


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ  
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
ГАПОУ СО «КАМЕНСК-УРАЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора  
по учебно- производственной работе  
 Т.А. Исакова

28 августа 2020 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ  
К ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ  
для студентов заочной формы обучения**

по учебной дисциплине **ОП.06. Электронная техника**  
основной профессиональной образовательной программы  
среднего профессионального образования -  
программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности

**11.02.02 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И  
РЕМОНТРАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Преподаватель: Дёмина Т.Л.

Группа РМ-4.111

Каменск-Уральский

2020


Методические указания и контрольные задания к домашней контрольной работе составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине ОП.06 Электронная техника, разработанной на основе требований федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 11.02.02. Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники и учебного плана в ГАПОУ СО «Каменск-Уральский радиотехнический техникум».

Проведена внутренняя техническая и содержательная экспертиза методических указаний и контрольных заданий к домашней контрольной работе по дисциплине ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Эксперт: Зарипова М.М., заместитель директора по методической работе ГАПОУ СО «Каменск-Уральский радиотехнический техникум».

Одобрена цикловой комиссией радиотехнического профиля  
28 августа 2020 г. Протокол №1

Председатель ЦК



подпись

Григорьева А.В.

инициалы, фамилия

Разработчик: Дёмина Татьяна Львовна, преподаватель высшей квалификационной категории ГАПОУ СО «Каменск-Уральский радиотехнический техникум»

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение .....	4
2. Методические указания по изучению дисциплины .....	6
3. Перечень практических и лабораторных работ .....	18
4. Требования к выполнению контрольной работы .....	18
5. Перечень контрольных заданий .....	20
6. Перечень рекомендуемых учебных изданий, интернет - ресурсов, дополнительной литературы .....	28

## ВВЕДЕНИЕ

**Цели** изучения дисциплины «Электронная техника»:

- создание теоретической базы для овладения профессиональными компетенциями при подготовке специалиста по специальности радиомонтажник в области электронной техники;
- закрепление и углубление полученных знаний в процессе выполнения и анализа лабораторных, практических и контрольных работ, выработка навыков критической оценки экспериментальных исследований;
- формирование навыков самостоятельной работы с технической и справочной литературой.

**Задача** изучения дисциплины – формирование у студентов знаний и навыков по следующим направлениям деятельности:

- изучение принципа работы, свойств, основных параметров, характеристик полупроводниковых, электровакуумных и микроэлектронных приборов и их практического применения в современном радиоприборостроении;
- совершенствование навыков практического применения графоаналитического для расчета параметров компонентов и схем электронной техники;
- обеспечение изучения последующих дисциплин: ОП.09 «Электрорадиоизмерения», ОП.14 «Радиотехнические цепи и сигналы» и профессиональных модулей ПМ.01 «Выполнение сборки, монтажа и демонтажа устройств, блоков и приборов различных видов радиоэлектронной техники», ПМ.02 «Выполнения настройки, регулирования и проведение стандартных и сертифицированных испытаний», ПМ.03 «Проведение диагностики и ремонта различных видов радиоэлектронной техники»

В результате освоения программы студент должен:

*знать:*

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принципы включения электронных приборов и построения электронных схем;
- физические основы распространения радиоволн;

*уметь:*

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и по ним определять работоспособность устройств электронной техники;
- производить подбор элементов электронной аппаратуры по заданным параметрам;

Для изучения данной дисциплины студентам необходимо усвоение следующих дисциплин:

- электрорадиоматериалы и радиокомпоненты: основные свойства и особенности применения полупроводниковых материалов, резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности;
- электротехника: электрическое и магнитное поле, линейные и нелинейные электрические цепи, четырехполюсники;
- физика: электричество и магнетизм, строение атома;
- химия: периодическая таблица элементов, валентность.

Аудиторные виды занятий (лекции, практические и лабораторные работы) проводятся только по основополагающим вопросам дисциплины, поэтому главной формой изучения предмета является самостоятельная работа студентов над учебниками и учебными пособиями. Это важно не только во время подготовки к дифференцированному зачету, но и во всей деятельности техника.

При самостоятельном изучении литературы необходимо вести конспект, а после каждой темы – ответить на контрольные вопросы, т. к. большинство из них входит в билеты дифференциального зачета.

Учебным планом дисциплины «Электронная техника» предусмотрено выполнение одной контрольной работы. Цель выполнения контрольной работы – закрепить теоретический материал о свойствах выпрямительных диодов, схемах выпрямления и биполярных транзисторов.

Контрольная работа составлена по 20 вариантам и содержит три теоретических вопроса и две задачи. Номер варианта определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета.

К лабораторным работам студенты допускаются после сдачи контрольной работы. Сдача экзаменов разрешается студентам, которые получили зачеты по контрольной и лабораторной работам.

Методические указания для проведения лабораторных работ выдаются студентам перед проведением занятий.

### ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

учебной дисциплины «Электронная техника»

для специальности 11.02.02. «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники»  
заочной формы обучения

Наименование разделов и тем	Кол-во аудиторных часов			Самостоят. работа студентов
	Обзорные, установочные лекции	Лаб. работы	Практ. занятия	
<b>Раздел 1. Физические основы электронной техники</b>				
<b>Тема 1.1.</b> Основы теории вещества	1			2
<b>Раздел 2. Элементная база радиоэлектронной техники</b>				
<b>Тема 2.1.</b> Полупроводниковые диоды	1	3		2
<b>Тема 2.2.</b> Биполярные транзисторы	1	2		2
<b>Тема 2.3.</b> Полевые транзисторы	1	1	2	2
<b>Домашняя контрольная работа</b>				<b>91</b>
<b>Тема 2.4.</b> Тиристоры и симисторы	1	1		2
<b>Тема 2.5.</b> Оптоэлектронные и электровакуумные приборы.	2			2
<b>Раздел 3. Основы микроэлектроники и цифровой техники</b>				
<b>Тема 3.1.</b> Классификация и элементы цифровой техники	1	3	2	2
<b>Раздел 4. Усилительные устройства</b>				
<b>Тема 4.1.</b> Аналоговые усилители	1		2	2

Тема 4.2. Операционные усилители.	1	2		2
<b>ИТОГО</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>109</b>

## 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### Введение

Цели и задачи дисциплины. Краткие сведения по истории открытий в электронной технике, ее роль в развитии науки, техники и технологии. Основные научно-технические проблемы и перспективы развития радиоэлектронной техники. Значение предмета как одной из базовых дисциплин специальности.

### Раздел 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Студент должен:

*иметь представление*

- о теории электропроводности твердых тел;
- о классификации и конструкции полупроводниковых приборов;
- о конструкции пленочных, гибридных и полупроводниковых интегральных схем (ИС);

*знать:*

- основные свойства полупроводников и *p-n*-перехода.
- физические принципы работы полупроводниковых, их условные обозначения;
- характеристики, параметры, условные обозначения, схемы включения, применение; классификацию ИС;
- принцип работы логических элементов, схем диодно-транзисторной логики (ДТЛ), транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ);
- параметры и условные обозначения аналоговых и логических интегральных микросхем (ИМС);
- техническую реализацию логических функций;

*уметь:*

- пользоваться справочной литературой для определения характеристик приборов;
- выбирать тип прибора по заданным параметрам с учетом условий применения;
- снимать характеристики, определять параметры;
- выбирать тип ИС по заданным параметрам с учетом условий.

### Тема 1.1. Основы теории вещества

#### Электропроводность твердых тел

Квантовая теория строения вещества, энергетические диаграммы. Собственные и примесные полупроводники, типы носителей заряда, соотношения между ними.

Повторите тему «Строение атома» из курса физики.

Уясните, что особенностью полупроводниковых материалов является возможность управления их проводимостью в широком диапазоне значений путем введения примесей (легирования). При этом в зависимости от примеси может меняться не только абсолютное

значение, но и тип проводимости. Необходимо твердо знать, что основными носителями зарядов полупроводников  $p$ -типа являются дырки (положительно заряженные частицы), а в полупроводниках  $n$ -типа – электроны, имеющие отрицательный заряд.

### **Электронно-дырочный переход ( $p$ - $n$ -переход)**

Способы формирования,  $p$ - $n$ -переход при отсутствии внешнего напряжения, при прямом и обратном напряжении, вольт-амперная характеристика (ВАХ)  $p$ - $n$ -перехода, виды пробоя.

### **Контакт металл – полупроводник**

На изучение физических явлений в  $p$ - $n$ -перехода необходимо обратить особое внимание, так как без понимания сущности этих явлений в дальнейшем невозможно понимание принципов работы полупроводниковых приборов.

В этой теме необходимо запомнить, что основным свойством  $p$ - $n$ -перехода является *односторонняя электропроводность*. При прямом смещении потенциальный барьер  $p$ - $n$ -перехода снижается, электропроводность увеличивается, ширина  $p$ - $n$ -перехода уменьшается и через переход проходит ток, сильно зависящий от приложенного напряжения. При обратном смещении потенциальный барьер  $p$ - $n$ -перехода повышается, электропроводность уменьшается, ширина  $p$ - $n$ -перехода увеличивается, и через переход проходит очень малый ток, слабо зависящий от приложенного напряжения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определения терминам: ковалентная связь, энергетическая диаграмма, валентная зона, зона проводимости.
2. Объясните, чем отличаются энергетические диаграммы проводников, полупроводников и диэлектриков.
3. Объясните механизмы собственной и примесной проводимости полупроводников  $p$ - и  $n$ -типа.
4. Назовите основные и неосновные носители заряда в полупроводниках  $p$ - и  $n$ -типа.
5. Объясните механизм образования  $p$ - $n$ -перехода, покажите его элементы и поясните основные характеристики.
6. Объясните, в чем сущность динамического равновесия в  $p$ - $n$ -переходе при отсутствии внешнего напряжения.
7. Расскажите, как определить знак прямого смещения на  $p$ - $n$ -переходе, как изменятся характеристики перехода при прямом и обратном смещении.
8. Расскажите о видах пробоя  $p$ - $n$ -перехода.
9. Объясните природу емкости и односторонней электропроводности  $p$ - $n$ -перехода. Почему они зависят от внешнего напряжения?
10. Объясните, при каких условиях, и каким образом возникает запирающий слой в контакте металл – полупроводник.
11. Объясните, в каких диодах используется контакт металл – полупроводник.

Литература: [1, с. 12 - 19; 2, с. 37].

## Раздел 2. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Студент должен:

*иметь представление* о классификации и конструкции полупроводниковых, электровакуумных приборов и приборов для отображения информации приборов;

*знать:*

– физические принципы работы полупроводниковых, электровакуумных приборов, электролюминесцентных, жидкокристаллических индикаторов, их условные обозначения;  
– характеристики, параметры, условные обозначения, схемы включения, применение;

*уметь:*

– пользоваться справочной литературой для определения характеристик приборов;  
– выбирать тип прибора по заданным параметрам с учетом условий применения;  
– снимать характеристики, определять параметры.

### Тема 2.1 Полупроводниковые диоды

Классификация диодов: выпрямительные, стабилитроны, варикапы, туннельные, обращенные, импульсные. Вольт-амперная характеристика реального диода. Обратный ток, температурные свойства и параметры диодов. Классификация диодов: выпрямительные, стабилитроны, варикапы, туннельные, обращенные, импульсные, диоды Шоттки. Условные графические обозначения (УГО) в схемах, принцип работы, основные параметры, характеристики, особенности конструкции, области применения, условные обозначения.

Повторите основные электрофизические свойства  $p-n$ -перехода: асимметрию электропроводности, виды и механизмы пробоя, емкостные свойства и туннелирование частиц через  $p-n$ -переход. Проследите, какое из этих свойств  $p-n$ -перехода положено в основу работы соответствующего диода.

Основным признаком, по которому производится классификация диодов, является область применения. Изучать каждый тип диодов лучше всего по следующей схеме:

- принцип работы диода;
- вольт-амперная характеристика (нарисуйте и укажите рабочий участок);
- параметры, эквивалентная схема;
- особенности конструкции;
- применение;
- условные буквенно-цифровые обозначения.

### Вопросы для самоконтроля

1. Дайте характеристику следующим типам диодов:

- а) выпрямительные диоды;
- б) стабилитроны и стабисторы;
- в) варикапы;
- г) туннельные диоды.

2. Объясните различие между сопротивлением диода постоянному току и дифференциальным сопротивлением.



3. Назовите конструктивные отличия СВЧ-диодов.
4. Перечислите особенности и преимущества диодов Шоттки.

Литература: [1, с.19–25; 2, с. 37-42.].

## Тема 2.2 Биполярные транзисторы

Биполярные транзисторы: принцип работы, устройство, условные графические обозначения. Режимы работы: активный, отсечки, насыщения, инверсный. Схемы включения: с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором, сравнительная характеристика. Основные параметры, статические характеристики. Транзистор как линейный четырехполюсник, применяемые системы параметров.

Изучать принцип работы биполярных транзисторов удобно на примере активного режима при нормальном включении напряжения на переходах (эмиттерный переход открыт, коллекторный – закрыт). Тип транзистора принципиального значения не имеет. Усиливаемый сигнал поступает на входную (управляющую) цепь транзистора, а усиливаемый сигнал выделяется на сопротивлении нагрузки, включенном в его выходную цепь, *проводимость которой меняется в соответствии с управляющим сигналом*. Сущность усиления состоит в том, что мощность выходного сигнала превышает мощность, затраченную на входе транзистора.

Очень важно понять, что в биполярном транзисторе управляющим сигналом является ток в цепи входного электрода, а в полевых – поле (напряжение) между входным и, как правило, общим электродом.

### Вопросы для самоконтроля

1. Изобразите структуру биполярных транзисторов с разным типом проводимости, УГО в схемах и объясните принцип его работы.
2. Нарисуйте схемы включения биполярных транзисторов типа *n-p-n* и *p-n-p* с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Укажите на них входные и выходные токи напряжения; напишите выражения для коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности. Назовите преимущества и недостатки каждой схемы включения.
3. Дайте сравнительную оценку схем включения биполярного транзистора с точки зрения входного сопротивления, коэффициентов передачи по току и напряжению, влияния температуры на параметры.
4. Укажите направления протекания токов в активном режиме во входной и выходной цепях всех схем включения биполярного транзистора.
5. Назовите и поясните собственные параметры биполярных транзисторов.
6. Приведите *h*-параметров биполярного транзистора, как они определяются по его статическим ВАХ.

Литература: [1, с. 26–36; 2, с. 42–52].

## Тема 2.3 Полевые транзисторы

Полевые транзисторы: определение, классификация, условные графические обозначения. Полевой транзистор с управляемым  $p$ - $n$ -переходом: устройство, принцип работы, статические характеристики, режимы работы. Полевые транзисторы с изолированным затвором, со встроенным и индуцированным каналами. Устройство, принцип работы, схемы включения, статические характеристики, основные параметры.

Управляемый ток в биполярных транзисторах образован как основными, так и неосновными носителями заряда, а в полевом транзисторе он обусловлен движением основных носителей заряда для данного типа полупроводника.

Принцип управления током стока в полевых транзисторах заключается в том, что, *изменяя напряжение на затворе, можно регулировать проводимость канала.*

Отличительной особенностью МДП-транзисторов является большое входное сопротивление ( $R_{вх} > 10^9$  Ом), что позволяет управлять мощными цепями с помощью маломощных источников сигнала.

### Вопросы для самоконтроля

1. Нарисуйте и поясните входные и выходные ВАХ биполярного транзистора для разных схем включения.
2. Почему полевые транзисторы с управляющим  $p$ - $n$ -переходом не должны работать при прямом напряжении на входе (затворе)?
3. Будет ли одинаковым выходное сопротивление полевого транзистора на участках выходной ВАХ до и после насыщения?
4. Объясните, почему входное сопротивление полевого транзистора со встроенным каналом остается большим при любой полярности входного напряжения?
5. Объясните, почему МДП-транзистор с индуцированным каналом не может работать в режиме обеднения?

Литература: [1, с. 36–43; 2, с. 52–60].

## Тема 2.4 Тиристоры и симисторы

Динисторы, тринисторы, симисторы: УГО в схемах, вольт-амперные характеристики, принцип работы, параметры, области применения.

Тиристоры занимают особое место среди полупроводниковых приборов. Основное назначение их состоит в переключении с небольшой скоростью электрических сигналов относительно большой мощности. Именно в этом случае они имеют характеристики лучше, чем ключевые транзисторы.

В тиристоре при положительном напряжении на аноде имеются три взаимодействующих перехода, два из которых являются эмиттерами, а один выполняет функции общего коллектора. В этой системе переходов используется взаимозависимость токов инжекции эмиттерных переходов и влияния их на сопротивление коллекторного перехода. Эта зависимость создает в

тиристорной структуре положительную обратную связь, в результате чего скачком увеличивается ток прибора. Во включенном состоянии коллекторный переход под действием накопленного в базах заряда оказывается включенным в прямом направлении.

### Вопросы для самоконтроля

1. Объясните принцип работы диодного тиристора.
2. Как называются внешние выводы тиристора и внутренние *p-n-p-n*-структуры?
3. Как распределяется приложенное к тиристорному прямое напряжение между переходами в закрытом состоянии?
4. Объясните, каким образом тиристор переключается из закрытого состояния в открытое.
5. Какова роль управляющего электрода в тринисторе?
6. Объясните, как осуществляется управления переключением триодного тиристора.
7. Перечислите особенности применения различных типов тиристорных.

Литература: [1, с. 43–45; 2, с. 60–64].

## Тема 2.5 Оптоэлектронные и электровакуумные приборы

### Оптоэлектронные приборы

Источники и приемники оптического излучения, внутренний и внешний фотоэффект, фотопроводимость, фото ЭДС. Фоторезисторы: определение, условные обозначения, основные параметры, применение. Фотодиоды: определение, условные обозначения, фотодиодный и фотогальванический режимы работы, вольт-амперные характеристики, основные параметры. Фототранзисторы: определение, принцип работы биполярных и полевых фототранзисторов, условные обозначения, вольт-амперные характеристики. Фототиристоры: определение, условные обозначения, принцип действия, вольт-амперные характеристики. Светодиоды: определение, условные обозначения, принцип работы, основные параметры. Оптроны: определение, типы оптопар, структура, принцип действия, основные параметры, применение.

*Оптоэлектроника* – это раздел электроники, где в качестве носителя информации используются электромагнитные волны оптического диапазона. Световой луч в оптоэлектронике выполняет те же функции управления, преобразования и связи, что и электрический сигнал в электрических цепях. Носителями сигналов являются электрически нейтральные фотоны, которые в световом потоке не взаимодействуют, не смешиваются и не рассеиваются.

Достоинства оптоэлектронных приборов:

- высокая информационная емкость оптических каналов передачи информации;
- полная гальваническая развязка источников и приемников излучения;
- невосприимчивость оптических каналов к электромагнитным полям (высокая помехозащищенность).

При изучении фотоэлектрических приборов обратите внимание на то, как проявляется внутренний фотоэффект в каждом из перечисленных приборов и на области их применения.

Принцип действия полупроводниковых излучающих приборов основан на явлении *электролюминесценции* – излучении света телами под действием электрического поля.

### Вопросы для самоконтроля

1. Объясните увеличение чувствительности фототранзисторов по сравнению с фотодиодами.
2. На чем основан принцип действия фототиристоры?
3. Объясните принцип работы светодиода.
4. Объясните простейшую структурную схему оптрона и его основные достоинства.
5. Перечислите основные достоинства полупроводниковых оптоэлектронных приборов по сравнению с другими полупроводниковыми приборами?

Литература: [1, с. 24–26; 2, с. 64–77].

### Электривакуумные приборы

Классификация, физические основы работы, конструктивные особенности электронных ламп, достоинства и недостатки. Электронно-лучевые трубки: классификация, устройство, виды разверток. Газоразрядные и индикаторные приборы: электрический разряд в газах, тлеющий разряд. Стабилитроны, тиратроны, неоновые лампы, знаковосинтезирующие, электролюминесцентные и жидкокристаллические индикаторы: устройство, принципы работы, условные обозначения.

При управлении электронными приборами необходимо иметь панель, на которой отображается состояние прибора. Для отображения аналоговых сигналов существует единственный способ – с помощью электронно-лучевых трубок с электростатическими и магнитными отклоняющими системами. Осциллографические и приемные телевизионные трубки преобразуют сигналы в видимое изображение. Для отображения цифровых сигналов применяются индикаторы трех типов: вакуумные люминесцентные, жидкокристаллические (ЖКИ), полупроводниковые синтезирующие. В основу работы таких приборов положены различные физические процессы и явления: процессы в газовом разряде, электролюминесценция, процессы излучения света в полупроводниках, оптические процессы в жидких кристаллах.

Следует различать *активные* и *пассивные индикаторы*.

В каждой группе приборов необходимо изучить принцип работы, основные параметры, преимущества и недостатки. Все они должны удовлетворять *визуальным требованиям*: геометрические размеры, начертание, освещённость, яркость, расположение в пространстве.

### Вопросы для самоконтроля

1. Поясните принцип работы и основные параметры вакуумных люминесцентных индикаторов.
2. Объясните конструкцию и назначение электронно-лучевых трубок.
3. Назовите разновидности и основные параметры жидкокристаллических индикаторов.

4. Объясните, почему предпочтительнее использовать ЖКИ с возбуждением переменным током.
5. Назовите разновидности и основные параметры полупроводниковых и знакосинтезирующих индикаторов.

Литература: [1, с. 64–77; 2, с. 96–110].

### **Раздел 3. ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ**

Студент должен:

*иметь представление* о конструкции пленочных, гибридных и полупроводниковых интегральных схем (ИС);

*знать:*

- классификацию ИС;
- принцип работы логических элементов, схем диодно-транзисторной логики (ДТЛ), транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ);
- параметры и условные обозначения аналоговых и логических интегральных микросхем (ИМС);

– техническую реализацию логических функций;

*уметь:*

- выбирать тип ИС по заданным параметрам с учетом условий применения.

#### **Тема 3.1. Элементы цифровой техники**

##### **Классификация ИС**

Классификация ИС по степени интеграции, конструктивно-технологическому признаку: пленочные, гибридные, полупроводниковые; функциональному назначению: цифровые и аналоговые. Условные обозначения, параметры, структура; основные параметры элементов схем.

Применение ИС вместо дискретных элементов в качестве базы электронной техники дает значительные преимущества по надежности, габаритам, стоимости и другим показателям. Это связано с тем, что при использовании ИС отпадает необходимость в многочисленных паяных соединениях (основной фактор снижения надежности), резко сокращаются габариты и масса электронных устройств (благодаря отсутствию корпусов и внешних выводов ИС), существенно снижается их стоимость за счет исключения множества сборочных и монтажных операций.

##### **Элементы цифровой техники**

Основные логические функции. Классификация логических элементов, их УГО, таблицы истинности, параметры и характеристики. Техническая реализация логических функций: диодная логика, диодно-транзисторная логика, транзисторно-транзисторная логика. Серийные логические ИМС: параметры и условные обозначения.

В настоящее время при разработке интегральных схем наибольшее распространение получили следующие базовые логические элементы: диодно-транзисторная логика (ДТЛ);

транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ); эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ); интегрально-инжекционная логика (ИИЛ, или И<sup>2</sup>Л); логика на одностипных полевых транзисторах (*n*- и *p*-МОП); логика на комплементарных полевых транзисторах (КМОП).

Распространение нескольких типов логики, выполняющих одни и те же логические функции, объясняется различием их основных характеристик, что в зависимости от технических требований и условий эксплуатации позволяет строить электронные устройства с необходимыми параметрами. В интегральной микроэлектронике наиболее технологичны резисторы, диоды, биполярные и полевые транзисторы, поэтому именно эти элементы используются в логических схемах, выпускаемых отечественной промышленностью.

ТТЛ-схемы, по прогнозам специалистов, останутся наиболее массовыми в ближайшем будущем. В настоящее время при разработке ИС наибольшее распространение получили следующие базовые логические элементы: ДТЛ, ЭСЛ; ИИЛ или И<sup>2</sup>Л; логика на одностипных полевых транзисторах (*n*-МОП и *p*-МОП); логика на комплементарных полевых транзисторах (КМОП).

### Вопросы для самоконтроля

1. По каким признакам производится классификация ИС?
2. Дайте определение степени интеграции.
3. Объясните различия между пленочной и гибридной схемами.
4. Перечислите особенности, которыми обладают ИМС.
5. Объясните буквенно-цифровую систему условных обозначений ИМС.
6. Назовите основные базовые логические элементы и дайте их краткую характеристику.
7. Назовите основные параметры базовых логических элементов.
8. Перечислите основные логические функции и изобразите обозначения соответствующих логических элементов.
9. Поясните принцип действия логических схем, выполняющих основные логические операции НЕ, ИЛИ, И.

Литература: [1, с. 135 – 172; 2, с. 268 – 305].

## Раздел 4. УСИЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Студент должен:

*иметь представление* о классификации усилителей;

*знать:*

- параметры и характеристики усилителей;
- схемы подачи смещения и температурной стабилизации;
- виды обратной связи и влияние ее на параметры усилителя;

уметь:

- собирать и исследовать схемы усилителей в лабораторных условиях;
- определять параметры по семействам ВАХ.

## **Тема 4.1. Назначение и принцип действия усилителей**

### **Тема 4.1. Аналоговые усилители**

#### **Назначение и принцип действия усилителей**

Структурная схема усилителя. Классификация усилителей, параметры и характеристики.

Каскад усиления: схемы подачи напряжения на вход, режим работы по постоянному току, способы его обеспечения, температурная стабилизация.

При изучении этой темы все параметры и характеристики каскада усиления необходимо объяснять на простейшей принципиальной схеме резистивного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером (ОЭ). В этой схеме необходимо также знать назначение всех элементов.

#### **Усилители мощности**

Однотактные и двухтактные, трансформаторные и бестрансформаторные усилители, режимы работы. Многокаскадные усилители.

При изучении этой темы все параметры и характеристики каскада усиления необходимо учитывать, что усилители мощности (УМ) обычно являются оконечными каскадами многих радиотехнических устройств. При этом полезная мощность, выделяемая в нагрузке, соизмерима с максимально допустимой мощностью, рассеиваемой усилительным прибором, который в данном случае будет работать в режиме большого сигнала.

Важно уметь объяснять следующие особенности усилителя мощности по сравнению с усилителем напряжения:

1. Выходной сигнал по форме может отличаться от входного, что приведет к заметным нелинейным искажениям. При этом расчет каскада по параметрам, справедливый только для рабочей точки и малой области около нее (режим малого сигнала), дает неверные результаты. В связи с этим такие каскады рассчитывают для области средних частот графически, используя статические входные и выходные характеристики.

2. Нагрузка усилителя является, как правило, низкоомной и не соответствует оптимальной. Поэтому для усилителей мощности характерно наличие согласующего устройства, основной целью которого является преобразование сопротивления нагрузки и доведения его до величины, наиболее благоприятной для эффективной работы усилительного прибора с точки зрения получения требуемой мощности при допустимом уровне нелинейных искажений.

3. На долю усилителя мощности приходится основная часть потребляемой энергии и зачастую он определяет экономичность всего устройства.

Работу усилителя мощности и назначение элементов удобнее пояснять на примере схемы однотактного трансформаторного усилителя напряжения.

### **Обратные связи в усилителях**

Обратные связи (ОС) по току и напряжению, последовательные и параллельные. Отрицательная ОС и ее влияние на параметры усилителя.

Причины появления обратной связи в усилителе:

- физические свойства усилительных приборов (*внутренняя обратная связь*). Примером может служить обратная связь, образованная за счет емкости база – коллектор в транзисторе;
- наличие паразитных емкостей, индуктивных и других связей в схемах, создающих пути для обратной передачи сигнала. Такие связи называют *паразитными обратными связями*;
- введение в схему специальных цепей (*внешние обратные связи*).

Внутренними и паразитными связями нельзя управлять, и они нередко изменяют свойства усилителя в нежелательном направлении, например могут привести к искажению АЧХ и даже к самовозбуждению усилителя.

Внешняя обратная связь легко управляема и ее вводят для улучшения показателей усилителя: повышения стабильности коэффициента усиления, снижения искажений всех видов, уменьшения собственных помех и т. д.

При изучении различных видов ОС необходимо обратить внимание на применение каждого вида ОС. Поскольку в усилителях обычно используются каскады с общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК), общим истоком (ОИ) и общим стоком (ОС), вид обратной связи можно легко определить по способу подачи ее сигналов во входную цепь. Если сигнал обратной связи поступает на эмиттер (или исток) транзистора, то связь последовательная, а если на базу (или затвор), то параллельная. Для определения вида обратной связи: отрицательной обратной связи (ООС) или положительной обратной связи (ПОС) необходимо проследить прохождение полуволны входного сигнала во всех точках схемы усилителя.

### **Операционные усилители**

Устройство, принцип действия, схемы включения; инвертирующие и неинвертирующие операционные усилители (ОУ), дифференциальный ОУ. Статические и динамические характеристики. Классификация, применение, схемотехника ОУ.

Операционный усилитель – это унифицированный многокаскадный усилитель постоянного тока (УПТ), удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам:  $K_v \rightarrow \infty$ ;  $R_{вх} \rightarrow \infty$ ;  $R_{вых} \rightarrow 0$ ;  $f_v \rightarrow \infty$ .

Усилитель постоянного тока усиливает сколь угодно медленные электрические колебания. Широко применяются разновидности УПТ – дифференциальные. Дифференциальный усилитель (ДУ) в настоящее время по существу является основным схемотехническим элементом современной интегральной аналоговой электроники.

Поэтому изучение ОУ целесообразно начинать с изучения дифференциального усилителя. Принцип работы дифференциального каскада основан на свойстве равновесия моста. Далее изучите структурную схему трехкаскадного ОУ, состоящего из ОУ, усилителя



напряжения и усилителя мощности, назначение отдельных каскадов и параметры ОУ. Наиболее полно материал этой темы изложен в [1, с. 336–345, 355–380].

### Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию усилителей напряжения.
2. Поясните назначение элементов резистивного усилителя.
3. Поясните принцип температурной стабилизации статического режима. Как количественно оценить стабилизацию?
4. Каково назначение конденсаторов в резистивном каскаде?
5. Как происходит стабилизация рабочей точки в предварительном усилителе на полевом транзисторе?
6. Почему входное сопротивление предварительного каскада на полевом транзисторе имеет большое значение?
7. Почему в первом каскаде предварительного усиления предпочтительнее полевой транзистор, а не биполярный?
8. Дайте определение усилителя мощности.
9. Дайте характеристику схемы однотактного трансформаторного УМ и поясните назначение ее элементов.
10. Каковы достоинства и недостатки применения трансформаторов в выходных каскадах?
11. Для каких целей применяют фазоинверсные каскады?
12. Почему в двухтактном УМ необходима полная симметрия схемы?
13. Как определить общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя?
14. Каким образом учитываются коэффициенты частотных искажений и углы сдвига фаз, вносимые отдельными каскадами, в многокаскадном усилителе?
15. Дайте определение обратной связи.
16. Назовите причины появления обратных связей.
17. Какие виды обратных связей вы знаете?
18. Почему эмиттерная стабилизация лучше, чем коллекторная?
19. Поясните принцип действия ООС в усилителе с общим эмиттером.
20. Как обратная связь влияет на коэффициент усиления усилителя?
21. Что такое дифференциальный усилитель?
22. Поясните принцип балансировки моста.
23. Какие напряжения называют синфазными?
24. Перечислите основные требования, предъявляемые к ОУ.
25. Назовите пути повышения входного сопротивления ОУ.
26. Какова природа протекания входного тока ОУ?
27. Объясните роль ДУ во входном каскаде ОУ.

Литература: [1, с. 52 – 73; 2, с. 149 – 207;].

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ВО ВРЕМЯ СЕССИЙ**

### **1-Я СЕСИЯ**

Лабораторная работа №1. Исследование характеристик полупроводниковых диодов.

Лабораторная работа №2. Исследование работы мостового выпрямителя.

Лабораторная работа №3. Исследование характеристик стабилитрона.

Лабораторная работа №4. Исследование характеристик биполярного транзистора.

Лабораторная работа №5. Исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером

Лабораторная работа №6. Исследование характеристик полевого транзистора.

Лабораторная работа №8. Исследование работы транзисторного каскада с общим истоком.

Практическая работа № 1. Выполнение виртуальной схемы включения транзистора с общим истоком в компьютерной программе Multisim. Построение динамических характеристик в схеме с общим истоком.

### **2-Я СЕСИЯ**

Лабораторная работа № 7. Исследование управляемых схем на тиристорах

Лабораторная работа № 8. Исследование работы логических элементов

Практическая работа № 2. Выбор цифровых микросхем по заданным параметрам.

Практическая работа № 3. Выполнение виртуальной схемы аналогового усилителя в компьютерной программе Multisim.

Лабораторная работа № 9. Исследование работы инвертирующего усилителя

Лабораторная работа № 10. Исследование работы неинвертирующего усилителя

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Контрольная работа оформляется на листах формата А4. Необходимо оставлять поля шириной 25–30 мм и одну страницу в конце работы для замечаний преподавателя. Титульный лист работы имеет стандартный вид и должен содержать наименование предмета, по которому сделана работа, фамилию и инициалы студента, номер учебной группы, номер варианта (соответствует двум последним цифрам студенческого билета). После записи «Проверил» указываются фамилия и инициалы преподавателя.

2. Текст работы желательно набрать на компьютере. Обязательно приводится полный текст задания. Затем выписываются исходные данные своего варианта, приводятся ответы на вопросы или решение задачи. Страницы нумеруются. Текст решения должен содержать пояснения, какой параметр и по какой исходной формуле определяется. Если требуется, чертятся схемы (в тексте) и графики (на миллиметровке или в программе Excel).

Схемы должны быть выполнены карандашом с использованием чертежных инструментов и в соответствии с действующим ГОСТом, а в решении задач – применяться единицы Международной системы (СИ).

3. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, а также оформленная небрежно и не по правилам, не проверяется и не оценивается, а возвращается для доработки.

4. Обозначения определяемых величин должны быть одинаковыми с обозначениями, принятыми в задании.

5. Все графические построения надо выполнять карандашом или в программе Excel (а потом вставляются в world - файл), отчетливо и аккуратно

6. Все величины, определяемые из графика, должны быть указаны на графике.

7. После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все указания и повторить недостаточно усвоенный материал.

8. Если контрольная работа получила неудовлетворительную оценку, то студент выполняет ее снова по старому или новому варианту в зависимости от указаний преподавателя и отправляет на повторную проверку обе работы: незачтенную и выполненную заново (можно в одной папке). Он может обратиться к преподавателю для получения консультации.

9. Для успешного выполнения контрольной работы необходимо внимательно изучить соответствующие теоретические разделы дисциплины и методические указания с примерами решения задач.

### Критерии оценивания домашнего задания

№ задания	3 балла	2бала	1бал	0 баллов	Максимальное количество баллов за задание	
Контрольное задание №1 (3 вопроса)	-	Полный ответ на один вопрос	Неполный ответ на один вопрос	Нет ответа	6	
Контрольное задание №2	2.1	Характеристика диода изображена правильно, задание выполнено аккуратно, все оси подписаны правильно	Характеристика диода изображена правильно, задание выполнено аккуратно, все оси подписаны правильно, но есть ошибки	Характеристика диода изображена, все оси подписаны, есть значительные ошибки или работы выполнена небрежно	Значительные ошибки и работы выполнена небрежно.	3
	2.2	Записаны все параметры диода, работа выполнена аккуратно.	Записаны не все параметры диода или работа выполнена с небольшими погрешностями.	Записаны не все параметры диода и работа выполнена с небольшими погрешностями.	Записаны параметры неверно и работы выполнена небрежно	3
	2.3	Рассчитаны все параметры диода верно. Работа выполнена аккуратно.	Не рассчитан 1-н параметр диода. Работа выполнена аккуратно.	Не рассчитаны 2-а параметра диода. Работа выполнена аккуратно.	Не рассчитаны параметры диода.	3
	2.4	Схема выпрямителя начерчена, верно. Работа выполнена аккуратно.	Схема выпрямителя начерчена, с небольшими ошибками. Работа выполнена аккуратно.	Схема выпрямителя начерчена, со значительными ошибками. Работа выполнена аккуратно	Схема выполнена неаккуратно и неверно.	3
Контрольное задание №3	3.1	Линия нагрузки настроена верно. Работа выполнена аккуратно.	Линия нагрузки настроена с недочетами. Работа выполнена аккуратно.	Линия нагрузки настроена большими допустимыми недочетами. Работа выполнена неаккуратно.	Линия нагрузки не выполнена	3
	3.2	Три h- параметры рассчитаны верно	Два h- параметры рассчитаны верно	Один h- параметр рассчитаны верно	Расчеты неверны	3
		Эквивалентная схема выполнена верно	Эквивалентная схема выполнена с недочетпми	-	Эквивалентная схема не выполнена	3
<b>Всего максимум баллов</b>					<b>27 баллов</b>	

#### Перевод в пятибалльную оценку

Процент выполнения	Набранные баллы	Оценка по 5-ти бальной системе
85% - 100%	24 - 27	5(отлично)
69% - 84%	19 - 23	4(хорошо)
53% - 68%	14 - 18	3(удовлетворительно)
До 52%	13	2(неудовлетворительно)

### 4. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

#### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 1

Ответьте письменно на вопросы. Номера вопросов в соответствии с вариантом приведены в табл. 1.

1. Электропроводность твердых тел. Зонные диаграммы. Собственные полупроводники.
2. Примесная проводимость полупроводников.
3. Электронно-дырочный переход в динамическом равновесии.
4.  $P$ - $n$ -переход при нарушении равновесия. ВАХ  $p$ - $n$ -перехода.
5. Виды пробоев  $p$ - $n$ -перехода, их причины и последствия.
6. Емкость и сопротивление  $p$ - $n$ -перехода, их зависимость от приложенного напряжения. Принцип работы каких диодов основан на этих зависимостях?
7. Классификация диодов по технологии изготовления и назначению. УГО в схемах.
8. Выпрямительные диоды. УГО, ВАХ, параметры.
9. Импульсные диоды. Физические процессы работы, основные параметры.
10. ВЧ- и СВЧ-диоды. УГО, эквивалентная схема, основные параметры.
11. Выпрямительные устройства большой мощности. Маркировка диодов.
12. Принцип выпрямления объясните на однополупериодной схеме выпрямления. Временные диаграммы.
13. Двухполупериодная схема выпрямления. Принцип работы, временные диаграммы.
14. Мостовая схема выпрямления. Принцип работы, временные диаграммы.
15. Стабилитроны и стабилитроны. УГО, ВАХ, основные параметры.
16. Варикапы. УГО, эквивалентная схема, параметры.
17. Туннельные диоды. УГО, принцип работы, ВАХ, параметры, применение.
18. Биполярные транзисторы. УГО, режимы работы, буквенно-цифровые условные обозначения.
19. Схемы включения биполярного транзистора. Схема с ОК, основные параметры.
20. Схема включения транзистора с ОБ, основные параметры.
21. Схема включения транзистора с ОЭ, основные параметры.
22. Статические ВАХ биполярных транзисторов, основные параметры
23. Работа биполярного транзистора в динамическом режиме.
24. Эквивалентная схема биполярного транзистора, первичные (собственные) параметры.
25. Биполярный транзистор как четырехполюсник. Система  $h$ -параметров.
26. Полевые транзисторы. с управляющим  $p$ - $n$ -переходом, УГО, ВАХ.

27. Транзисторы с изолированным затвором и встроенным каналом. УГО, принцип работы, ВАХ.
28. МДП-транзисторы с индуцированным каналом. УГО, принцип работы, ВАХ.
29. Динисторы и тринисторы. УГО, ВАХ, основные параметры.
30. Управляемые полупроводниковые резисторы. УГО, основные параметры, применение, буквенно-цифровые условные обозначения.
31. Классификация ИС по степени интеграции и конструктивно-технологическому признаку.
32. Классификация ИС по функциональному назначению. Буквенно-цифровые условные обозначения.
33. Основные логические операции и их техническая реализация: контактные, ДТЛ-, ТТЛ-схемы.
34. Параметры цифровых ИМС.
35. Фотодиоды. УГО, принцип работы, характеристики, параметры и применение.
36. Фототранзисторы. УГО, принцип работы, характеристики, параметры и применение.
37. Фототиристоры. УГО, принцип работы, характеристики, параметры и применение.
38. Светодиоды. УГО, принцип работы, характеристики, параметры и применение.
39. Оптроны. УГО, принцип работы, характеристики, параметры и применение.
40. Газонаполненные лампы и индикаторы. УГО, применение, буквенно-цифровые условные обозначения.
41. Поясните принцип работы и основные параметры вакуумных люминесцентных индикаторов.
42. Назовите разновидности и основные параметры жидкокристаллических индикаторов.
43. Назовите разновидности и основные параметры полупроводниковых и знакосинтезирующих индикаторов
44. Назначение и классификация усилителей.
45. Основные характеристики и параметры усилителей.
46. Режим усилителя по постоянному току. Поясните выбор рабочей точки.
47. Нарисуйте и поясните схемы подачи смещения на биполярный транзистор.
48. Нарисуйте и поясните схемы стабилизации рабочей точки усилителя.
49. Режимы работы усилителей.
50. Нарисуйте и поясните схему двухтактного усилителя мощности.
51. Виды обратных связей в усилителях.
52. Дифференциальные усилители. Поясните работу схемы.
53. Операционные усилители. Разновидности, схемы включения.
54. Многокаскадные усилители. Параметры, паразитные связи.
55. Принцип построения автогенераторов по трехточечным схемам.
56. Принцип работы генератора на колебательном контуре.
57. Принцип работы генератора с кварцевой стабилизацией. Какие еще существуют способы стабилизации частоты?

*Таблица 1 - Исходные данные к заданию 1*

<b>Вариант</b>	<b>Номера вопросов</b>	<b>Вариант</b>	<b>Номера вопросов</b>
1	14, 25, 52	11	4, 36, 51

2	10, 31, 43	12	6, 35, 57
3	2, 19, 50	13	12, 30, 19
4	9, 22, 45	14	16, 43, 33
5	3, 24, 37	15	21, 39, 6
6	11, 26, 40	16	7, 35, 50
7	7, 36, 54	17	11, 42, 32
8	1, 15, 35	18	14, 34, 56
9	5, 27, 49	19	13, 48, 40
10	8, 38, 51	20	2, 14, 38

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 2

1. По справочным данным дать характеристику диода.
2. Записать основные параметры диода.
3. Определить среднее значение выпрямленного тока  $I_0$  и напряжения  $U_0$ , а также мощность  $P$ , выделенную в нагрузочном резисторе  $R_H$  и обусловленную этим током, для однополупериодного выпрямителя, собранного на полупроводниковом диоде.
4. Нарисовать схему выпрямителя и объяснить ее работу с использованием графиков  $U_{\text{вх}}$ ,  $U_{\text{вых}}$ ,  $i_H(t)$ .

Типы используемых выпрямителей, соответствующих номеру варианта, приведены в табл. 2. Там же указано сопротивление нагрузочного резистора  $R_H$ .

Напряжение питающей сети  $U = 220$  В.

Нелинейностью вольт-амперной характеристики пренебречь.

*Таблица 2 - Исходные данные к заданию 2*

Номер варианта	Тип диода	$R_H$ , Ом	Номер варианта	Тип диода	$R_H$ , Ом
1	Д223	200	11	Д226	360
2	КД109А	210	12	Д223В	380
3	КД204А	220	13	Д237Ж	370
4	МД226Е	230	14	КД109Б	310
5	Д223А	250	15	КД112А	220
6	КД106А	270	16	КД105Б	240
7	Д229А	300	17	КД102А	280
8	КД221В	400	18	КД218А	280
9	КД217	420	19	Д229В	260
10	Д229Е	350	20	КД109Б	250

### Пример расчета задания 2

Дано:

$$R_{\text{пр}} = 5 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{обр}} = 1000 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{н}} = 400 \text{ Ом};$$

$$U = 200 \text{ В}.$$

Примечание:  $R_{\text{пр}}$  и  $R_{\text{обр}}$  определяются по данным справочника (можно их сети интернет).

### Решение

1. Сопротивление выпрямителя в проводящий полупериод

$$R_1 = R_{\text{пр}} + R_{\text{н}} = 5 + 400 = 405 \text{ Ом}.$$

2. Амплитудное напряжение сети

$$U_m = 2^{1/2} \cdot U = 2^{1/2} \cdot 220 = 311,1 \text{ В}.$$

3. Амплитудное значение тока

$$I_m = U_m / R_1 = 311,1 / 405 = 0,77 \text{ А}.$$

4. Среднее значение выпрямленного тока

$$I_0 = I_m / \pi = 0,77 / \pi = 0,245 \text{ А}.$$

5. Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_0 = R_{\text{н}} \cdot I_0 = 400 \cdot 0,245 = 98 \text{ В}.$$

6. Мощность, выделяемая в нагрузке,

$$P = I_0^2 R_1 = 0,245^2 \cdot 400 = 24 \text{ Вт}.$$

**Ответ:**  $I_0 = 0,245 \text{ А}; U_0 = 98 \text{ В}; P = 24 \text{ Вт}.$

### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 3

По заданным статическим характеристикам биполярного транзистора (рис. 1, 2) выполнить следующие графо-аналитические расчеты для усилительного каскада:

- 1) построить линию нагрузки;
- 2) рассчитать низкочастотные малосигнальные электрические  $h$ -параметры и построить эквивалентную схему прибора на низкой частоте (в заданном режиме).

Таблица 3 - Исходные данные к заданию 3

Номер варианта	$U_{\text{кэ}},$ В	$I_{\text{к}},$ мА	Примечание	Номер варианта	$U_{\text{кэ}},$ В	$I_{\text{к}},$ мА	Примечание
1	20	20	Использовать биполярный транзистор типа КТ601Л	11	5	90	Использовать биполярный транзистор типа КТ603А
2	20	28		12	5	130	
3	20	32		13	5	180	
4	20	44		14	5	200	
5	30	10		15	7,5	45	
6	30	20		16	7,5	70	
7	30	30		17	7,5	120	
8	30	39		18	7,5	200	
9	30	47		19	7,5	225	
10	20	10		20	10	10	

## Статические характеристики биполярных транзисторов для выполнения задания 3

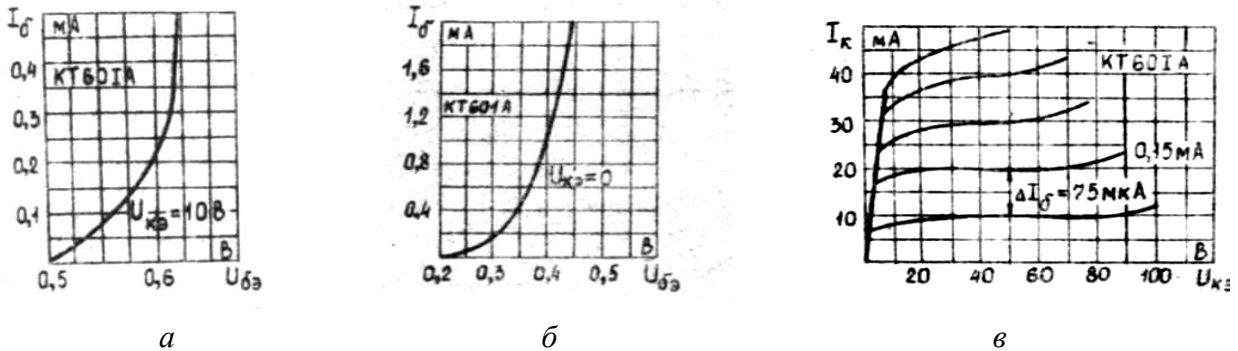


Рис. 1. Характеристики транзистора КТ601А:  
а, б – входные характеристики; в – выходные характеристики

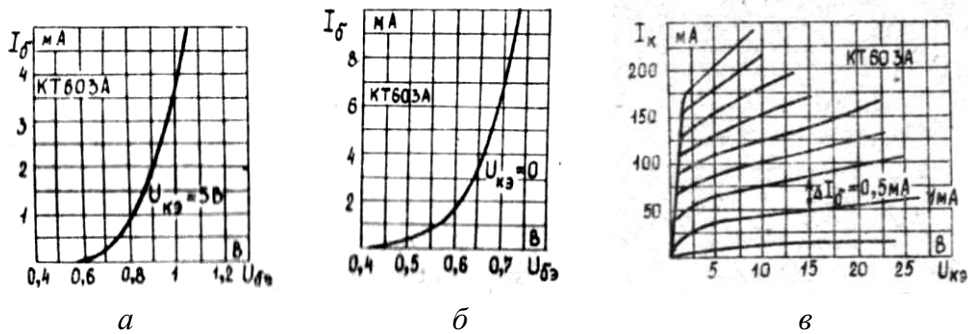


Рис. 2. Характеристики транзистора КТ603А:  
а, б – входные характеристики; в – выходные характеристики

**Внимание!** Изображение выходных характеристик транзисторов имеет свои особенности. Указывается величина входного параметра только для одной кривой семейства. Значение параметров для других кривых находятся добавлением или вычитанием постоянных приращений ( $\Delta I_b$ ).

### Методические указания и пример выполнения задания 3

1. Перерисуйте статические характеристики биполярного транзистора (рис. 1, 2). Обратите внимание, что входная характеристика приведена всего одна. Это является следствием малого влияния выходного напряжения на входную цепь прибора, в результате чего входные характеристики, снятые для различных значений  $U_{кэ}$ , располагаются очень близко друг к другу. Указанное обстоятельство в большинстве случаев расчетов позволяет использовать одну кривую, как показано на рис. 1а, б; 2а, б.

Решим эту задачу для транзистора ГТ322А (рис. 3):  $E_k = 12$  В,  $R_H = 1$  кОм,  $I_b = 150$  мкА.



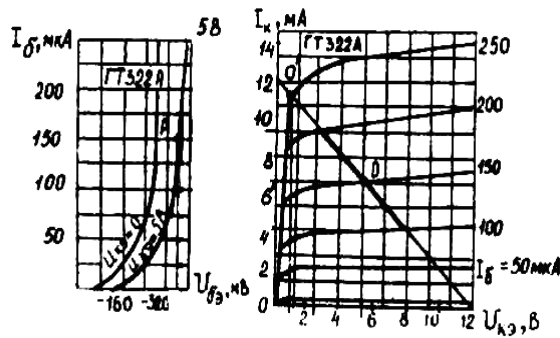


Рис. 3. Статические характеристики транзистора ГТ322А

Нагрузочная линия соответствует графику уравнения  $I_k = \frac{E_k - U_{кэ}}{R_H}$ . На семействе выходных характеристик ордината этой прямой при  $U_{кэ} = 0$  соответствует точке

$$I_k = \frac{E_k}{R_H} = 12/10^{-3} = 12 \text{ мА.}$$

Абсцисса при  $I_k = 0$  соответствует точке  $U_{кэ} = E_k = 12 \text{ В}$ . Соединяя эти точки, получим линию нагрузки. Пересечение нагрузочной линии с заданным значением тока базы  $I_б = 150 \text{ мкА}$  определяет рабочую точку транзисторного каскада, нагруженного на резистор. Координаты рабочей точки (р. т. А) дают значение рабочего режима выходной цепи  $U_{кэ} = 5,2 \text{ В}$  и  $I_k = 7 \text{ мА}$ , а координаты  $I_б = 150 \text{ мкА}$  и  $U_{бэ} = 360 \text{ В}$  на входной характеристике – режим входной цепи транзистора.

2. Для расчета низкочастотных малосигнальных  $h$ -параметров биполярный транзистор, включенный по схеме с ОЭ, представляют в виде линейного четырехполюсника, входные и выходные параметры которого связаны следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \Delta U_{бэ} &= h_{11э} \Delta I_б + h_{12э} \Delta U_{кэ}, \\ \Delta I_k &= h_{21э} \Delta I_б + h_{22э} \Delta U_{кэ}. \end{aligned}$$

Физический смысл  $h$ -параметров транзистора состоит в следующем:

–  $h_{11э}$  – входное сопротивление в режиме короткого замыкания на выходе;

$$h_{11э} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_б \text{ при } U_{кэ} = \text{const}; \quad (1)$$

–  $h_{12э}$  – коэффициент внутренней обратной связи в режиме холостого хода на выходе;

$$h_{12э} = \Delta U_{бэ} / \Delta U_{кэ} \text{ при } I_б = \text{const}; \quad (2)$$

–  $h_{21э}$  – коэффициент передачи тока в режиме короткого замыкания на выходе;

$$h_{21э} = \Delta I_k / \Delta I_б \text{ при } U_{кэ} = \text{const}; \quad (3)$$

–  $h_{22э}$  – выходная проводимость транзистора в режиме холостого хода на выходе.

$$h_{22э} = \Delta I_k / \Delta U_{кэ} \text{ при } I_б = \text{const}. \quad (4)$$

Их определяют по наклону входных и выходных вольт-амперных характеристик (кроме  $h_{12э}$ ).

Для определения  $h_{11э}$  проводят через рабочую точку А (р. т) касательную к входной характеристике и строят треугольник ВСD (рис. 4, а). Тогда, согласно формуле (1),

$$h_{11э} = BC/CD = \Delta U_{бэ} / \Delta I_б.$$

Из-за малости обратной связи в транзисторе на низкой частоте полагают обычно  $h_{12э} = 0$ .

Для определения  $h_{21э}$  семейство выходных характеристик вблизи р. т. А пересекают линией  $U_{кэ} = \text{const}$  (рис. 4, б), что соответствует короткому замыканию на выходе транзистора. Затем по формуле (3) рассчитывают  $h_{21э}$ , определив графически  $\Delta I_{к}$  и  $\Delta I_{б}$  как разность  $I_{б2} - I_{б1}$ .

Для определения  $h_{22э}$  выбирают из семейства выходную характеристику, снятую при  $I_{б \text{ р.т}}$  (рис. 4, в). Находят приращение тока коллектора  $\Delta I_{к}$ , вызванное приращением напряжения  $\Delta U_{кэ}$  на нем при постоянном токе базы, и по формуле (4) рассчитывают  $h_{22э}$ .

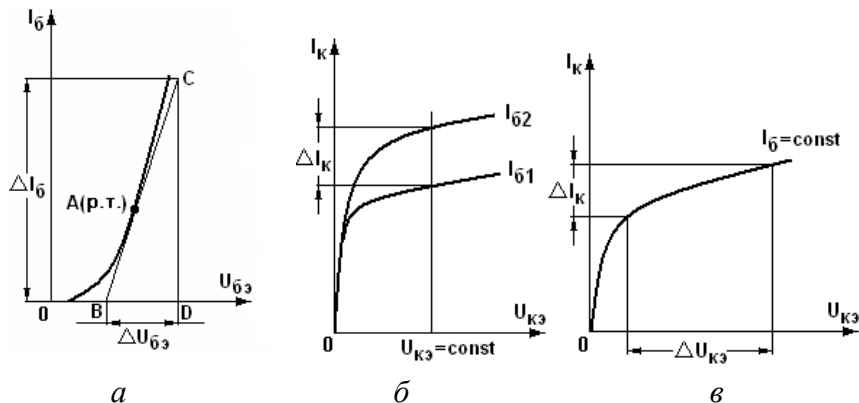


Рис. 4. Упрощенные ВАХ для расчета  $h$ -параметров

Размеры характеристических треугольников в принципе должны быть очень малыми. Однако удовлетворительная точность получается и при выборе сторон треугольника (приращений) примерно 20 % от значения заданного режима по постоянному току.

Для транзистора ГТ322А:

$$\Delta I_{б} = 0,2 \cdot I_{б} = 30 \text{ мкА};$$

$$\Delta U_{кэ} = 0,2 \cdot U_{кэ} = 1 \text{ В}.$$

Из-за малого наклона выходных характеристик транзистора в заданной рабочей точке (рис. 5) целесообразно увеличить приращение  $\Delta U_{кэ}$  (это позволит точнее определить приращение  $\Delta I_{к}$ ).

Треугольники, соответствующие выбранным приращениям (рис. 5), заштрихованы. Отсюда получаем:

$$h_{11э} = \left. \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{б}} \right|_{U_{кэ}=\text{const}} = \left. \frac{(360 - 340) \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-6}} \right|_{U_{кэ}=5\text{В}} = 0,7 \text{ кОм};$$

$$h_{21э} = \beta = \left. \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{б}} \right|_{U_{кэ}=\text{const}} = \left. \frac{(7,6 - 5,8) \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-6}} \right|_{U_{кэ}=5\text{В}} = 60;$$

$$h_{22э} = \left. \frac{\Delta I_{к}}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_{б}=\text{const}} = \left. \frac{(7,2 - 6,9) \cdot 10^{-3}}{9,4 - 2,7} \right|_{I_{б}=150\text{мкА}} = 0,1 \text{ мСм}.$$

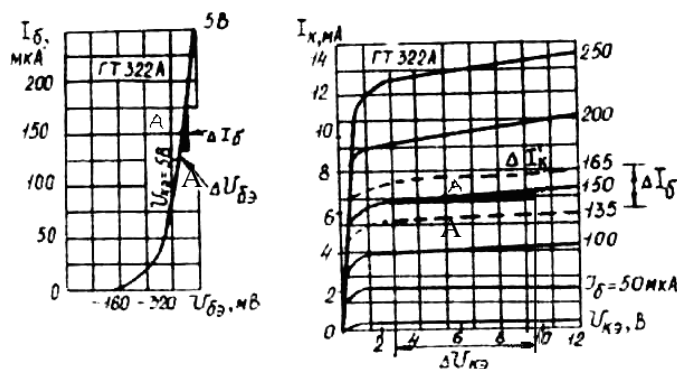


Рис. 5. Расчет малосигнальных параметров по статическим характеристикам ГТ322А

Соответствующая расчету НЧ эквивалентная схема показана на рис. 6.

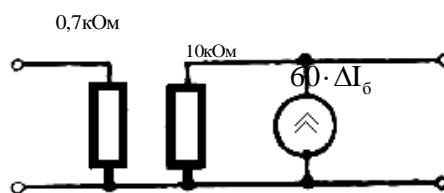


Рис. 6. Низкочастотная эквивалентная схема биполярного транзистора

Найденные  $h$ -параметры транзистора определяют его основные свойства на низкой частоте при усилении относительно малых сигналов.

**Ответ:**  $h_{11э} = 0,7 \text{ кОм}$ ;  $h_{21э} = 60$ ;  $h_{22э} = 0,1 \text{ мСм}$ .

## 5. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ УЧЕБНЫХ ИЗДАНИЙ, ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ, ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Электронный учебник издательство ЮРАЙТ

1. Миловзоров О.В. Основы электроники для среднего профессионального образования/ О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. – 6-е изд., переработанное и дополненное. – Москва: Издательство Юарйт, 2020. – 344 с.

### Основная литература

2. Горошков Б.И. Электронная техника : учеб. пособие для сред. проф. образования / Б.И. Горошков, А.Б. Горошков.– М. : Академия, 2005. – 320 с.
3. Жуков В.В. Регулировка радиомеханических и радиотехнических приборов и систем / В.В. Жуков, М.Д. Лабковский. – М. : Высш. шк., 2006. – 200 с.
4. Журавлева Л.В. Радиоэлектроника : учеб. для нач. проф. образования / Л.В. Журавлева. – М. : Академия, 2008. – 208 с.
5. Козлова И.С. Справочник по радиотехнике / И.С. Козлова, Ю.В. Щербакова. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 314 с.
6. Колонтаевский Ю.Ф. Радиоэлектроника : учеб. пособие для СПТУ / Ю.Ф. Колонтаевский. – М. : Высш. шк., 1988. – 304 с.

7. Лачин В.И. Электроника : Учеб. пособие / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Ростов н/Д : Феникс, 2002. – 576 с.
8. Мышляева И.М. Цифровая схемотехника : учеб. для нач. проф. образования / И.М. Мышляева. – М. : Академия, 2005. – 400 с.
9. Сиренький И.В. Электронная техника : учеб. пособие для сред. проф. образования / И.В. Сиренький, В.В. Рябин, С.Н. Голощапов. – СПб. : Питер, 2006. – 413 с.

#### Дополнительная литература

1. Бессонов В.В. Радиоэлектроника для начинающих (и не только) / В.В. Бессонов. – М. : Солон-Р, 2001. – 504 с.
2. Бриндли К. Карманный справочник инженера электронной техники : пер. с англ. / К. Бриндли, Дж. Карр. – М. : Додека-XXI, 2002. – 479 с.
3. Долженко О.В. Сборник задач и упражнений по радиоэлектронике / О.В. Долженко, Г.В. Королев. – М. : Высш. шк., 1993. – 106 с.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники / И.П. Жеребцов. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
5. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника : полный курс : учеб. для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.
6. Харченко В.М. Основы электроники / В.М. Харченко. – М. : Энергоиздат, 1982. – 352 с.