянные составляющие сигналов, применяются гальванические связи. Элементами гальванических связей могут быть резисторы, диоды и просто проводники. В последнем случае связь называется непосредственной,

В усилителях с гальваническими связями ($УГС$) $f_H=0$. Такие усилители часто называют усилители постоянного тока (УПТ), хотя это название довольно неточно отражает их свойства. Отсутствие разделительных конденсаторов и трансформаторов в УГС исключает наличие фазового сдвига на частоте $f_H=0$.

Схема усилителя с непосредственными связями представлена на рисунке 22.

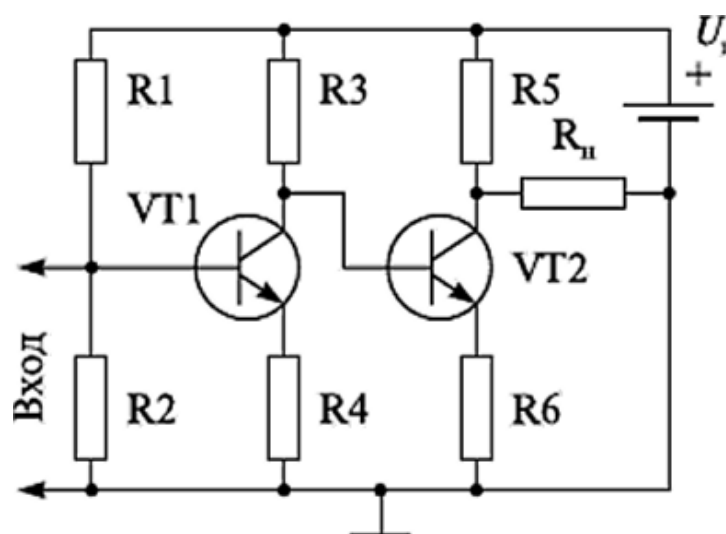


Рисунок 22. Схема усилителя с непосредственными связями.

Недостатком рассмотренных УГС является то, что изменение режима одного из каскадов под действием различных дестабилизирующих факторов вызывает изменение тока или напряжения выходного каскада. Это явление называется дрейфом нуля. Наибольшее влияние на дрейф нуля в УГС оказывает первый каскад, так как изменение тока или напряжения на его выходе усиливается последующими каскадами.

Основные причины, вызывающие дрейф нуля УГС:

- изменение температуры окружающей среды;
- изменение давления и влажности окружающей среды;
- изменение напряжения источника питания;
- старение активных и пассивных элементов усилителя;
- шумы, создаваемые активными и пассивными элементами.

Одним из основных методов уменьшения дрейфа является использование балансных (мостовых) схем.

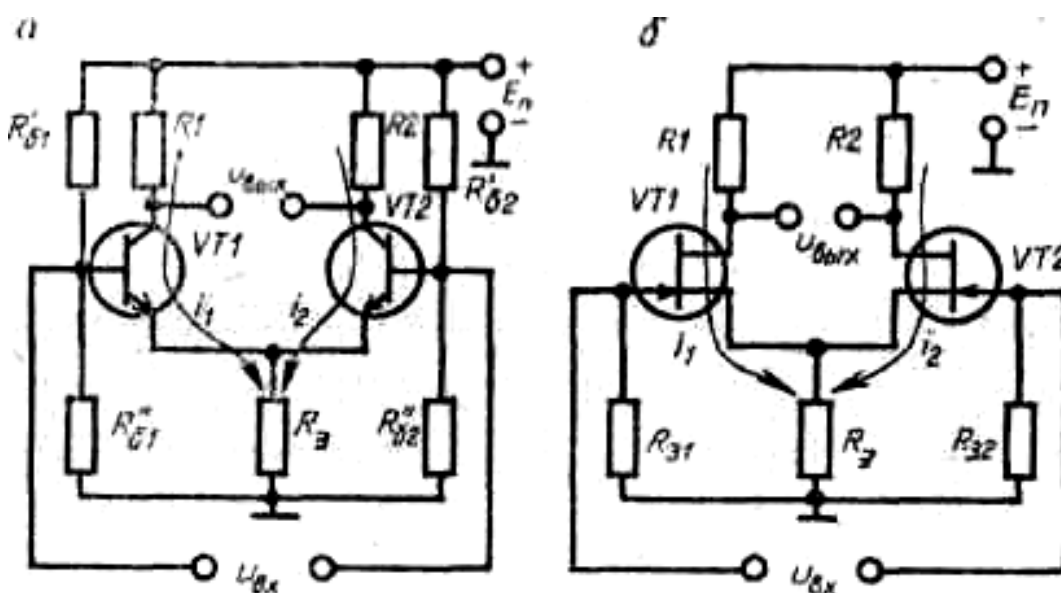
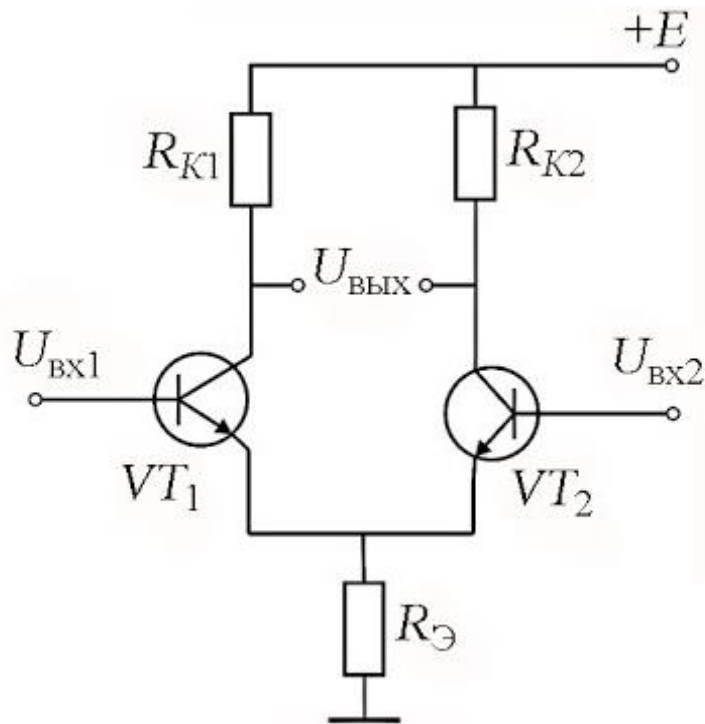
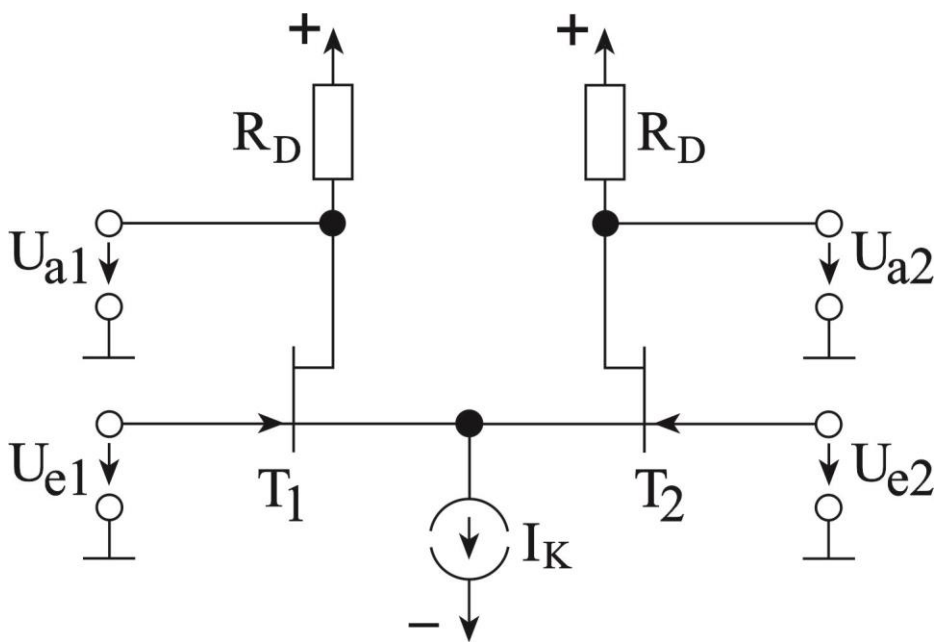


Рисунок 23. Схема усилителей параллельного баланса с симметричными входами на биполярных (а) и полевых (б) транзисторах.

Дифференциальные усилители (ДУ) на биполярных и полевых транзисторах отличаются от балансных усилителей, показанных на рисунке 23, наличием двух несимметричных входов, рисунок 24.



а)



б)

Рисунок 24. Схемы дифференциальных усилителей на биполярных (а) и полевых (б) транзисторах.

Дифференциальный усилитель усиливает разность входных сигналов.

Операционными усилителями (ОУ) называют широкий класс усилителей с гальваническими связями, работающих при наличии глубокой обратной связи. Эта обратная связь настолько велика, что параметры и характеристики устройства на ОУ практически полностью определяется видом и

характеристиками элементов, входящих в цепь ОУ. Независимо от сложности принципиальной схемы почти все ОУ имеют структурную схему, показанную на рисунке 25. Операционные усилители, построенные по такой структурной схеме, имеют два и один выход. По отношению к выходу один из входов является инвертирующим, другой – неинвертирующим. Наличием в ОУ инвертирующего и неинвертирующего входа значительно облегчается введение в него различных ОС и с их помощью реализацию различных функций.

Отклонения от данной структурной схемы носят непринципиальный характер.

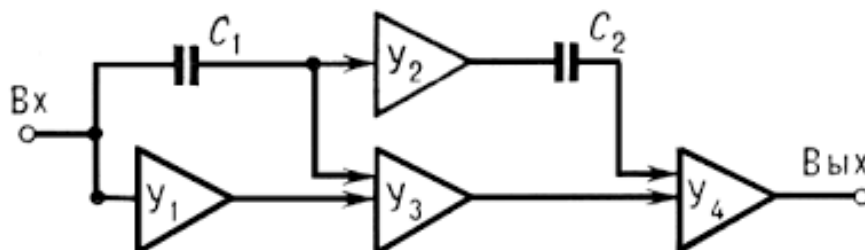


Рисунок 25. Структурная схема операционного усилителя.

Представляя ОУ идеальной моделью, что $K_U \rightarrow \infty$, $R_{ВХ} \rightarrow \infty$, $R_{ВЫХ} \rightarrow 0$. Кроме того, к основным признакам идеального ОУ следует также отнести бесконечно широкую полосу частот усиливаемых сигналов, начиная с частоты $f=0$, постоянство амплитуды усиливаемого сигнала во всем диапазоне частот, отсутствие дрейфа нуля, высокое подавление синфазных сигналов (отсутствие статических и шумовых ошибок). Основными характеристиками ОУ являются амплитудная и амплитудно-частотная.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие усилители постоянного тока называют операционными?
2. Какие основные требования предъявляют к операционным усилителям?
3. Какова структура интегрального ОУ? Какие функции выполняют входные каскады СУ?
4. Поясните, как осуществляется защита от перегрузок по току в выходных каскадах интегральных ОУ?
5. Назовите основные параметры микросхемы К140УД1Б?
6. какой операционный усилитель называется дифференцирующим?

Электронные генераторы гармонических колебаний

Содержание программы

Назначение и классификация генераторов гармонических колебаний.

LC-и RC- генераторы. Условия самовозбуждения и режимы работы автогенераторов.

Стабилизация частоты колебаний автогенераторов.

Литература: [1, гл.5]; [2, гл.12]; [3, гл.4]; [5, гл.13, § 7.3; § 7.4].

Методические указания

Генераторами называют электронные устройства, преобразующие электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний.

Любой автогенератор электрических колебаний представляет собой усилитель, охваченный цепью положительной обратной связи (ПОС), рисунок 26. При этом часть выходного напряжения U_{oc} через цепь ПОС поступает на вход усилителя в фазе входным напряжением, обеспечивающим заданное значение $U_{вх}$. Чтобы амплитуда выходного напряжения не изменилась, должно быть выполнено условие $U_{oc} = U_{вх}$. Так как $U_{вх} = U_{вых}/K_{и}$ и $U_{oc} = \beta U_{вых}$, то из равенства $U_{oc} = U_{вх}$ следует $\beta U_{вых} = U_{вых}/K_{и}$ или $K_{и}\beta = 1$ (10).

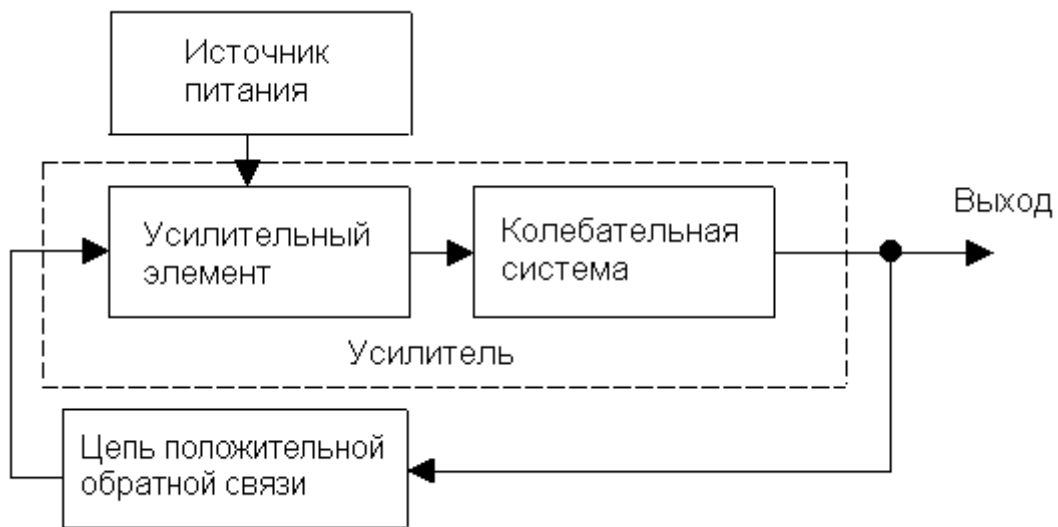


Рисунок 26. Структурная схема автогенератора.

Уравнение (10) является условием существования в генераторе незатухающих электрических колебаний. Ему соответствуют два уравнения отражающее баланс амплитуды в автогенераторе

$$K_{и}\beta = 1 \quad (11)$$

и отражающее баланс фаз,

$$\varphi_{и} + \varphi_{\beta} = 2\pi n \quad (12)$$

где $n=0,1,2,3,\dots$

существует много разновидностей схем генераторов гармонических колебаний. LC-контуры и RC-четырёхполюсники.

Автогенераторы по виду элементов, входящих в звенья обратной связи, подразделяются на LC и RC.

Вопросы для самопроверки:

1. Какое электронное устройство называют автогенератором гармонических колебаний?
2. Как классифицируются автогенераторы в зависимости от генерируемых частот?
3. В чем заключается условия баланса амплитуд и фаз в автогенераторе гармонических колебаний?
4. Какие виды частотно-избирательных используют при построении схем LC и RC генераторов?
5. Чем отличается режим мягкого самовозбуждения от режима жесткого самовозбуждения автогенератора?
6. Поясните принцип работы кварцевого резонатора?

Электронные ключи

Содержание программы

Общие сведения об электронных ключах. Диодные ключи. Ключи на биполярных транзисторах. Ключи на МДП – транзисторах.

Литература: [1, с. 160-164]; [2, с. 202-203]; [3, гл. 5 (§5,1; 5,2)]; [13, § 8,2].

Методические указания

Импульсными называют устройства, работающие в прерывистом режиме. В таком режиме кратковременное воздействие чередуется с паузой, длительность которых соизмерима с длительностью переходных процессов. Основными задачами, решаемыми с помощью импульсных устройств, являются: формирование и генерирование импульсов заданных форм и параметров, а также управление импульсами. Импульсный режим работы лежит в основе работы многих устройств промышленной электроники.

Схемы формирования и генерирования импульсов чаще всего содержат нелинейные RC-цепи, вводимые искусственно (дифференцирующие цепи, интегрирующие цепи и др.) или самостоятельно существующие в схеме (емкости р-n-переходов, паразитные емкости и т.п.)

Дифференцирующими называют цепи, у которых напряжение на выходе пропорционально производной входного напряжения, рисунок 27.

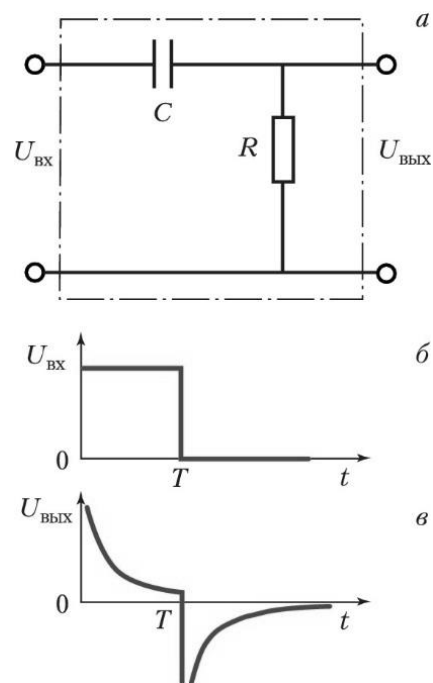


Рисунок 27. Дифференцирующая цепь.

Для RC– дифференцирующей цепи $U_{\text{ВЫХ}} = RC dU_{\text{ВХ}}/dt$. Если на вход дифференцирующей цепи подавать прямоугольные импульсы, то дифференцирование сопровождается укорочением длительности импульсов.

Интегрирующей называют цепь, у которой выходное напряжение пропорционально интегралу по времени от входного напряжения.

Отличие схемы интегрирующей цепи, рисунок 28, от схемы дифференцирующей цепи состоит в том, что выходное напряжение снимается с конденсатора.

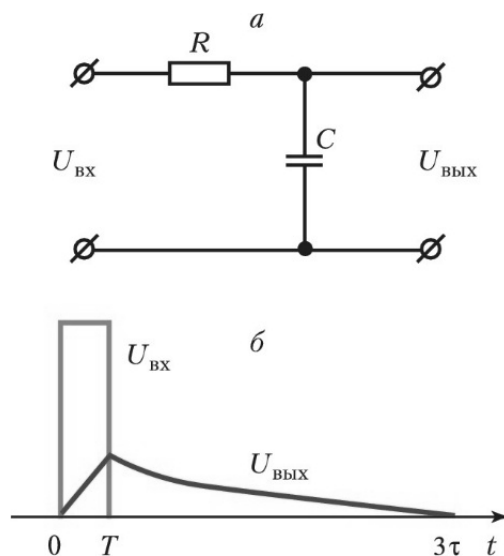


Рисунок 28. Интегрирующая цепь.

Применяются интегрирующие цепи чаще всего для получения линейно измеряющихся (пилообразных) напряжений.

Электронный ключ – это устройство, которое может находиться в одном из двух устойчивых состояний: замкнутом или разомкнутом. Переход из одного состояния в другое в идеальном электронном ключе происходит скачком под воздействием управляющего напряжения или тока. По типу используемого нелинейного элемента электронные ключи делят на диодные, транзисторные, тиристорные и т.д.

Простейшая схема транзисторного ключа, рисунок 29, подобна схеме транзисторного усилителя, однако она отличается режимом работы транзистора. При работе в ключевом режиме рабочая точка транзистора может находиться только в двух положениях: в области отсечки (точка 1, транзистор закрыт) и в области насыщения (точка 2 или около, транзистор открыт и насыщен). Ключи очень широко применяются в логических элементах электронных устройств.

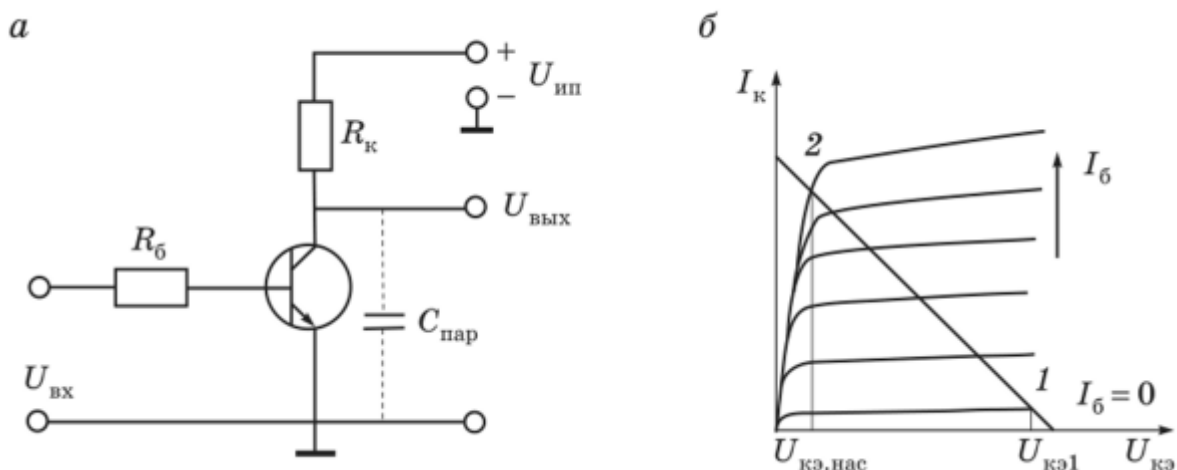


Рисунок 29. Схема транзисторного ключа (а) и характеристики (б), иллюстрирующие изменение режима при переходе из закрытого состояния (точка 1) в открытое состояние (точка 2).

Вопросы для самопроверки:

1. Какое основное назначение электронных ключей?
2. Какие активные элементы используются в виде ключа?
3. Приведите схему ключа на биполярных транзисторах, полевых транзисторах. Поясните эти схемы.
4. Проиллюстрируйте переходные процессы в транзисторе при включении и выключении ключа.

Импульсные генераторы и компараторы. Мультивибраторы и одновибраторы

Содержание программы

Мультивибраторы на дискретных элементах. Мультивибраторы на ИМС. Одновибраторы на дискретных элементах. Одновибраторы на логических элементах и операционных усилителях.

Литература: [1, § 6.6; с. 252-262]; [3, §6.3]; [5, с. 328-331]; [13, §8.8].

Методические указания

Мультивибратор применяется для генерирования прямоугольных импульсов.

Он представляет собой, рисунок 30, двухкаскадный усилитель с положительной обратной связью, замкнутый в кольцевую схему: выход первого усилителя через цепочку C_1, R_{62} соединен со входом второго, а выход второго через цепочку C_2, R_{61} - со входом первого. Если $R_{к1}=R_{к2}$, $R_{61}=R_{62}$ и $C_1=C_2$, то мультивибратор называется симметричным. Время закрытого состояния транзистора $VT1$ или длительность положительного импульса, снимаемого с выхода 1, определяется перезарядкой конденсатора C_2 .

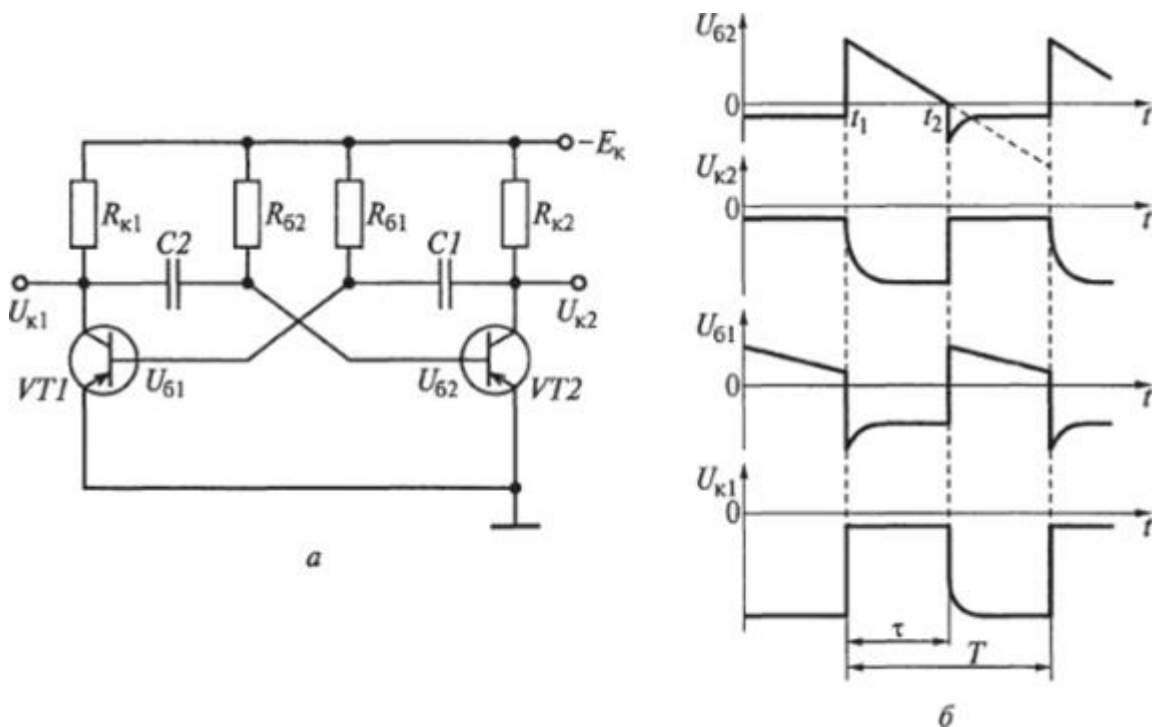


Рисунок 30. Схема мультивибратора с коллекторно-базовыми связями(а) и графики напряжений на электродах транзисторов(б).

Одновибратор или ждущий мультивибратор может быть получен из мультивибратора, если его принудительно запереть в одном из временно устойчивых состояний.

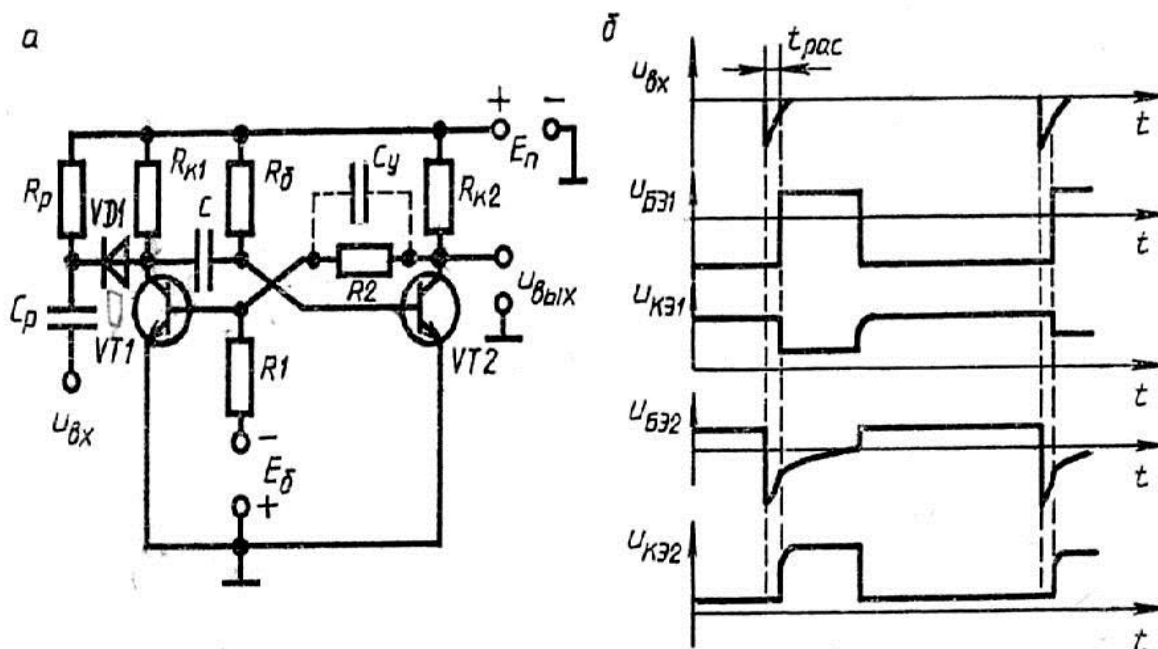


Рисунок 31. Схема одновибратора на БТ с коллекторно-базовыми связями (а) и графики напряжений на электродах транзисторов (б).

Одновибратор обладает одним устойчивым состоянием, в котором может находиться сколь угодно долго, пока к нему не будет приложено внешнее напряжение, переводящее его в квазиустойчивое состояние. Переход из квазиустойчивого состояния в устойчивое осуществляется в одновибраторе самостоятельно.

Вопросы для самопроверки:

1. Опишите процессы, происходящие в схеме мультивибратора на биполярных транзисторах.
2. По какому принципу строят мультивибраторы, на логических элементах?
3. Как построен одновибратор с эмиттерной связью?
4. Поясните работу одновибратора на биполярных транзисторах, логических элементах и на интегральному ОУ.

Генератор линейного-изменяющегося напряжения (ГЛИН)

Содержание программы

Общие сведения о генераторах линейного изменяющегося (пилообразного) напряжения.

Простейшие генераторы линейного изменяющегося напряжения, состоящие из интегрирующей RC- и ключевого каскада на транзисторе.

Генераторы линейного напряжения с повышенной линейностью.

Литература: [1, § 6.8]; [3, § 6.4]; [5, с. 332-335]; [13, §8.9].

Методические указания

Генераторы линейного изменяющегося напряжения (ГЛИН) предназначены для получения импульсного напряжения, которое в течение некоторого времени изменяется (возрастает или убывает) практически по линейному закону, а затем возвращается к исходному уровню.

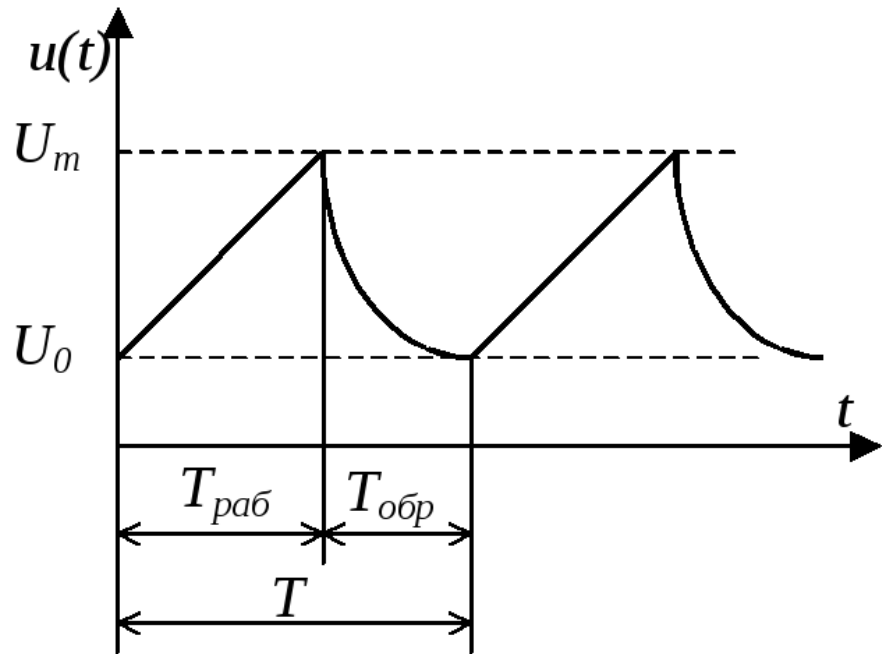


Рисунок 32. График линейного-изменяющегося напряжения

Линейно изменяющееся напряжение характеризуется следующими основными параметрами: длительностью прямого (рабочего) хода $T_{пр}$, длительностью обратного хода $T_{обр}$, периодом повторения T , амплитудой U_m .

Схема простейшего ГЛИН представляет собой интегрирующую цепь RkC , коммутируемую через ключ, управляемый внешними прямоугольными импульсами (в рассматриваемом случае отрицательными и определяющими длительность прямого хода). ГЛИН применяются для создания развертки электронного луча на экране ЭЛТ, измерительных приборах, модуляции импульсов по длительности в системах автоматического регулирования и т.п.

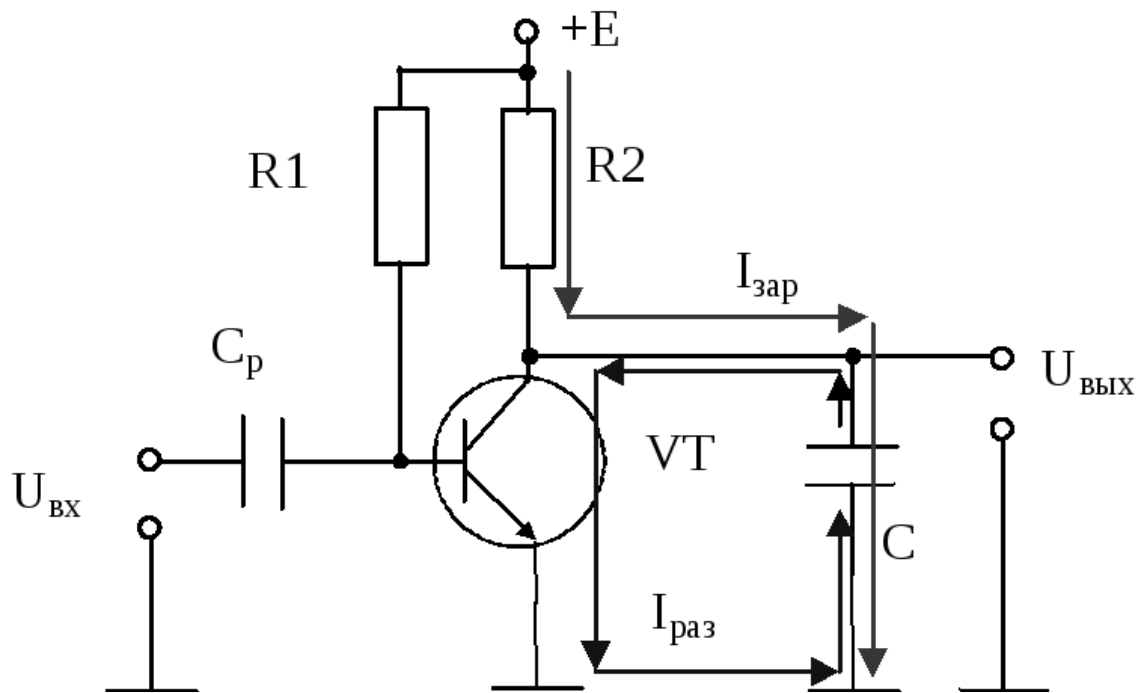


Рисунок 33. Схема генератора пилообразного напряжения на биполярном транзисторе

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение важнейших параметров импульса пилообразной формы.
2. Какие схемы относятся ГЛИН?
3. Где наиболее широко используются ГЛИН?
4. Какие основные элементы содержит ГЛИН.
5. В чем достоинства ГЛИН на ОУ?
6. Что является основным недостатком схемы ГЛИН?

Компараторы

Содержание программы

Понятие о компараторах напряжения. Компараторы напряжения без гистерезиса.

Компараторы напряжения с гистерезисом (триггеры Шмитта).

Литература: [1, с. 129-141]; [2, с. 262-265]; [13, § 8.7].

Методические указания

Компаратором называют устройство, предназначенное для сравнения двух напряжений. Они применяются для получения импульсов прямоугольной формы из входного напряжения произвольной формы, для получения перепадов напряжения, измерения фазы синусоидальных колебаний и т.п. В качестве компараторов широко используются интегральные операционные усилители. На рисунке 34(а) приведена схема компаратора, который называется триггером Шмитта, а на рисунке 34(б, в) графики, поясняющие принцип формирования напряжения прямоугольной формы из синусоидального напряжения инвертирующим триггером Шмитта.

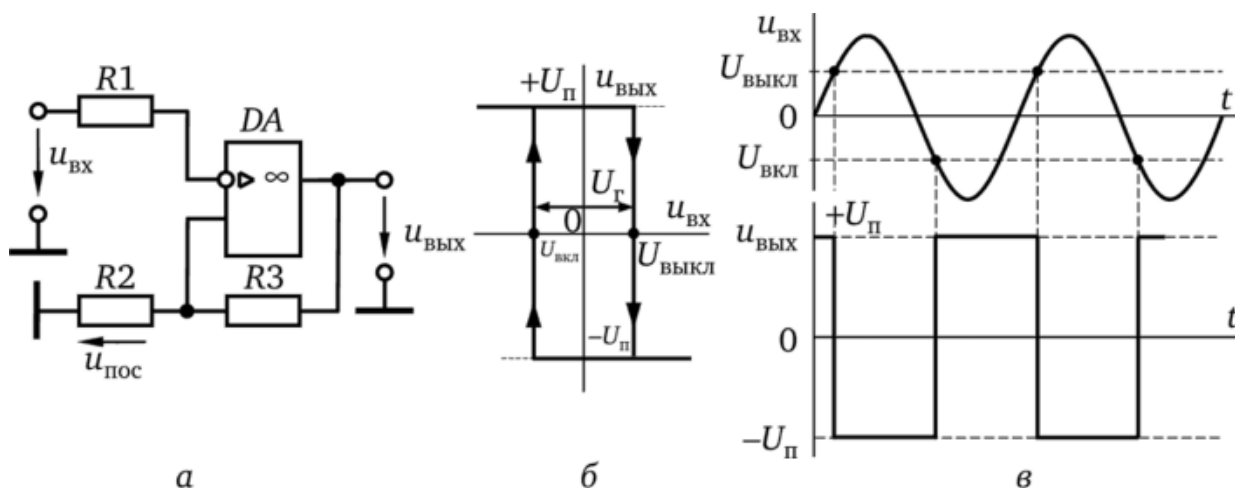


Рисунок 34. Схема неинвертирующего триггера Шмитта на ОУ (а), его передаточная характеристика (б) и графики, поясняющие принцип получения прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения (в).

Вопросы для самопроверки:

1. Изобразите схему простейшего компаратора напряжений на интегральном ОУ и поясните его работу.
2. Покажите условное графическое обозначение компараторов напряжения.
3. Почему триггер Шмитта называют инвертирующим?

Цифровая микросхемотехника. Логические элементы

Содержание программы

Основные положения алгебры логики. Основные логические операции логические схемы. Параметры логических элементов. Типы логических элементов.

Литература [1, с. 83-86. § 6.4]; [2, § 9.1, 9.3, 9.4]; [3, § 5.3]; [5, § 18.2]; [13, §8.3].

Методические указания

Логическая операция преобразует по определенным правилам входную информацию в выходную. Основными логическими операциями являются:

- логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция);
- логическое умножение И (конъюнкция);
- логическое отрицание НЕ (инверсия).

На основе этих простых логических операций могут строиться и более сложные: операция отрицания логического сложения ИЛИ-НЕ, операция отрицания логического умножения И-НЕ, операция ЗАПРЕТ и др. Для выполнения логических операций в ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах применяются логические элементы (ЛЭ)- электронные схемы. ЛЭ обычно выполняются на базе электронных ключей. В зависимости от компонентов, которые используются при построении ЛЭ, и способа соединения компонентов в пределах одного ЛЭ различают следующие типы ЛЭ, или типы логик:

- диодно – транзисторная логика (ДТЛ);
- транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ);
- эмиттерно – связная логика (ЭСЛ);
- инжекционно – интегральная логика (ИИЛ);
- логические элементы на МДП – транзисторах (КМДП).

Имеются и иные типы ЛЭ. Одни из них морально устарели и в настоящее время не применяются, другие находятся в стадии разработки.

Вопросы для самопроверки:

1. Сформулируйте основные понятия алгебры – логики.
2. Перечислите способы изображения значения логической переменной.
3. Что означают операции логического сложения, умножения, отрицания?
4. Как можно описать работу логической схемы?
5. Приведите таблицы истинности логических функций.
6. Какие характеристики и параметры логических элементов называются статическими, динамическими?

Триггеры

Содержание программы

Общие сведения о триггерах. Триггеры с двумя входами. Устройство и принцип работы. Состояние триггера. Триггер со счетным запуском.

Структура и классификация триггеров на логических ИМС.

Асинхронные и синхронные SR-триггеры, T-триггеры, D- триггеры, JK-триггеры. Основные особенности их работы. Условные обозначения на схемах. Временные диаграммы.

Литература: [1; §6.5]; [2, § 1.1]; [3 гл.6]; [5, с. 348-353]; [13, § 8.4, 8.7].

Методические указания

Триггерами, или пусковыми устройствами, называются регенеративные устройства с гальваническими связями, имеющие два состояния устойчивого равновесия. Переход из одного состояния устойчивого равновесия в другое осуществляется скачком под воздействием внешнего управляющего напряжения.

Управляющее напряжение определяет, таким образом, временные интервалы между перепадами выходного напряжения.

Перепады выходного напряжения или устойчивые состояния триггера можно принять в качестве логической информации «0» и «1». В таком случае триггер можно использовать в качестве запоминающегося устройства, которое хранит один разряд числа, представленного в двоичном коде.

На рисунке 35 изображена схема симметричного транзисторного триггера и его временные диаграммы.

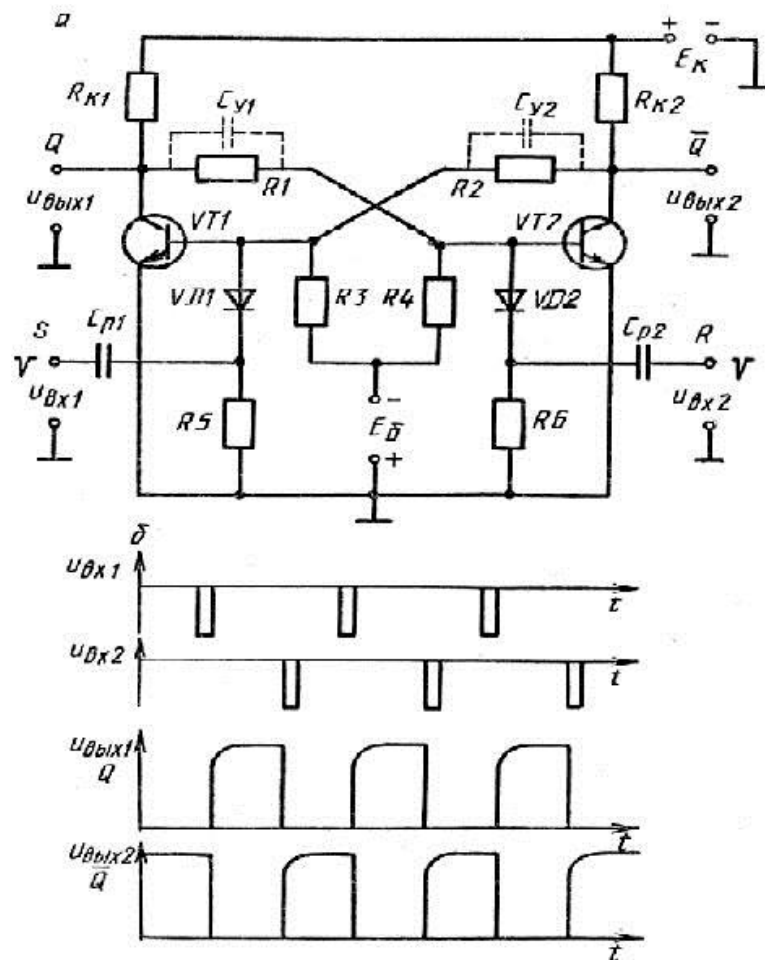


Рисунок 35. Схема симметричного триггера с коллекторного–базовыми связями (а) и графики напряжений на его входах и выходах (б).

Напряжения на коллекторах транзисторов служат выходными сигналами триггера. Из приведенных графиков и принципа работы следует, что уровни сигналов на выходах являются взаимно инверсными и по состоянию одного выхода можно судить о состоянии другого. Один из выходов называют прямым и обозначают буквой Q . Другой выход – инверсный – обозначается \bar{Q} . В силу симметрии схемы прямым или инверсным может быть назначен любой выход триггера. Состояние триггера называют единичным, если на прямом выходе имеется уровень напряжения, соответствующий единице, а на инверсном – логическому нулю, т.е., $Q = 1, \bar{Q} = 0$.

Вход, на который подается сигнал, устанавливающий триггер в состоянии 1, обозначают буквой S . Вход, на который поступает сигнал, устанавливающий триггер в состояние 0 ($Q = 0, \bar{Q} = 1$), обозначают R (от англ. set – установка и reset – сброс). Такой триггер с отдельным запуском получил название RS – триггера.

Интегральные триггеры используются как самостоятельные устройства и, кроме того, входят в состав различных функциональных устройств: счетчиков, регистров, запоминающих устройств и т. п. Современные интегральные триггеры часто строятся на основе нескольких логических элементов, объединенных в одну микросхему. Они могут иметь несколько входов и

различаться способами ввода входной информации. Для преобразования входной информации в требуемую комбинацию управляющих сигналов в триггере имеется устройство управления. Это устройство позволяет значительно расширить функциональные возможности триггера.

Обобщенная структурная схема триггера с устройством управления показана на рисунке 36.

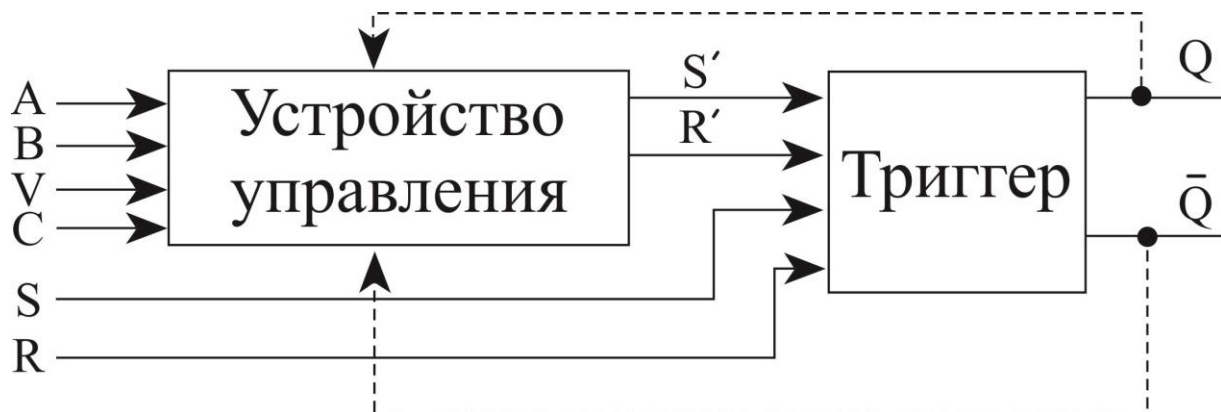


Рисунок 36. Структурная схема триггерной системы

A, B - информационные (логические) входы;

V-подготовительный вход;

и R' – внутренние входы; S и R – внешние входы; Q и Q- внешние выходы.

Входные сигналы A, B, V, C, S, R в зависимости от выполняемой роли подразделяются на информационные (логические), подготовительные (разрешающие) и исполнительные (командные). Входы триггера, на которые подаются эти сигналы, соответственно носят названия: информационные (логические), предустановочные (подготовительные) и тактовые (синхронизирующие). В зависимости от назначения триггера предустановочные и тактовые входы могут отсутствовать, в то время как информационные входы имеются у каждого триггера.

Вопросы для самопроверки:

1. Какое электронное устройство называют триггером?
2. Что является основной структуры триггера?
3. В каких состояниях может находиться триггер ?
4. Как классифицируется триггер?
5. Как обозначаются входные состояния триггеров? Информационные входы?
6. В каких случаях RS- триггеры принимает неопределенное состояние?
7. Какой триггер называется триггером задержки? Со счетным входом? Универсальным? Почему?
8. Покажите условные обозначения а схемах RS- триггеров, D-триггеров, T – триггеров, JK- триггеров.

Вторичные источники электропитания (ВИЭП) электронных устройств

Общие сведения об источниках питания

Содержание программы

Понятие о вторичных источниках электропитания (ВИЭП). Их классификация. Основные требования к ВИЭП.

Функциональная схема ВИЭП.

Литература: [1, § 8.1]; [2, § 15.1]; [5, § 15.1]; [7, § 32]; [13, § 9.1, § 9.2].

Методические указания

Для работы любого электронного устройства требуется источник питания, вырабатывающий одно или несколько напряжений постоянного тока, отвечающих определенным требованиям. В промышленной электронике такими устройствами чаще всего являются выпрямители.

Выпрямители называют устройства, предназначенные для преобразования энергии переменного тока в энергию постоянного тока.

Структурная схема выпрямительного устройства изображена на рисунке 37.

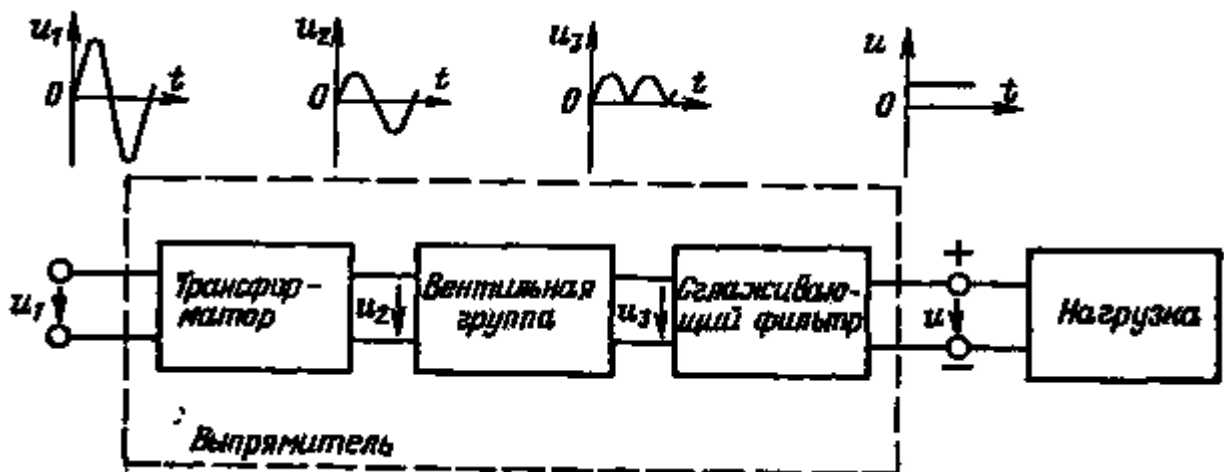


Рисунок 37. Структурная схема выпрямителя.

На вход выпрямителя подается сетевое переменное напряжение U_1 , которое с помощью трансформатора изменяется до требуемого значения U_2 . Кроме того, трансформатор осуществляет развязку блоков выпрямителя и его нагрузку от сетевой электрической линии; такая развязка цепей повышает электробезопасность обслуживания. После трансформатора переменное напряжение U_1 преобразуется выпрямительными элементами (вентильми) в пульсирующее напряжение U_3 . Выпрямительными элементами могут быть полупроводниковые диоды, тиристоры и другие приборы, обладающие односторонней электропроводимостью. Количество выпрямительных элементов зависит от схемы выпрямителя.

Сглаживающий фильтр используется для уменьшения пульсации выпрямленного напряжения.

Стабилизатор постоянного напряжения, установленный после фильтра, поддерживает неизменным напряжение U_n на нагрузочном устройстве при изменении выпрямленного напряжения или сопротивления нагрузки. В

зависимости от условий работы и требований, предъявляемых к выпрямительным устройствам, отдельные его элементы могут отсутствовать. Например, если напряжение сети соответствует требуемому значению выпрямленного напряжения, то может отсутствовать трансформатор, а в отдельных случаях – стабилизатор постоянного напряжения.

В соответствии с возможностью регулирования выходного напряжения различают неуправляемые и управляемые выпрямители.

По числу фаз выпрямляемого напряжения переменного тока выпрямители подразделяются на однофазные, трехфазные и многофазные. Однофазные выпрямители применяются для питания электронных устройств малой мощности. Для питания электронных устройств средней и большой мощности обычно используются трехфазные выпрямители. Однофазные выпрямители подразделяются на однополупериодные и двухполупериодные.

Основными параметрами выпрямителей являются средние значения выпрямленного напряжения $U_{ср}$ и $I_{ср}$, действующие значения. Напряжения U_2 и тока I_2 вторичной обмотки трансформатора, коэффициент пульсации выпрямленного напряжения K_p , коэффициент сглаживания пульсации $K_{сг}$, коэффициент полезного действия (КПД), типовая мощность трансформатора $S_{тр} = 0,5 (S_1 + S_2)$, где $S_1 = U_1 \cdot I_1$ и $S_2 = U_2 \cdot I_2$. Кроме того, каждый из функциональных узлов характеризуется отдельной системой параметров и коэффициентов.

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определения выпрямителям.
2. Нарисуйте обобщенную структурную схему выпрямительного устройства.
3. Как классифицируются выпрямители?
4. Назовите основные параметры выпрямителей.

Однофазные и трехфазные выпрямители

Содержание программы

Неуправляемые однофазные выпрямители: однополупериодные и двухполупериодные. Неуправляемые трехфазные выпрямители. Схема выпрямителя с выводом нулевой точки. Мостовая схема выпрямителя (схема Ларионова).

Литература: [1, §8.2; 8.3;8.4]; [2, §15.2; 15.3; 15.4]; [5, §15.2; 15.3;15.6]; [13, §9.3; 9.8].

Методические указания

Для примера на рисунке 38 приведены схема однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя (а) и временные диаграммы напряжений и токов (б) в ней.

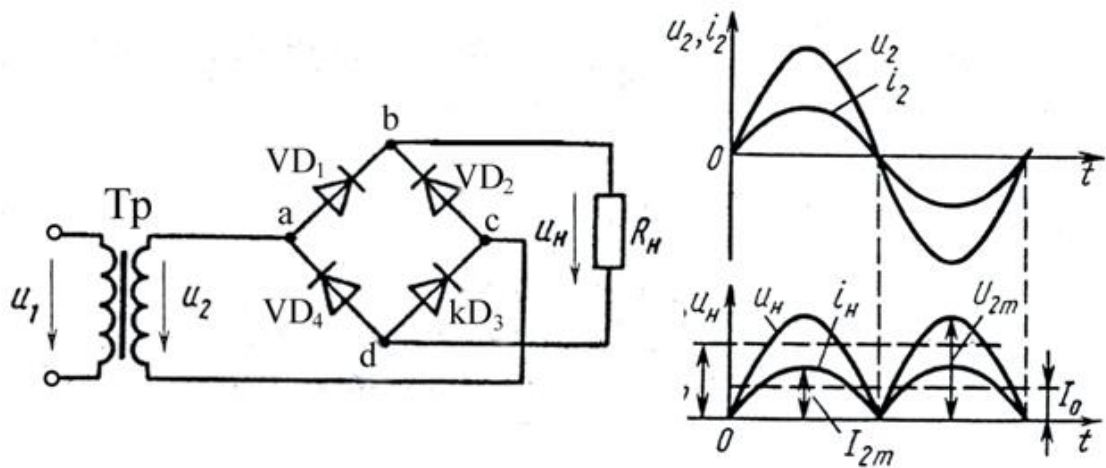


Рисунок 38. Однофазный двухполупериодный мостовой выпрямитель (а) и временные диаграммы напряжений и токов (б).

На практике часто случаются случаи, требующие возможности изменения напряжения на выходе выпрямителя в широких пределах (например, для управления скоростью электродвигателей постоянного тока). В таких выпрямителях применяют управляемые выпрямительные элементы, в качестве которых в настоящее время обычно используют триисторы. Управляемый выпрямитель отличается от неуправляемого наличием устройства управления, которое осуществляет управление переводом триисторов в проводящее состояние.

Вопросы для самопроверки:

1. Как построена двухполупериодная схема выпрямителя с выводом нулевой точки?
2. Чем отличается мостовая схема выпрямителя от схемы с выводом нулевой точки?
3. Опишите работу трехфазной схемы выпрямления с выводом нулевой точки.
4. В чем заключаются преимущества трехфазной схемы выпрямления по сравнению с однофазной?
5. Как работает трехфазная мостовая схема выпрямителя?

Управляемые выпрямители

Содержание программы

Управляемые однофазные и трехфазные выпрямители: схемы, принцип работы.

Литература: [1, §8.2; 8.3; 8.4]; [2, §15.2; 15.3; 15.4]; [5, § 15.2; 15.3; 15.6]; [13, §9.3; 9.8].

Методические указания

Однофазный управляемый двухполупериодный выпрямитель с выводом от средней точки обмотки трансформатора представлен на рисунке 39, а моменты отпирания триисторов TP_1 и TP_2 определяются моментами поступления на их управляющие электроды импульсов тока (рисунок 39 (б)), задержанных

относительно момента перехода через нуль вторичных напряжений на некоторое время, которое соответствует фазовому углу, называемому углом управления. Среднее значение выпрямленного напряжения зависит от угла управления.

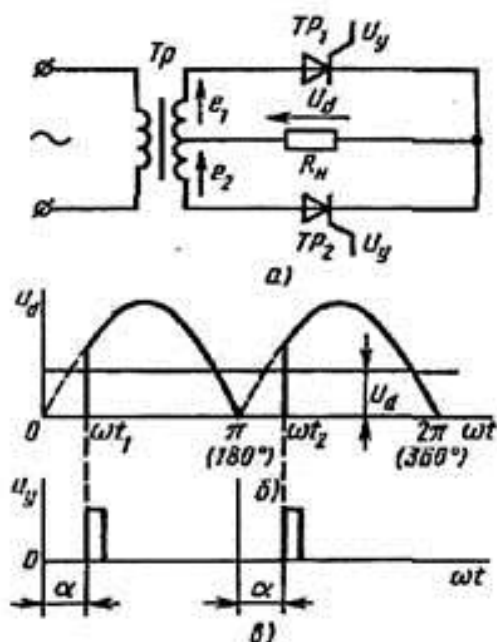


Рисунок 39. Однофазный управляемый двухполупериодный выпрямитель с выводом от средней точки обмотки трансформатора.

Вопросы для самопроверки:

1. Опишите работу однофазной двухполупериодной схемы выпрямителя на тиристорах.
2. Как зависит выпрямленное напряжение от угла управления α ?
3. Каковы основные достоинства тиристорных схем управления электродвигателями постоянного тока?

Сглаживающие фильтры

Содержание программы

Общие сведения о сглаживающих фильтрах. Емкостный, индуктивный фильтры. Г-образный, П-образный фильтры. Электронные фильтры.

Литература: [1, гл. 9]; [2, §15.5]; [5, § 15.4]; [13, §9.4].

Методические указания

Сглаживающие фильтры предназначаются для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения до уровня, при котором нормально работает потребитель. Фильтры включают между собой выпрямительным блоком и нагрузкой.

Основным параметром, характеризующим эффективность действия сглаживающего фильтра, является коэффициент сглаживания, равный отношению коэффициентов пульсаций на входе и выходе фильтра:

$$K_{сг} = K_{пвх} / K_{пвых} \quad (13)$$

В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные.

Вопросы для самопроверки:

1. Для каких целей применяют сглаживающие фильтры?
2. Какие требования предъявляют к сглаживающим фильтрам?
3. Что называют коэффициентом сглаживания фильтра?
4. Где применяют простейшие индуктивные и ёмкостные фильтры?
5. В каких случаях применяют резистивно-ёмкостные фильтры?

Электронные стабилизаторы постоянного напряжения

Содержание программы

Понятие об электронных стабилизаторах постоянного напряжения. Параметрические и компенсационные стабилизаторы напряжения.

Стабилизаторы напряжения на ИМС.

Литература: [1, §10.4]; [2, §15.6, 15.7]; [Л5, §15.5]; [13, §9.6].

Методические указания

Электронные стабилизаторы постоянного напряжения подразделяются на параметрические, компенсационные и комбинированные.

Основным параметром стабилизаторов напряжения является коэффициент стабилизации, равный отношению относительного изменения напряжения на входе стабилизатора ($\Delta U_{вх} / U_{вх}$) к относительному изменению напряжения на его выходе ($\Delta U_{вых} / U_{вых}$):

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} : \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых}} = \frac{\Delta U_{вх} \cdot U_{вых}}{\Delta U_{вых} \cdot U_{вх}} \quad (14)$$

Принцип работы параметрического стабилизатора напряжения, рисунок 40, заключается в поддержании постоянного напряжения на выходе за счет перераспределения токов, протекающих через линейный (R_0) и нелинейный элементы. В качестве нелинейных элементов применяются газоразрядные или кремниевые стабилизаторы.

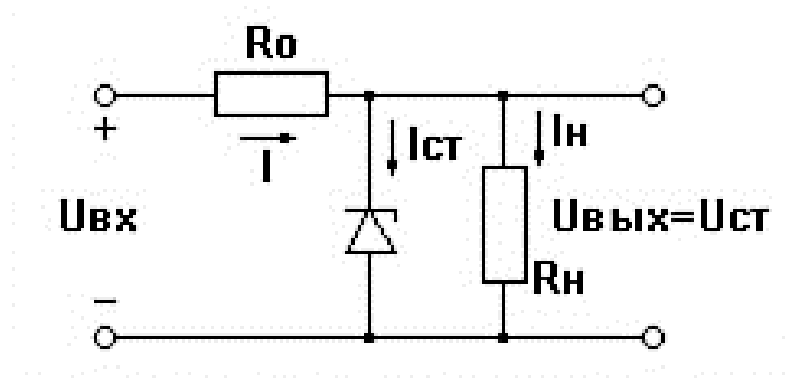


Рисунок 40. Параметрический стабилизатор напряжения.

Компенсационный стабилизатор напряжения, рисунок 41, представляет собой систему автоматического регулирования. Сущность компенсационного

метода стабилизации напряжения состоит в том, что в процессе стабилизации с помощью измерительного устройства $У$ осуществляется сравнение выходного напряжения с опорным или эталонным U_0 . Разностное напряжение усиливается и подается на регулирующий элемент P , изменяя его сопротивление таким образом, чтобы уровень элемент P , изменяя его сопротивление таким образом, чтобы уровень выходного напряжения не изменялся при изменении выходного напряжения.

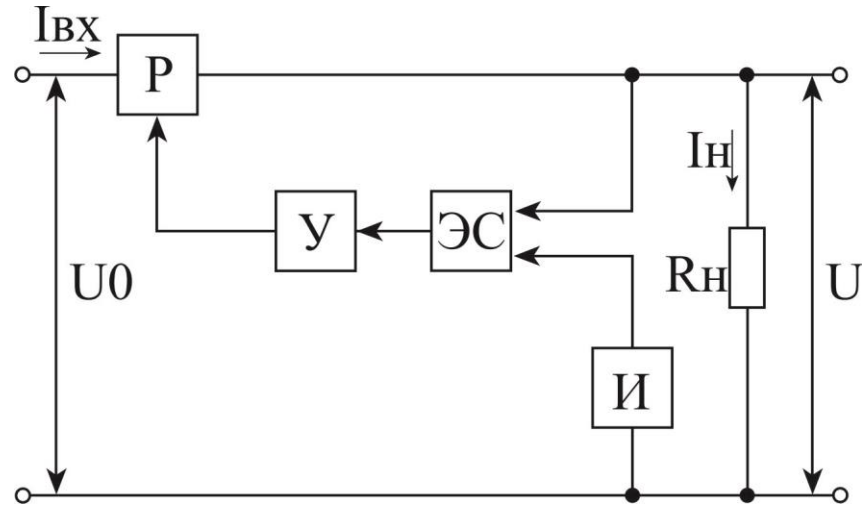


Рисунок 41. Компенсационный стабилизатор напряжения.

Регулирующий элемент может включать последовательно, или параллельно, с нагрузкой. В качестве регулирующих и измерительных элементов обычно используется транзисторы.

Широкое распространение в настоящее время получили интегральные электронные стабилизаторы на основе микросхем серии К142.

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определения стабилизатора напряжения.
2. Как классифицируются стабилизаторы?
3. Что называется стабилизатором напряжения?
4. Чем отличаются стабилизаторы параметрического и компенсационного типов?
5. По каким схемам могут быть построены стабилизаторы на стабилитронах?
6. Каковы достоинства и недостатки компенсационных стабилизаторов?

Преобразователи напряжения

Содержание программы

Общие сведения о преобразователях напряжений. Инверторы. Конверторы.

Литература: [1, гл.11]; [13, § 9.9, 9.10, 9.11].

Методические указания

В современной технике всё чаще применяются источники питания с бестрансформаторным входом (ИПБВ), часто их называют импульсными

источниками питания (ИИП). Общая структурная схема такого источника питания представлена на рисунке 42.

Отсутствие в ИПБВ низкочастотного трансформатора питания существенно уменьшает его массу и габариты и увеличивает КПД. ИПБВ рационально применять при выходной мощности свыше 15-25 Вт.

Гальваническая развязка выходной цепи ИПБВ от входной питающей сети осуществляется трансформатором инвертора.

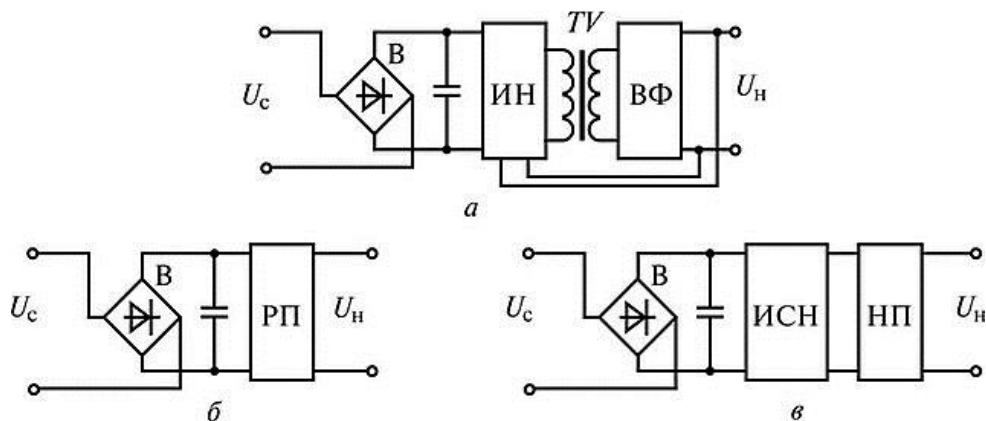


Рисунок 42. Общая структурная схема источника питания с бестрансформаторным входом.

Преобразование переменного тока сети в постоянный ток нужного напряжения в ИПБВ происходит в такой последовательности: выпрямление сетевого тока входным выпрямителем с емкостным фильтром; преобразование выпрямленного напряжения сети в импульсное напряжение повышенной частоты; трансформирование импульсного напряжения до величин требуемого значения; выпрямление вторичных напряжений, фильтрация их пульсаций и стабилизация напряжений.

Применение на входе ИПБВ двухполупериодного мостового выпрямителя уменьшает максимальное обратное напряжение на диодах.

Выпрямленное и отфильтрованное напряжение сети подается на инвертор, который преобразует постоянное напряжение входного выпрямителя в импульсное напряжение повышенной частоты порядка 20-50 кГц.

Инвертированием в источниках питания называют процесс, обратный выпрямлению, т.е. процесс преобразования постоянного тока в переменный ток требуемого напряжения и частоты.

Основными элементами инверторов являются коммутирующие приборы (устройства), которые периодически прерывают ток или изменяют его направление. В качестве коммутирующих приборов применяют тиристоры и транзисторы, работающие в режиме «открыть - закрыть», благодаря чему КПД инверторов очень высок (до 95-99 %). Следует добавить, что полупроводниковые ключи и преобразователи на них имеют малые габариты, массу и стоимость, большой срок службы.

Импульсное напряжение с выхода инвертора подается на усилитель мощности, нагрузкой которого является импульсный трансформатор, к вторичным обмоткам которого подключены выходные выпрямители с фильтрами.

Стабилизация выходного выпрямленного напряжения реализуется в инвертное методом широтно – импульсной модуляции или включением стабилизатора или после него.

Для управления работой ИПБВ в них применяют: цепи запуска коммутирующих элементов преобразователя; цепи обратной связи, обеспечивающие устойчивость ИПБВ как системы автоматического регулирования с широтно-импульсной модуляцией и стабилизацию выходного напряжения; цепи защиты от перегрузки по току и короткого замыкания.

Существует много разновидностей схем ИПБВ по исполнению входных выпрямителей, устройств преобразования и управления, схем стабилизации выходных напряжений и токов, цепей защиты и т.п. В схемах ИПБВ могут отсутствовать некоторые элементы в зависимости от назначения и требуемых параметрах источника питания.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется инвертором, конвертором?
2. Что является основными элементами инверторов, конверторов?
3. Классификация инверторов, конверторов.
4. Поясните работу инвертора, ведомого сетью.
5. Где применяются автономные тиристорные инверторы?

Варианты заданий

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,37,64, 84,117	28,57,74, 94,127	35, 58, 82, 104, 137	7, 49, 83, 114, 119	1, 50, 82, 91, 129	34, 42, 83, 101, 139	12, 43, 82, 111, 121	5, 62, 79, 88, 131	36, 63, 83, 98, 141	20, 56, 64, 108, 123
1	23,40,65, 85,118	2,38,75, 95,128	27, 59, 81, 105, 138	15, 48, 64, 115, 120	19, 51, 81, 92, 130	13, 41, 64, 102, 140	6, 44, 81, 112, 122	35, 61, 64, 89, 132	19, 37, 82, 99, 142	15, 55, 65, 109, 124
2	8,41,66, 86,119	22,56,76, 96,129	3, 39, 80, 106, 139	26, 47, 65, 116, 121	11, 52, 80, 93, 131	7, 40, 65, 103, 141	34, 45, 80, 113, 123	18, 60, 65, 90, 133	14, 38, 81, 100, 143	24, 54, 66, 110, 125
3	13,42,67 87,120	27,55,77, 97,130	21, 60,79, 107, 140	4, 46,66, 84, 122	25, 53, 79, 94, 132	33, 39, 66, 104, 142	17, 46, 79, 114, 124	12, 59, 66, 91, 134	25, 39, 80, 101, 144	29, 52, 67, 111, 126
4	28,43,68, 88,121	31,54,78, 98,131	33, 61, 78, 108, 141	8, 45, 67, 85, 123	5, 54, 78, 95, 133	16, 38, 67, 105, 143	4, 47, 78, 115, 125	3, 58, 67, 92, 135	2, 40, 79, 102, 117	1, 51, 68, 112, 127
5	24,44,69, 89,122	14,53,79, 99,132	9, 62, 77, 109, 142	32, 44, 68, 86, 124	15, 55, 77, 96, 134	6, 37, 68, 106, 144,	24, 48, 77, 116, 126	11, 57, 68, 93, 136	17, 41, 78, 103, 118	23, 50, 69, 113, 128
6	20,45,70, 90,123	10,52,80, 100,133	31, 63, 76, 110, 143	14, 43, 69, 87, 125	32, 56, 76, 97, 135	20, 63, 69, 107, 117	7, 49, 76, 84, 127	23, 56, 69, 94, 137	5, 42, 77 104, 119	18, 49, 70, 114, 129
7	14,46,71, 91,124	30,51,81, 101,134	13, 37, 75, 111, 144	10, 42, 70, 88, 126	26, 57, 75, 98, 136	31, 62, 70, 108, 118	19, 50, 75, 85, 128	8, 55, 70, 95, 138	22, 43, 76, 105, 120	6, 48, 71, 115, 130
8	29,47,72, 92,125	12,50,82, 102,135	3, 38,74, 112, 117	27, 41, 71, 89, 127	16, 58, 74, 99, 137	22, 61, 71, 109, 119	30, 51, 74, 86, 129	18, 54, 71, 96, 139	9, 44, 75, 106, 121	21, 47, 72, 116, 131
9	11,48,73, 93,126	2,49,83, 103,136	28, 39,73, 113, 118	9, 40, 72, 90, 128	21, 59, 73, 100, 138	4, 60, 72, 110, 120	36, 52, 73, 87, 130	29, 53, 72, 97, 140	17, 45, 74, 107, 122	10, 46, 73, 84, 132

Вопросы и задачи к контрольной работе

1. Для чего предназначены резисторы? Приведите классификацию резисторов и их условные обозначения.
2. Поясните основные параметры резисторов и их маркировку.
3. Для чего предназначены конденсаторы? Приведите классификацию конденсаторов и их условные обозначения.
4. Поясните основные параметры конденсаторов и их маркировку.
5. Для чего предназначены катушки индуктивности? Приведите их классификацию, условные обозначения.
6. Поясните основные параметры катушек индуктивности.
7. Назовите полупроводниковые материалы. Объясните явления собственной и примесной проводимости.
8. Как получить примесные полупроводники? Какую электропроводность они будут иметь?
9. Объясните механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
10. Объясните процессы, происходящие в ЭДП при отсутствии внешнего смещения.
11. Объясните процессы, происходящие в ЭДП при прямом смещении.
12. Объясните процессы, происходящие в ЭДП при обратном смещении.
13. Поясните вольт-амперную характеристику (ВАХ) ЭДП.
14. Назовите виды полупроводниковых приборов и охарактеризуйте их.
15. Приведите классификацию, принцип работы, условные графические обозначения полупроводниковых резисторов.
16. Что такое полупроводниковый диод? Какие разновидности диодов вы знаете?
17. Объясните устройство и назначение диодов, их ВАХ и основные параметры.
18. Перечислите и опишите виды пробоев.
19. Что такое стабилитрон? Начертите ВАХ стабилитрона и объясните принцип его работы.
20. Что такое варикап, туннельные и обращенные диоды, диоды Шоттки?
21. Что такое биполярный транзистор? Приведите классификацию и объясните назначение.
22. Объясните принцип работы биполярного транзистора.
23. Объясните режимы работы биполярных транзисторов.
24. Начертите основные схемы включения биполярных транзисторов и поясните какие токи и напряжения являются входными, а какие выходными.
25. Начертите статические характеристики биполярных транзисторов. Дайте определения.
26. Как определяют h -параметры транзисторов?
27. Что такое полевой транзистор? Приведите классификацию полевых транзисторов и их условные графические обозначения.
28. Опишите принцип работы полевого транзистора с управляющим р-переходом.
29. Начертите статические характеристики полевого транзистора с управляющим р-n переходом и дайте их определения.

30. Опишите принцип работы полевых транзисторов с индуцированным и встроенным каналом.
31. Опишите назначение, устройство, принцип действия тиристорov. Начертите их условные графические обозначения.
32. Опишите основные параметры и характеристики тиристорov.
33. Опишите устройство, назначение, принцип действия, ВАХ фоторезисторov.
34. Опишите устройство, назначение, принцип действия, ВАХ фотодиодов.
35. Опишите устройство, назначение, принцип действия светодиодов.
36. Чем отличаются аналоговые и цифровые интегральные микросхемы (ИМС)? Что такое степень интеграции ИМС? Как маркируют ИМС?
37. Опишите способы создания полупроводниковых, пленочных и гибридных ИМС.
38. Опишите конструкцию, принцип действия, достоинства и недостатки газоразрядных и вакуумно-люминесцентных индикаторов.
39. Опишите конструкцию, принцип действия, достоинства и недостатки полупроводниковых и жидкокристаллических индикаторов.
40. Опишите принцип действия электронных усилителей. Начертите обобщенную функциональную схему усилительного каскада.
41. Приведите классификацию, основные параметры и характеристики усилителей.
42. Назовите виды обратных связей. Как влияют обратные связи на параметры усилителя?
43. Объясните режимы работы усилительного каскада в зависимости от положения рабочей точки.
44. Начертите схему усилителя на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. Объясните принцип его работы.
45. Начертите схему усилителя с фиксированным током базы. Объясните принцип его работы.
46. Начертите схему усилителя с фиксированным напряжением базы. Объясните принцип его работы.
47. Начертите схему усилителя с эмиттерной термостабилизацией. Объясните принцип его работы.
48. Начертите схему однокаскадного усилителя синусоидальных сигналов. Объясните принцип его работы.
49. Начертите схему усилительного каскада с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Объясните принцип его работы.
50. Начертите схему усилительного каскада на полевом транзисторе. Объясните принцип его работы.
51. Начертите схемы выходных каскадов усилителя (усилители мощности). Объясните принцип их работы.
52. Начертите схему импульсного усилителя. Объясните принцип его работы.
53. Начертите схему многокаскадного усилителя. Объясните принцип его работы.
54. Начертите схему усилителя с гальваническими связями (УГС).

- Объясните принцип его работы и явление дрейфа нуля в УГС.
55. Начертите схемы балансного и дифференциального усилителя. Объясните принцип их работы.
 56. Что такое операционный усилитель (ОУ)? Опишите назначение, устройство, начертите условное обозначение.
 57. Начертите схемы инвертирующих, неинвертирующих ОУ, сумматоров, интегрирующих и дифференцирующих усилителей. Объясните их назначение и принцип работы.
 58. Дайте определение электронного генератора гармонических колебаний. Начертите схемы LC- и RC- генераторов и объясните принцип их работы.
 59. Нарисуйте виды импульсов. Назовите их параметры.
 60. Как происходит формирование импульсов дифференцирующими и интегрирующими RC-цепями?
 61. Для чего служат амплитудные ограничители? Назовите их разновидности и по схемам объясните принцип действия.
 62. Начертите схему электронного ключа на биполярном транзисторе. Объясните принцип его работы.
 63. Опишите переходные процессы в ключах и способы увеличения их быстродействия.
 64. Объясните основные логические операции.
 65. Начертите базовые логические элементы. Назовите их основные параметры.
 66. Начертите схему мультивибратора на дискретных элементах. Объясните принцип его работы.
 67. Начертите схему одновибратора на дискретных элементах, объясните принцип его работы.
 68. Начертите схемы генераторов линейного изменяющегося напряжения. Объясните принцип их работы.
 69. Начертите схемы компараторов напряжения с гистерезисом и без. Объясните принцип их работы.
 70. Что такое триггер? Объясните устройство, назначение и принцип работы.
 71. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи: назначение и принцип работы.
 72. Цифровые счетчики импульсов: назначение область применения, виды.
 73. Шифраторы и дешифраторы: назначение, область применения.
 74. Вторичные источники питания: классификация, основные требования к ним.
 75. Начертите схему управляемого выпрямителя. Объясните принцип работы.
 76. Операционные усилители. Типовое применение.
 77. Объясните принцип действия логического элемента И.
 78. Объясните принцип действия логического элемента НЕ.
 79. Объясните принцип действия логического элемента ИЛИ.
 80. Начертите схемы однофазных выпрямителей. Объясните принцип их работы.

81. Начертите схемы трехфазных выпрямителей. Объясните принцип их работы.
82. Начертите схемы сглаживающих фильтров. Объясните назначение, виды и принцип их работы.
83. Начертите схему электронного стабилизатора постоянного напряжения. Объясните принцип его работы.

Задачи 84-89

Составить схему трехфазного выпрямителя на трех диодах. Пояснить порядок составления схемы. Начертить схему выпрямителя.

Номер задачи	Тип диода	Параметры диода		Данные варианта	
		И _{доп} , А	U _{обр} , В	P _d , Вт	U _d , В
84	Д303	3	150	300	100
85	Д242	5	100	800	80
86	Д205	0,4	400	300	300
87	Д222	0,4	600	400	200
88	Д218	0,1	1000	200	400
89	Д234Б	2	200	600	150

Задачи 90-94

Составить схему однофазного двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора. Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Начертить схему выпрямителя.

Номер задачи	Тип диода	Параметры диода		Данные варианта	
		И _{доп} , А	U _{обр} , В	P _d , Вт	U _d , В
90	Д207	0,1	200	20	60
91	Д214А	10	100	800	50
92	Д209	0,1	400	300	100
93	Д232	10	400	1000	200
94	КД202А	3	50	120	15

Задачи 95-99

Однофазный двухполупериодный выпрямитель с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора должен питать потребитель постоянным током. Выберите один из трех типов полупроводниковых диодов для схемы выпрямителя и поясните свой выбор. Начертить схему выпрямителя.

Номер задачи	Тип диода	Параметры диода		Данные варианта	
		И _{доп} , А	U _{обр} , В	P _d , Вт	U _d , В
95	Д244Б	2	50	150	20
	Д214	5	100		
	Д243Б	2	200		
96	Д243Б	10	200	400	80
	Д226	0,3	400		
	Д231	10	300		
97	Д242А	10	100	150	50

	Д222	0,4	600		
	Д215Б	2	200		
98	Д7Г	0,3	200	20	150
	Д217	0,1	80		
	Д242Б	2	100		
99	Д215А	10	200	800	120
	Д231	10	300		
	Д234Б	5	600		

Задачи 100-109

Составить схему однофазного мостового выпрямителя. Пояснить порядок составления схемы. Начертить схему выпрямителя.

Номер задачи	Тип диода	Параметры диода		Данные варианта	
		И _{доп} , А	U _{обр} , В	P _d , Вт	U _d , В
100	Д7Г	0,3	200	80	100
101	Д224	5	50	200	50
102	Д217	0,1	800	150	500
103	Д305	6	50	300	20
104	Д214	5	100	600	80
105	Д207	0,1	200	30	100
106	Д302	1	200	250	150
107	Д243Б	2	200	300	200
108	Д221	0,4	400	250	200
109	Д233Б	5	500	500	400

Задачи 110-116

Составить схему трехфазного выпрямителя с нейтральным выводом, выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов. Начертить схему выпрямителя. Пояснить выбор.

Номер задачи	Тип диода	Параметры диода		Данные варианта	
		И _{доп} , А	U _{обр} , В	P _d , Вт	U _d , В
110	Д224	5	50	90	30
	Д207	0,1	200		
	Д214Б	2	200		
111	Д215А	10	200	100	400
	Д234Б	5	600		
	Д218	0,1	100		
112	Д244А	10	50	60	80

	Д7Г	0,3	200		
	Д210	0,1	500		
113	Д232	10	400	900	150
	КД202Н	1	500		
	Д222	0,4	600		
114	Д304	3	100	200	40
	Д244	5	50		
	Д226	0,3	400		
115	Д305	6	50	100	40
	Д302	1	200		
	Д222	0,4	600		
116	Д243А	10	200	600	200
	Д233Б	5	500		
	Д217	0,1	800		
	Д226А	0,3	30		
	Д22А	10	50		

Задачи 117-121

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, используя входные и выходные характеристики, определить коэффициент усиления $h_{21э}$, величину сопротивлений нагрузки $R_{К1}$ и $R_{К2}$ и мощности на коллекторе $P_{К1}$ и $P_{К2}$, если известно напряжение на базе $U_{БЭ}$, напряжение на коллекторе $U_{КЭ1}$ и $U_{КЭ2}$ и напряжение источника питания E_K

Номер задачи	Номера рисунков	$U_{БЭ}$	$U_{КЭ1}$	$U_{КЭ2}$	E_K
117	9;10	0,3	20	30	40
118	11;12	0,2	10	20	40
119	13;14	0,15	20	25	40
120	15;16	0,2	10	20	40
121	17;18	0,1	25	30	40

Задачи 122-126

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, заданы:

Напряжение на базе $U_{БЭ}$;

сопротивление нагрузки R_K ;

напряжение источника питания E_K ;

Используя выходную и входную характеристики транзистора определить:

напряжение коллектора $U_{КЭ}$;

ток коллектора I_K ;

коэффициент усиления $h_{21э}$;

мощность на коллекторе P_K ;

коэффициент передачи тока $h_{21э}$.

Номер задачи	Номера рисунков	$U_{БЭ}, В$	$R_{к}, кОм$	$E_{к}, В$
122	19;20	0,2	20	20
123	21;22	0,4	0,1	20
124	23;24	0,4	5	40
125	25;26	0,3	0,8	40
126	27;28	0,25	1	20

Задачи 127-132

В цепь транзистора включенного по схеме с общим эмиттером, включено сопротивление нагрузки, которое по изменяется по величине от $R_{к1}$ до $R_{к2}$. Заданы: $I_{Б}$ и напряжение источника питания $E_{к}$. Используя выходные характеристики определитель:

Напряжение $U_{к1}$ и $U_{к2}$;

коэффициент усиления $h_{21э}$;

мощность на коллекторе $P_{к1}$ и $P_{к2}$;

Номер задачи	Номера рисунков	$I_{Б}, А$	$R_{к1}, кОм$	$R_{к2}, кОм$	$E_{к}, В$
127	10	4	0,05	0,1	40
128	12	1	0,1	0,2	40
129	14	6	0,05	0,1	40
130	16	10	0,05	0,1	40
131	18	0,6	0,4	1,0	40
132	20	20	10	20	20

Задачи 133-138

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером при заданных: напряжение на базе $U_{БЭ}$;

сопротивлениях нагрузки $R_{к1}$ и $R_{к2}$;

напряжения источника питания $E_{к}$;

используя входную и выходную характеристики, определить:

коэффициент усиления $h_{21э}$;

напряжение на коллекторе $U_{к1}$ и $U_{к2}$;

мощность на коллекторе $R_{к1}$ и $R_{к2}$.

Номер задачи	Номера рисунков	$U_{БЭ}, В$	$R_{к1}, кОм$	$R_{к2}, кОм$	$E_{к}, В$
133	9;10	0,4	0,05	0,1	40
134	11;12	0,1	0,1	0,2	40
135	13;14	0,15	0,1	0,2	40
136	15;16	0,1	0,025	0,05	40
137	17;18	0,15	0,5	1	40
138	19;20	0,25	10	20	20

Задачи 139-144

Для транзисторов, включенного по схеме с общим эмиттером заданы:

напряжение на базе $U_{БЭ}$;

напряжение на коллекторе $U_{КЭ}$;

напряжение источника питания E_k .

Используя входную и выходную характеристики, определить:

ток коллектора I_k ;

коэффициент усиления $h_{21э}$;

сопротивление нагрузки R_k ;

мощность на коллекторе P_k .

Номер задачи	Номера рисунков	$U_{БЭ}$	$U_{КЭ}$	E_k
139	9;10	0,4	20	40
140	11;12	0,2	15	40
141	13;14	0,2	20	40
142	15;16	0,25	10	40
143	17;18	0,2	15	40
144	19;20	0,25	10	20

Пример решения задач

Указания к решению задачи № 1

Общие положения

Выпрямительными называют устройства, предназначены для преобразования переменного тока в постоянный (выпрямление переменного тока), которые служат для питания электронных схем автоматики, регулируемого электропривода и автоматических систем управления технологическими процессами.

Классификация выпрямителей

Выпрямители подразделяют на:

Неуправляемые- выпрямленное на них напряжение неизменно по значению.

Они применяются для питания большинства электронных устройств, выполненных как на дискретных, так и на ИМС;

Управляемые- выпрямленное на них напряжение изменяется по значению (регулируется);

Однофазные : однополупериодный и двухполупериодный-мостовой и с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора;

Многофазные (обычно трехфазные). Различают два типа трехфазных выпрямителей : с нейтральным выводом и мостовой.

По мощности их подразделяют на выпрямители малой (как правило, однофазные), средней и большой (трехфазные).

Схемы выпрямления

а) Однополупериодная

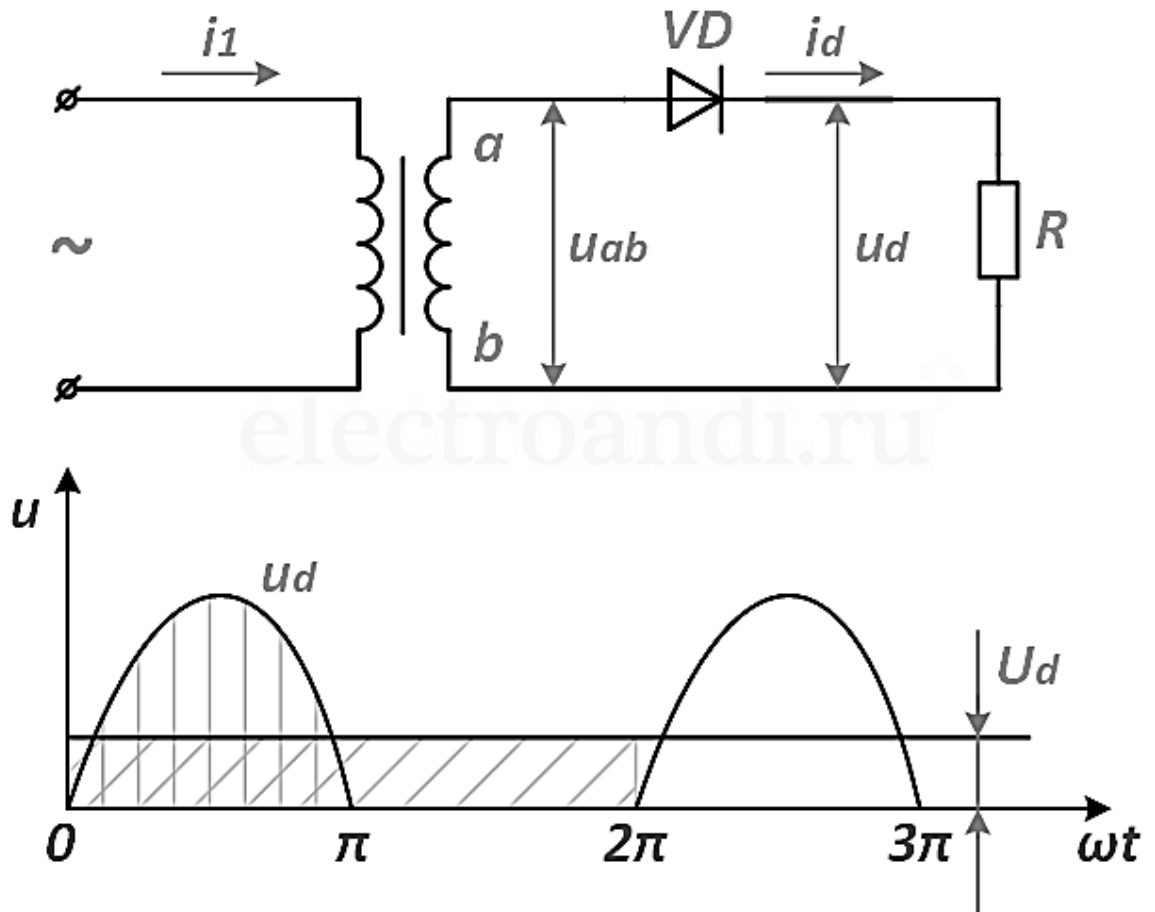


Рисунок 1. Схема однополупериодного выпрямителя и напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора

В этой схеме диод VD включен последовательно с вторичной обмоткой трансформатора и сопротивлением нагрузки R . Работу данного выпрямителя (рисунок 1).

Недостатки однополупериодного выпрямителя:

1. Высокий уровень пульсации переменного тока ($q=1,57$)
 2. Подмагничивание сердечника трансформатора постоянным током.
- Эти недостатки отсутствуют в схемах двухполупериодных выпрямителей.

б) Двухполупериодная с выводом средней точки обмотки трансформатора

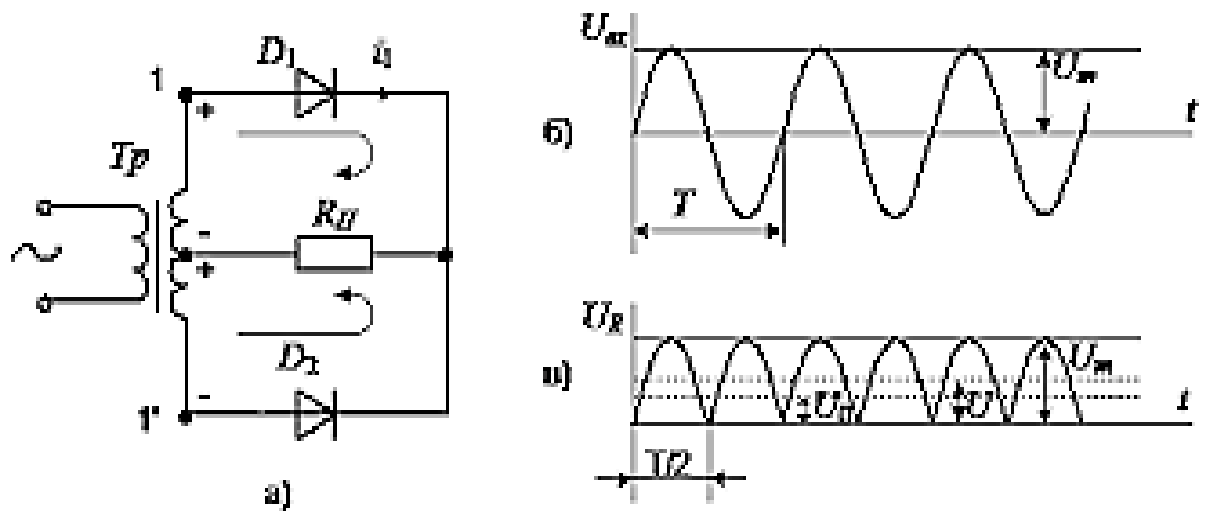


Рисунок 2. Двухполупериодная схема с выводом средней точки обмотки трансформатора и напряжения в данной схеме.

Данная схема представляет собой сочетание двух однополупериодных выпрямителей, включенных на нагрузочное сопротивление R_n (рисунок 2). Напряжение U_1 и U_2 должны быть равны по амплитуде и находятся в противофазе.

Однофазная двухполупериодная схема (рисунок 2) применяется в мощных выпрямителях для выпрямления низких напряжений, когда по обратному напряжению допускаются установка одного диода.

в) Однофазная мостовая схема выпрямления

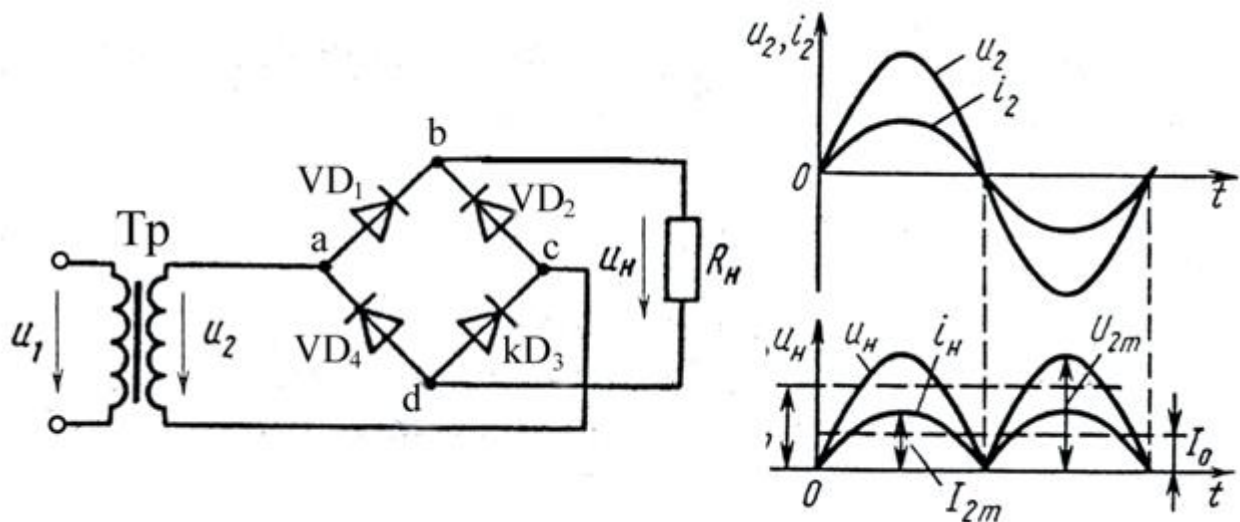


Рисунок 3. Однофазная мостовая схема выпрямления и напряжения в схеме.

Наиболее распространенной является мостовая схема выпрямления (рисунок 3). В этой схеме к одной диагонали моста подведено переменное напряжение, а к другой подключена нагрузка. В этой схеме используется только одна вторичная обмотка трансформатора, напряжение которой в два раза меньше суммарного

напряжения двух обмоток, соединенных последовательно (как показано на рис.2), следовательно, обратное напряжение на каждой группе диодов (VD_1 - VD_3 и VD_2 - VD_4), в два раза ниже, чем в схеме на рисунке 2.

Недостатком мостовых схем выпрямления является то, что использование большего количества диодов удваивает потери при прохождении прямого тока. Наиболее целесообразно применение этой схемы при больших токах и малых напряжениях на диодах.

г) Трехфазный выпрямитель с нейтральным выводом

Состоит из трехфазного трансформатора, вторичная обмотка которого соединена звездой трех диодов, включенных в каждую из фаз звезды (VD_1 ; VD_2 ; VD_3) и нагрузочного резистора R_H (рисунок 4)

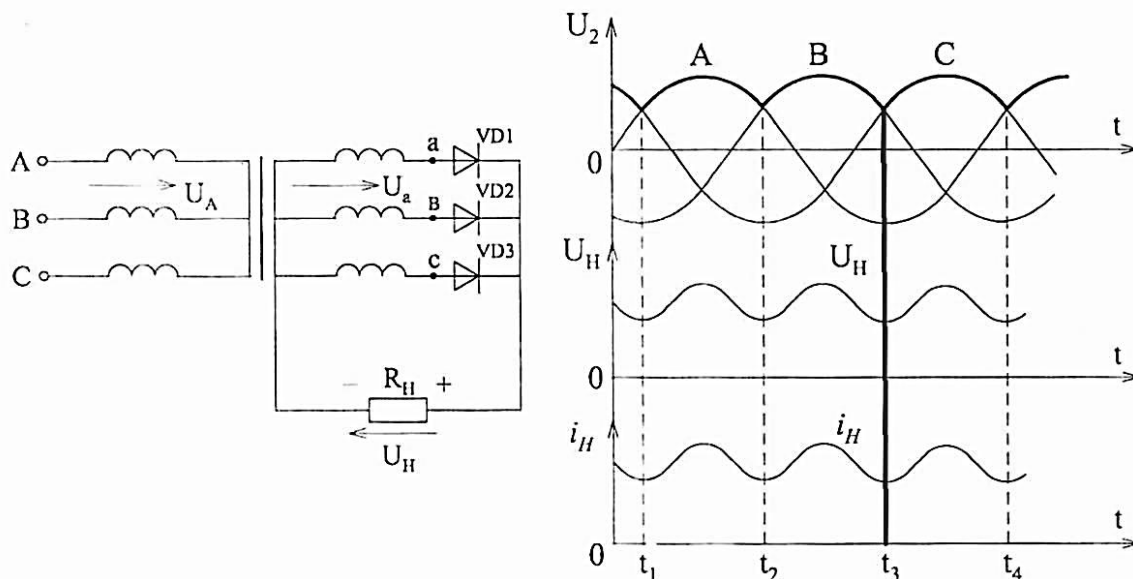


Рисунок 4.Трехфазный выпрямитель с нейтральным выводом и напряжения в схеме.

Три диода выпрямителя работают поочередно, каждый в течении $1/3$ периода, когда потенциал анода работающего диода более положителен по отношению к потенциалам анодов двух других диодов. Выпрямленный ток через резистор R_H , создаваемый токами каждого диода, имеет одно и то же направление и поэтому равен сумме токов всех фаз:

$$i_d = i_a + i_b + i_c$$

Недостатками этой схемы являются следующие:

1. Не полностью используется мощность трансформатора (работает практически в однофазном режиме);
2. Обратное напряжение на диоде ($U_{обр}$) в 2 раза превышает напряжение на нагрузке (U_H);
3. Подмагничивание сердечника трансформатора постоянным током (снижается КПД выпрямителя).

д) Трехфазная мостовая схема (схема А.Н. Ларионова)

В этой схеме (рисунок 5) две группы диодов:

катодная – объединены катоды (VD1; VD3; VD5), и анодная – объединены аноды (VD2; VD4; VD6)

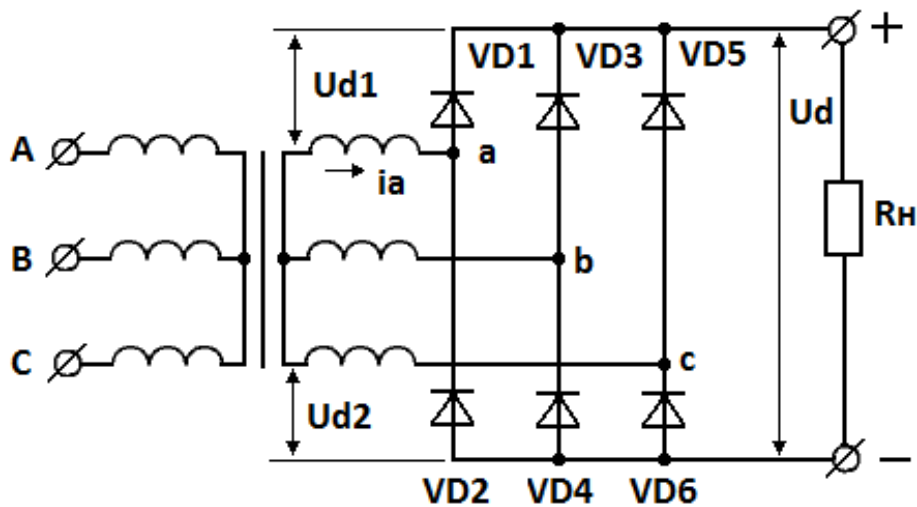


Рисунок 5. Трехфазная мостовая схема (схема А.Н. Ларионова)

Все диоды схемы работают попарно-поочередно: ток проходит через ту пару диодов, разность потенциалов между которыми в данный момент времени. Смена пар диодов происходит через каждые $2\pi/6$, т.е. через - каждые 60° . В рассматриваемой схеме выпрямленные ток и напряжение в два раза больше, чем в трехфазном выпрямителе с нейтральным выводом, а пульсации напряжения значительно меньше, поэтому выпрямитель во многих случаях может работать без сглаживающего фильтра.

Порядок расчета схем выпрямления

При составлении схемы выпрямления задаются значением мощности потребителя P_d , Вт, получающего питание от данного выпрямителя, и выпрямленным напряжением U_d , В, при котором работает потребитель постоянного тока.

Отсюда $I_d = P_d / U_d$, ток потребителя А.

Напряжение, действующее на диод и непроводящий период U_v , зависит от схемы выпрямления.

Сравнивая ток потребителя I_d с допустимым током диода $I_{доп}$ и напряжение, действующее на диод в непроводящий период U_v , с амплитудным значением обратного значения $U_{обр}$ диода выбирают соответствующие диоды, при этом должны соблюдаться следующие требования:

$$I_{доп} \geq I_d$$

$$U_{обр} \geq U_v$$

Таблица 1 – Параметры типовых выпрямительных схем.

Параметр	Выпрямительная схема				
	однофазная			трехфазная	
	Однополу- периодная	Двухполу- периодная	Мостовая	Нулевая	Мостовая
Фазное напряжение	$2,22U_d$	$1,11U_d$	$1,11U_d$	$0,85U_d$	$0,43U_d$
Обратное напряжение	$3,14U_d$	$3,14U_d$	$1,57U_d$	$2,1U_d$	$1,05U_d$
Выпрямленное напряжение	$0,45U_{\phi}$	$0,9U_{\phi}$	$0,9U_{\phi}$	$1,17U_{\phi}$	$2,34U_{\phi}$
Коэффициент пульсации	1,57	0,67	0,67	0,25	0,06
Среднее значение тока через диод	I_a	$0,5I_a$	$0,5I_a$	$0,33I_a$	$0,33I_a$
Средняя мощность трансформатора	---	$1,34P_d$	$1,11P_d$	$1,35P_d$	$1,05P_d$

Примеры расчета схем выпрямления

Пример 1. К однополупериодному выпрямителю подключен потребитель $P_d=100\text{Вт}$ при напряжении питания $U_d = 40\text{В}$. Выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов (таблица 2) и пояснить, на основании чего сделан выбор. Определить необходимое напряжение вторичной обмотки трансформатора.

Таблица 2 – Параметры диодов

Тип диода	параметр	
	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$U_{\text{обр}}, \text{В}$
Д221	0,4	400
Д242	5	100
Д303	3	200

Решение

1. Определяем ток потребителя

$$I_d = P_d / U_d = 100/40 = 2,5 \text{ А}$$

2. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период. Для однополупериодного выпрямителя (таблица 1).

$$U_B = 3,14U_d, \text{ т.е.}$$

$$U_B = 3,14 \cdot 40 = 126 \text{ В}$$

3. Выбираем диод из условия

$$I_{\text{доп}} \geq I_d \geq 2,5 \text{ А}$$

$$U_{\text{обр}} \geq U_B \geq 126 \text{ В}$$

Этим условиям удовлетворяет диод Д303 (таблица 2), для которого

$$I_{\text{доп}} = 3 \text{ А} > 2,5 \text{ А}$$

$$U_{\text{обр}} = 200 \text{ В} > 126 \text{ В}$$

Диод Д 221 удовлетворяет предъявленным требованиям по напряжению, т.к. $400 \text{ В} > 126 \text{ В}$, но не удовлетворяет им по току $0,4 \text{ А} < 2,5 \text{ А}$

Диод Д242, наоборот, удовлетворяет требования по току: $5 \text{ А} > 2,5 \text{ А}$ и не удовлетворяет им по напряжению: $100 \text{ В} < 126 \text{ В}$

4. Определяем необходимое напряжение вторичной обмотки трансформатора:

$$U_2 = U_d / 0,45 = 40 / 0,45 = 90 \text{ В}$$

При выпрямлении тока, значение которого превышает максимально допустимое $I_{\text{доп}}$ для одного диода, прибегают к параллельному включению однотипных диодов. При этом токи диодов определяются их сопротивлениями в прямом направлении. Для выравнивания этих токов последовательно с диодами включают добавочные резисторы R_d с одинаковыми сопротивлениями, превышающими в $\sim 5-10$ раз сопротивление диода в прямом направлении. При выпрямлении напряжения превышающего максимально допустимое значение $U_{\text{обр}}$ для одного диода, рекомендуется последовательное включение однотипных диодов. С учетом того, что обратное сопротивление даже у однотипных диодов имеют некоторый разброс в значениях, для выравнивания обратных напряжений на диодах параллельно им включают шунтирующие резисторы $R_{\text{ш}}$. Обычно $R_{\text{ш}} = (0,1 + 0,2) R_{\text{обр}}$

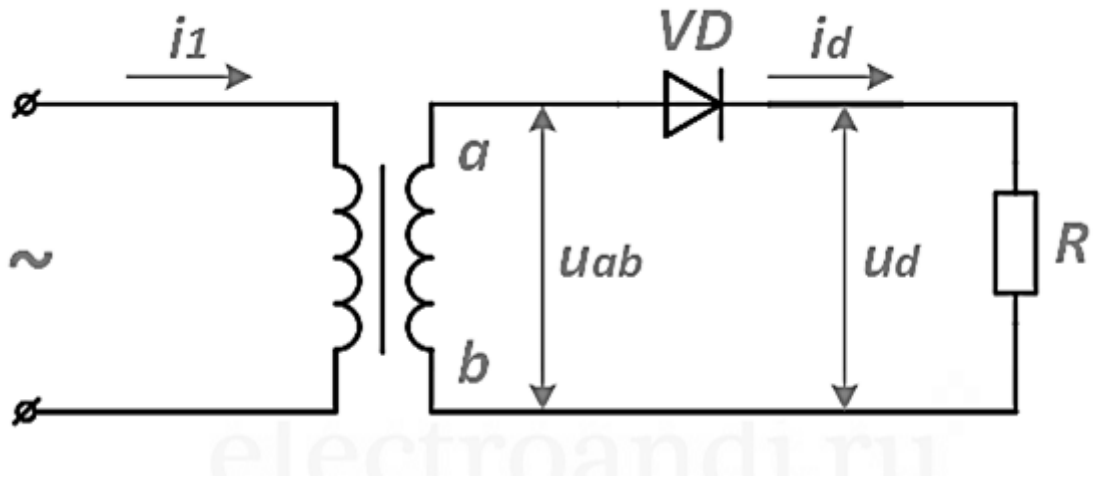


Рисунок 6

Пример 2. Для питания постоянным током потребителя мощностью $P_d = 250$ Вт при напряжении $U_d = 100$ В необходимо собрать схему двухполупериодного однофазного выпрямителя с выводом средней точки трансформатора, используя стандартные диоды Д234Б с параметрами $I_{доп} = 2$ А; $U_{обр} = 200$ В.

Решение

1. Определяем ток потребителя

$$I_d = P_d / U_d = 250 / 100 = 2,5 \text{ А}$$

2. Определяется напряжение, действующее на диод в непроводящий период. Для двухполупериодного выпрямителя (таблица 1):

$$U_v = 3,14 U_d, \text{ т.е.}$$

$$U_v = 3,14 \cdot 100 = 314 \text{ В}$$

3. Проверяем диод по параметрам $I_{доп}$ и $U_{обр}$. Для рассматриваемой схемы диод должен удовлетворять условиям:

$$U_{обр} \geq U_v$$

$$I_{доп} \geq I_d$$

Первое условие не соблюдается, т.к. $200 \text{ В} < 314 \text{ В}$, т.е. $U_{обр} < U_v$, второе условие выполняется, т.к. $0,5 I_d = 0,5 \cdot 2,5 \text{ А} = 1,25 \text{ А}$ и $1,25 \text{ А} < 2 \text{ А}$.

4. Составим схему выпрямителя. Чтобы выполнить условие $U_{обр} > U_v$, необходимо два диода соединить последовательно. Тогда $U_{обр} = 200 \cdot 2 = 400 \text{ В} > 314 \text{ В}$ (рисунок 7).

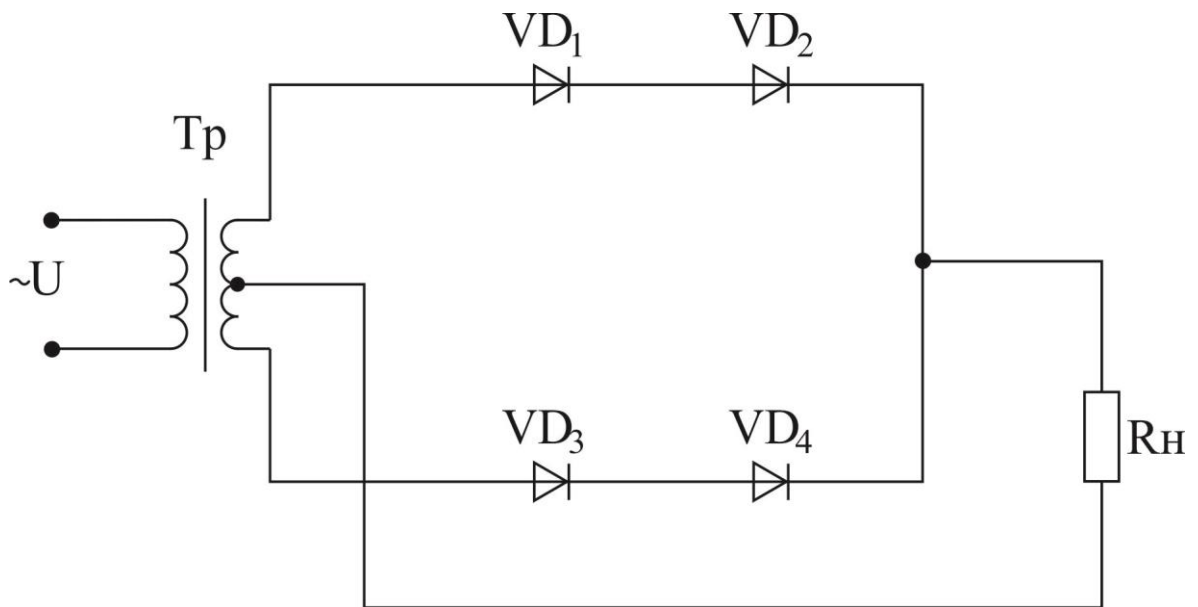


Рисунок 7

Пример 3. Составить схему трехфазного выпрямителя с нейтральным выводом, используя стандартные диоды Д215 с параметрами $I_{доп} = 5\text{ А}$; $U_{обр} = 200\text{ В}$. Мощность потребителя $P_d = 1200\text{ Вт}$; при напряжении питания $U_d = 60\text{ В}$.

Решение

1. Определяем ток потребителя

$$I_d = P_d / U_d = 1200 / 60 = 20\text{ А}$$

2. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период. Для двухполупериодного выпрямителя с нейтральным выводом $U_v = 2,1 U_d$

Следовательно, $U_v = 2,1 \cdot 60 = 126\text{ В}$.

3. Проверяем диод по параметрам $I_{доп}$ и $U_{обр}$. Для рассматриваемой схемы диод должен удовлетворять условиям:

$$U_{обр} \geq U_v$$

$$I_{доп} \geq 0,33 I_d$$

В данном случае первое уравнение соблюдается, т.к. $200\text{ В} > 126\text{ В}$, второе условие не соблюдается, т.к. $0,33 I_d = 0,33 \cdot 20\text{ А} = 6,7\text{ А} > 5\text{ А}$, т.к. $I_{доп} < 0,33 I_d$.

4. Составим схему выпрямителя. Чтобы выполнить условие $I_{доп} > 0,33 I_d$, необходимо два диода соединить параллельно. Тогда $2 \cdot 5\text{ А} = 10\text{ А} > 6,7\text{ А}$ (рисунок 8)

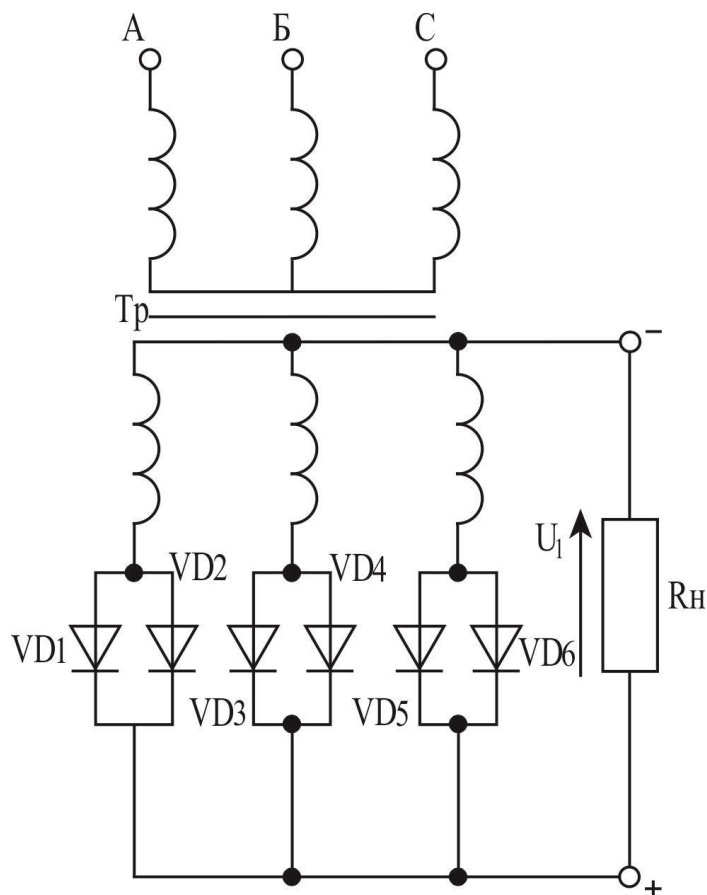


Рисунок 8

Указания к решению задач № 2

Общие положения

Эта задача сводится к расчету параметров и характеристик полупроводниковых транзисторов.

При включении транзистора по схеме с общим эмиттером управляющим является ток базы I_b , а при включении общей базой – ток эмиттера I_e .

В схеме включения транзистора с общей базой, связь между приращениями тока эмиттера ΔI_e и тока коллектора ΔI_k характеризуется коэффициентом передачи тока h_{21B} :

$$h_{21B} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} \text{ при } U_{KB} = \text{const},$$

где U_{KB} – напряжение между коллектором и базой.

Коэффициент передачи всегда меньше единицы. Для современных биполярных транзисторов $h_{21B} = 0,9 - 0,995$.

При включении транзистора по схеме с общей базой тока коллектора

$$I_k = h_{21B} \cdot I_e$$

Коэффициент усиления по току $h_{21Э}$ в схеме включения транзистора общим эмиттером определяется как отношение приращения тока коллектора ΔI_K приращению тока ΔI_B . Для современных транзисторов $h_{21Э}$ имеет значение 20-200.

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}$$

где $U_{КЭ}$ – напряжение между коллектором и эмиттером. Ток коллектора при включении с общим эмиттером $I_K = h_{21Э} \cdot I_B$

Между коэффициентами $h_{21Б}$ и $h_{21Э}$ существует связь

$$h_{21Б} = \frac{h_{21Э}}{1+h_{21Э}} \text{ или } h_{21Э} = \frac{h_{21Б}}{1-h_{21Б}}$$

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора,

$$P_K = U_{КЭ} \cdot I_K$$

Для коллекторной цепи усилительного каскада по второму закону

Кирхгофа можно написать уравнение:

$$E_K = U_{КЭ} + I_K \cdot R_K, \text{ где } E_K \text{ – ЭДС источника питания.}$$

Расчет такой нелинейной цепи, т.е. определение I_K и $U_{КЭ}$ для различных значений токов базы I_B и сопротивления резистора R_K , можно произвести графически, для чего на семействе выходных характеристик необходимо провести из точки E_K на оси абсцисс вольт – амперную характеристику ВАХ резистора R_K , удовлетворяющую уравнению:

$$U_{КЭ} = E_K - I_K R_K$$

Эту характеристику строят двумя точкам:

$$U_{КЭ} = E_K \text{ при } I_K = 0 \text{ (на оси абсцисс) и } I_K = \frac{E_K}{R_K} \text{ при } U_{КЭ} = 0 \text{ (на оси ординат).}$$

Построенную таким образом ВАХ коллекторного резистора R_K называют линией нагрузки. Точки её пересечения с выходными характеристиками транзистора дают графическое решение уравнения для данного резистора R_K и различных значений тока базы I_B .

Внимание! Токи на выходных характеристиках имеют различную размерность.

Примеры расчета параметров транзистора

Пример 1. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент усиления $h_{21Э}$, по его входной характеристике (рисунок 25 приложение А) и выходным характеристикам (рисунок 26 приложение А), если $U_{БЭ} = 0,4В$; $U_{КЭ} = 25В$. Подсчитать коэффициент передачи тока $h_{21Б}$ и мощность рассеиваемую на коллекторе транзистора P_K .

Решение.

1. Определяем по выходной характеристике ток базы $I_B = 500$ мкА при заданном $U_{БЭ} = 0,4 В$.

2. Находим по выходным характеристикам $I_K = 36$ мА при $U_{КЭ} = 25 В$ и $I_B = 500$ мкА.

3. На выходных характеристиках (рисунок 26) строим отрезок АВ, из которого находим: $\Delta I_K = AB = I_{K1} - I_{K2} = 36 - 28 = 8$ мА;

$$\Delta I_B = AB = I_{B1} - I_{B2} = 500 - 100 \text{ мкА} = 0,1 \text{ мА}.$$

4. Определяем коэффициент усиления $h_{21Б} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{8}{0,1} = 80$.

5. Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора

$$P_K = U_{КЭ} \cdot I_K = 25 \cdot 36 = 900 \text{ мВт} = 0,9 \text{ Вт}.$$

Пример 2. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить ток базы I_B , ток коллектора I_K и напряжение на коллекторе $U_{КЭ}$, если напряжение $U_{БЭ} = 0,3 В$; напряжение питания $E_K = 20 В$; сопротивление нагрузки в цепи коллектора $R_K = 0,8 \text{ к Ом}$. Входная и выходные характеристики транзистора приведены на рисунках 27; 28 приложение А.

Решение.

1. Откладываем на оси абсцисс точку $U_{КЭ} = E_K = 20 В$, а на оси ординат – точку, соответствующую $I_K = \frac{E_K}{R_K} = \frac{20}{800} = 0,025 \text{ А} = 25 \text{ мА}$.

2. Соединяем эти точки прямой и получаем линию нагрузки.

3. Находим на выходной характеристике для $U_{БЭ} = 0,3 В$ ток базы $I_B = 250$ мкА.

4. Находим для точки А ток коллектора ($I_K = 17 \text{ мА}$) и напряжение $U_{КЭ} = 7 В$.

Пример 3. Мощность на коллекторе транзистора $P_K = 6$ Вт, напряжение $U_{КЭ} = 30 В$, ЭДС источника питания $E_K = 40 В$. Используя выходные характеристики (рисунок 10 приложение А), определить ток базы I_B ; ток коллектора I_K ; коэффициент усиления $h_{21Э}$ и сопротивление нагрузки R_K .

Решение.

1. Определяем ток коллектора $I_K = P_K / U_{КЭ} = 6 / 30 = 0,2 \text{ А}$

2. Находим на входных характеристиках точку А, соответствующую $I_K = 0,2 \text{ А}$ и $U_{КЭ} = 30 В$. Из рисунка видно, что точка А лежит на характеристике для $I_B = 2 \text{ мА}$.

3. Соединяем прямую точку А и точку на оси абсцисс, соответствующую = 40 В. На пересечении прямой с осью ординат получаем точку $I_{K1} = 0,8$ А.

4. Определяем $R_k = E_k / I_{K1} = 40 / 0,8 = 50$ Ом.

5. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим $\Delta I_K = AB = I_{K1} - I_{K2} = 0,4 - 0,2 = 0,2$ А = 200 мА,

$\Delta I_B = AB = I_{B1} - I_{B2} = 4 - 2 = 2$ мА.

6. Определяем коэффициент усиления транзистора

$h_{21Э} = \Delta I_K / \Delta I_B = 200 / 2 = 100$

Список использованных источников

Основная

1. Криштафович А. К., Трифонюк В. В., Основы промышленной электроники- М., Высш. школа.,1985 г.
2. Галкин В. И., Пелевин Е. В., Промышленная электроника и микроэлектроника – Мн., Беларусь 2000.
3. Игумнов Д. В., Королёв Г. В., Громов И. С. Основы микроэлектроники. – М: Высш. школа., 1991.
4. Жеребцов И. П. Основы электроники. – М., Энергоатом, 1990г.
5. Усе Л. В., Красько А. С., Климович Г. С. Общая электроника с основами электроники. – Мн., Высш. школа.,1990 г.
6. Галкин В. И. Промышленная электроника – Мн., : Высш. школа., 1989 г.
7. Гуревич Б. М., Иваненко Н. С. Справочник по электронике для молодого рабочего. М., : Высш. школа., 1987 г.
8. Горбунов Ю. И. Козырь И. Я. Полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы. М., : Высш. школа., 1989 г.
9. Опадчий Ю. Ф., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника. – М: Горячая линия – Телеком, 2000 г.
10. Ляшко М. Н., Маркевич К. М. Основы радиоэлектроники. Мн.: Народнаясвета, 1986 г.
11. Зайцев Ю. В. Полупроводниковые резисторы, М.: Знание 1971 г.
12. Вениаминов В. Н., Лебедев О. Н., Мирошниченко А.И. Микросхемы и их изменения. М.: Радио и связь, 1989 г.
13. Основы промышленной электроники. Под ред. В. Г. Герасимова. М.: : Высш. школа., 1986 г.

Дополнительная

14. Дунаев С. Д. Электроника, микроэлектроника и автоматика. – М.: Маршрут, 2003 г.
15. Акимова Г. Н. Электронная техника. – М.: Маршрут, 2003 г.

Нормативная

- ГОСТ 2.730-73. ЕСКД: Полупроводниковые приборы.
ГОСТ 2.743-82. ЕСКД: Элементы цифровой техники.
ГОСТ 17021-88. Микросхемы интегральные и определения.
ГОСТ 18421- 93. Усилители операционные. Термины и определения.
ГОСТ 20003-74. Транзисторы биполярные. Термины и определения.
ГОСТ 20332-84. Тиристоры. Термины и определения.

Приложение А

Входные и выходные характеристики биполярных транзисторов

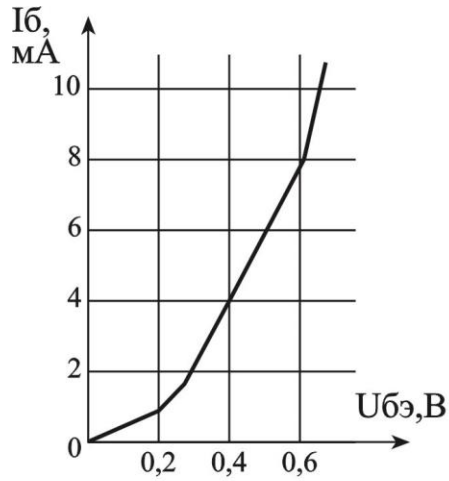


рис.9

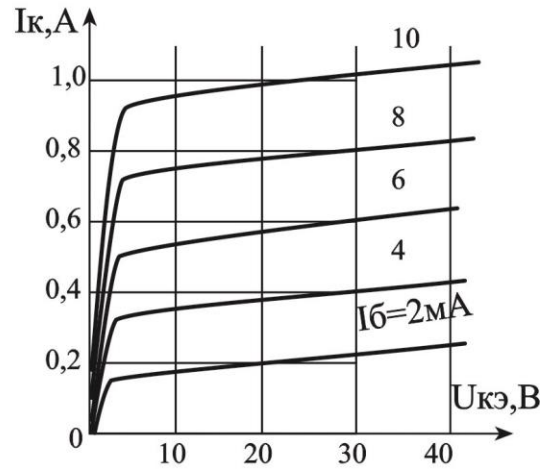


рис.10

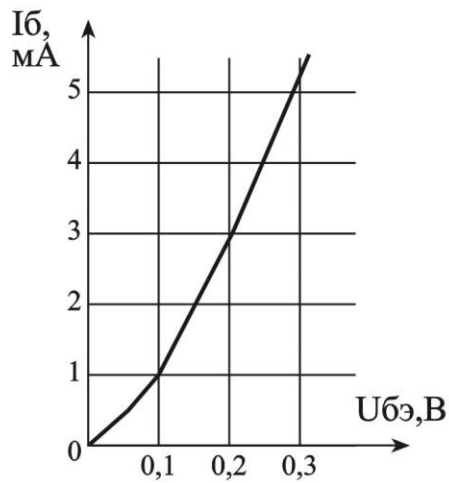


рис.11

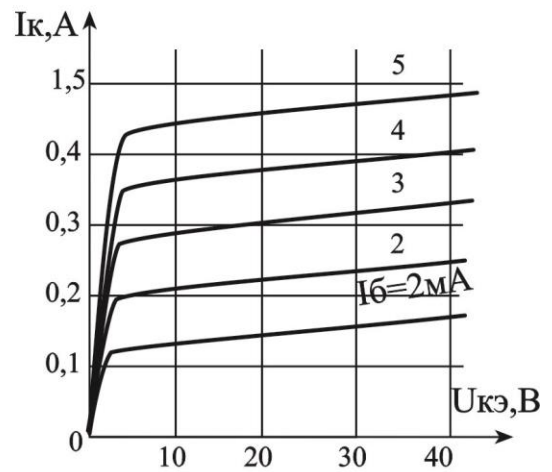


рис.12

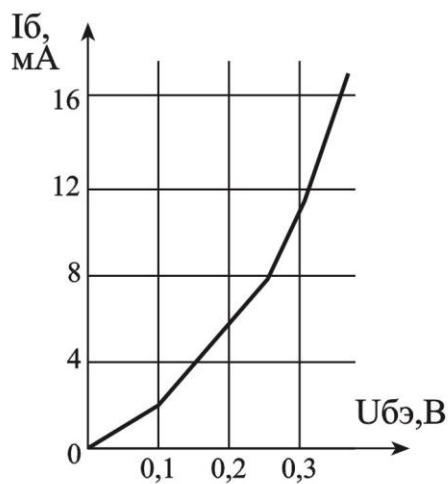


рис.13

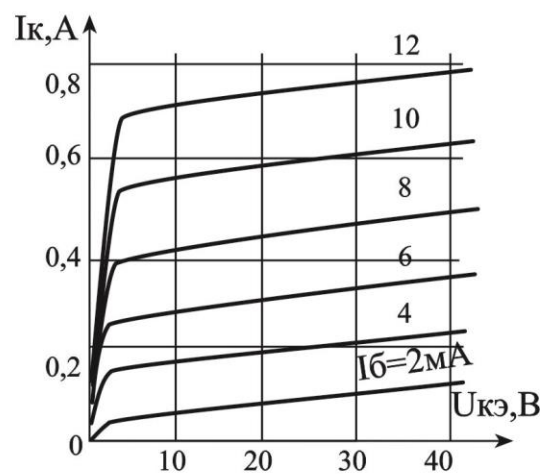


рис.14

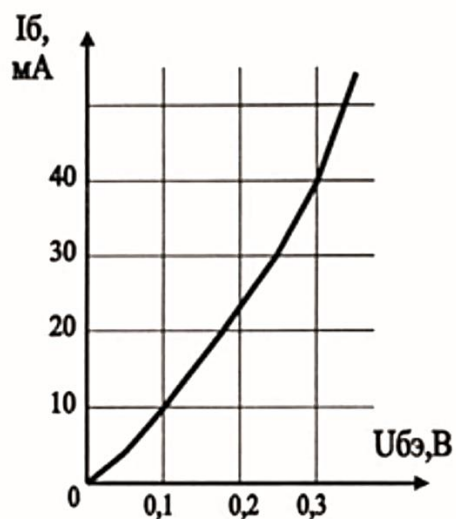


рис.15

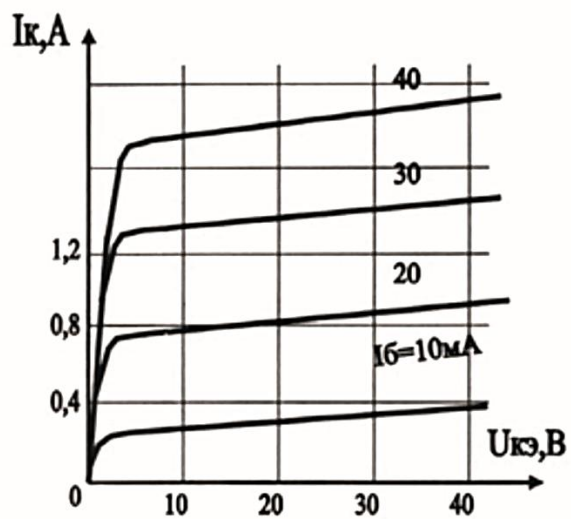


рис.16

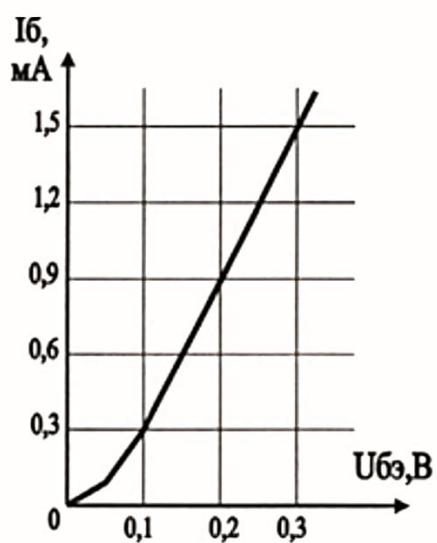


рис.17

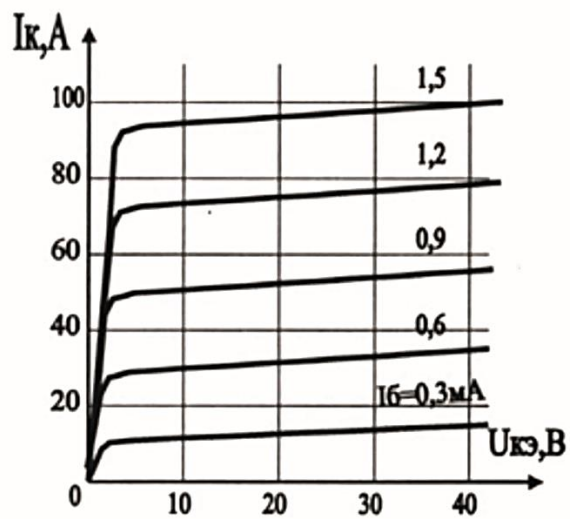


рис.18

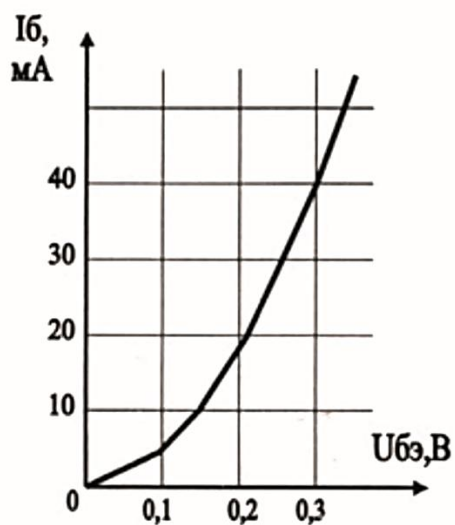


рис.19

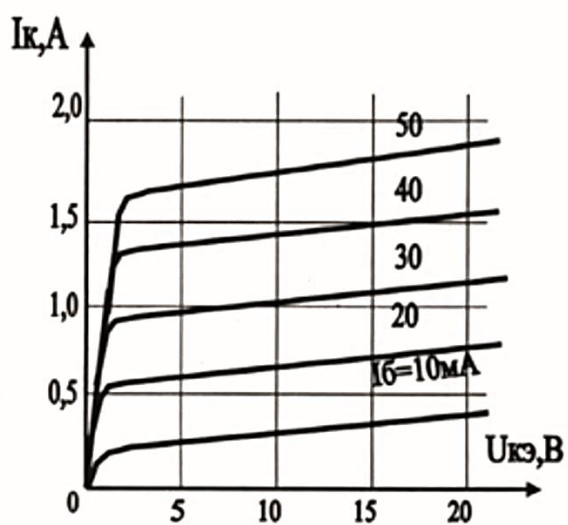


рис.20

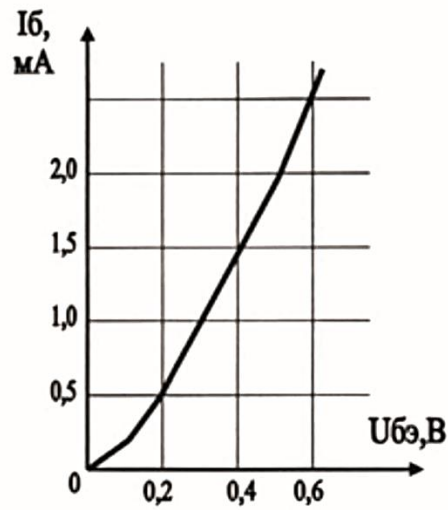


рис.21

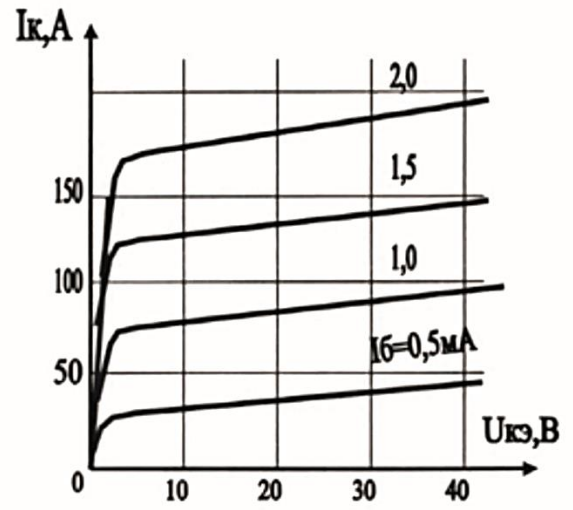


рис.22

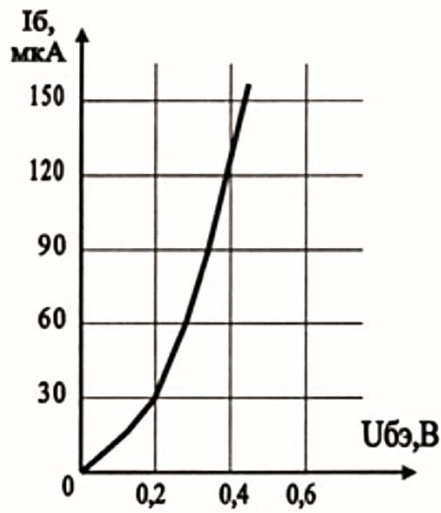


рис.23

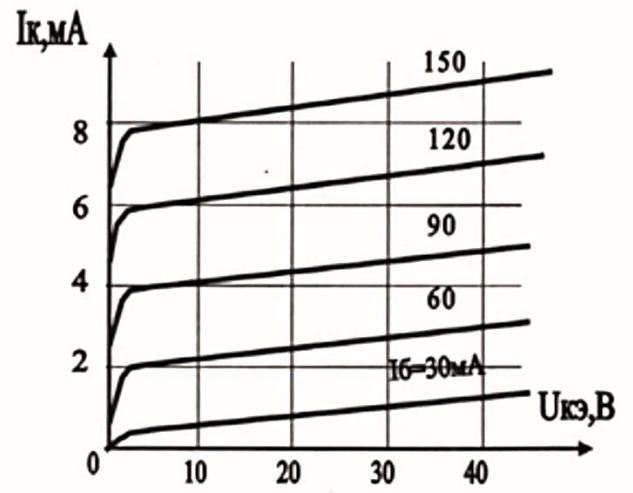


рис.24

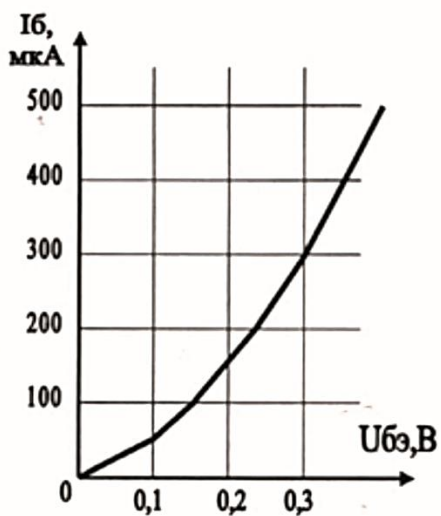


рис.25

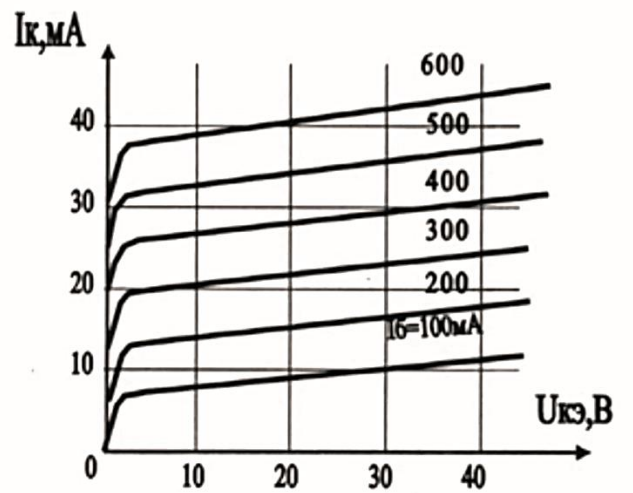


рис.26

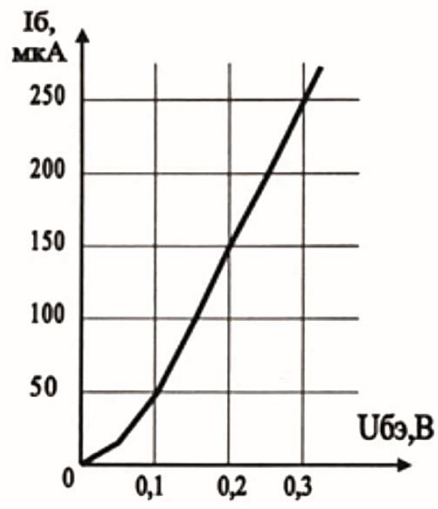


рис.27

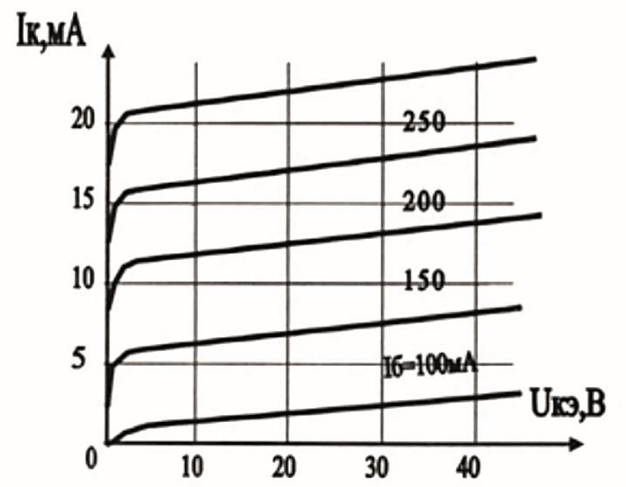


рис.28

Содержание

1. Тематический план	3
2. Общие методические указания	5
3. Указания к выполнению контрольных и лабораторных работ	6
4. Распределение учебного материала программы	7
5. Варианты заданий	61
6. Вопросы и задачи контрольной работы	62
7. Примеры решения задач	66
8. Список использованных источников	84
9. Приложение А: Входные и выходные характеристики биполярных транзисторов	85