

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра нетрадиционных и возобновляемых источников энергии

УДК 621.382
Э 45

Рецензенты:

Г. С. Денисов – д-р техн. наук, проф.,

В. В. Кириллов – канд. техн. наук, доц.

Составители:

И. А. Аккозиев, А. П. Балянов, Д. В. Виноградов, О. П. Новиков

Рекомендовано к изданию

Ученым Советом Естественно-технического факультета

ЭЛЕКТРОНИКА

Учебно-методическое пособие
для практических занятий

Э 45 ЭЛЕКТРОНИКА: учебно-методическое пособие для практических занятий по курсу / сост.: И. А. Аккозиев, А. П. Балянов, Д. В. Виноградов, О. П. Новиков. Бишкек: КРСУ, 2016. 75 с.: ил.

Учебно-методическое пособие содержит указания к самостоятельной работе по дисциплине, даны многовариантные задачи и примеры их решения по выпрямителям, транзисторным каскадам, триггерам и релейным устройствам.

Представлены необходимые справочные материалы для расчета.

Пособие предназначено для студентов-бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» и по техническим направлениям в учебных планах которых есть дисциплина «Электроника».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Основы электроники.....	5
Методические указания к выполнению самостоятельной работы 1	10
Указания к решению задачи 1	12
Указания к решению задачи 2	16
Указания к решению задачи 3	18
Самостоятельная работа 1.....	22
Входные и выходные характеристики транзисторов к работе 1	49
Система обозначений полупроводниковых приборов.....	53
Система обозначений фотоэлектронных приборов	57
Система обозначений электронно-лучевых трубок	58
Система обозначений интегральных микросхем (ИМС)	58
Самостоятельная работа 2.....	59
Входные и выходные характеристики транзисторов к работе 2	69
ЛИТЕРАТУРА.	75

ВВЕДЕНИЕ

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электротехника и электроэнергетика» по программе бакалавриата, а также может быть полезным для студентов, в учебных планах которых имеется дисциплина «Электроника».

Написано в соответствии с рабочей программой, учитывающей повышенные требования к знаниям специалистов по электронике и вычислительной технике.

Все электронные устройства рассматриваются, как преобразователи электрической энергии одного вида в другой. Наиболее простые преобразователи, такие как выпрямители и линейные усилители, рассмотрены достаточно подробно: даны расчеты основных выходных характеристик и параметров. Даны схемы и принципы функционирования триггеров. Кратко изложены классификация и характеристики современных интегральных схем малой, средней и большой степени интеграции.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Тема 1. Полупроводниковые приборы

Электрофизические свойства полупроводников; собственная и примесная электропроводности; электронно-дырочный переход и его свойства; вольт-амперная характеристика, емкость, виды пробоя перехода. Устройство диодов. Выпрямительные диоды малой, средней и большой мощности; зависимость характеристик диода от изменения температуры. Универсальные диоды. Стабилитроны. Характеристики и параметры диодов. Обозначение и маркировка диодов.

Биполярные и полевые транзисторы (устройство, усилительные свойства); три способа выключения; характеристики и параметры; влияние различных факторов на работу транзисторов. Условные обозначения и маркировка транзисторов.

Тиристоры (конструктивное исполнение); анализ процессов в четырехслойной полупроводниковой структуре; вольт-амперные характеристики; условные обозначение и маркировка.

Области применения полупроводниковых приборов.

Литература, [1] (с. 84–153), [2] (с. 17–39).

Вопросы для самопроверки

1. Что называют собственной и примесной электропроводностью полупроводников?
2. Сделайте рисунок и объясните свойства и характеристики электронно-дырочного перехода.
3. Как устроен полупроводниковый диод? Почему его используют как выпрямитель переменного тока?
4. Начертите вольт-амперную характеристику полупроводникового диода и покажите, как по ней определить основные параметры диода. Для чего нужно знать параметры диода?
5. Начертите схему устройства биполярного и полевого транзисторов и объясните, почему они используются как усилительные элементы. Какие возможны способы включения транзисторов?
6. Какие основные характеристики имеют биполярные и полевые транзисторы? Как по характеристикам определить основные параметры?
7. Объясните электрофизические процессы в полупроводниках с четырехслойной структурой. Как устроен тиристор и для чего он применяется?
8. Как исследовать режим работы транзистора опытным путем?

Тема 2. Фотоэлектронные приборы

Волновые и квантовые свойства световых излучений. Законы фотоэффекта. Фотоприемники лучистой энергии с внешним и внутренним фотоэффектом. Фотоэмиссия. Фотопроводимость полупроводников. Фотодиоды и фототранзисторы. Условные обозначения фотоэлектронных приборов. Области применения.

Литература, [1] (с. 166–233).

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте основные законы фотоэффекта.
2. В чем отличие внешнего фотоэффекта от внутреннего?
3. Объясните физические процессы, происходящие при фотоэлектронной эмиссии.
4. Как устроен фотоэлемент с внешним фотоэффектом?
5. Объясните устройство фоторезистора.
6. Почему полупроводники обладают фотоэлектронной эмиссией?
7. На чем основан принцип действия фототранзистора?
8. Назовите технические устройства, в которых применяются фотоэлектронные приборы.

Тема 3. Электронные выпрямители

Основные сведения о выпрямителях. Однополупериодное выпрямление. Обратное напряжение. Двухполупериодное выпрямление. Трехфазные выпрямители. Постоянная и переменная составляющие выпрямленного напряжения. Соотношения между переменными и выпрямленными токами и напряжениями для различных схем выпрямления. Сглаживающие фильтры. Принцип работы выпрямителя с умножением напряжения. Параллельное и последовательное соединение диодов в схемах выпрямителей.

Управляемые выпрямители. Схемы управления тиристорами. Примеры применения управляемых выпрямителей.

Литература, [1] (с. 715–780), [2] (с. 41–56).

Вопросы для самопроверки

1. Какие электронные элементы можно использовать как выпрямители переменного тока?
2. Начертите схему одно- и двухполупериодного выпрямителя на полупроводниковых диодах и поясните их работу графиками выпрямленного напряжения.

3. Какие имеются соотношения между переменными и выпрямленными токами и напряжениями для различных схем выпрямления?
4. Для чего в схемах выпрямителей применяют сглаживающие фильтры?
5. Для чего в схемах выпрямителей диоды соединяют между собой последовательно или параллельно?
6. Каким образом можно исследовать режим работы выпрямителя? Какие приборы используют для этого?

Тема 4. Электронные усилители

Принцип усиления напряжения, тока и мощности. Предварительные замечания о показателях и характеристиках усилителей. Понятие об усилительных каскадах. Динамические характеристики усилительного элемента; определение рабочей точки на нагрузочной линии; построение графиков напряжений и токов в цепи нагрузки. Классы усиления каскадов.

Варианты междукаскадных связей. Обратные связи и стабилизация режима работы усилителя. Каскады предварительного усиления; основные варианты оконечных каскадов.

Анализ параметров конкретных схем усиления, частотных характеристик. Входная и выходная мощности усилителя, КПД усилителя.

Составной транзистор. Импульсные усилители. Избирательные усилители. Усилители постоянного тока.

Литература, [1] (с. 239–361), [2] (с. 58–74).

Вопросы для самопроверки

1. Какие электронные элементы используют для построения усилительных каскадов?
2. Приведите классификацию электронных усилителей.
3. Какие основные показатели характеризуют усилительный каскад?
4. Как определяют рабочую точку усилителя на нагрузочной линии?
5. Как осуществляется междукаскадные связи в схемах усилителей?
6. Что называют обратной связью и как она влияет на режим работы усилителя?
7. В чем отличие предварительного каскада усиления от оконечного каскада?
8. Чем отличается усилитель низкой частоты от усилителя высокой частоты?

Тема 5. Электронные генераторы и измерительные приборы
Общие сведения. Электронные генераторы синусоидальных колебаний с RC- и LC-связями. Генераторы прямоугольного напряжения. Мультивибраторы и триггеры. Генераторы пилообразного напряжения.

Устройство аналоговых (стрелочных) электронных вольтметров. Принцип действия электронного цифрового вольтметра; его основные узлы.

Электронный осциллограф (структурная схема, принцип действия, характеристики блоков и узлов). Электронно-лучевая трубка с устройствами отклонения и фокусировки луча. Примеры использования осциллографа в экспериментальных исследованиях различных процессов.

Литература, [2] (с. 76–91).

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные электронные измерительные приборы.
2. Каков принцип работы электронных генераторов синусоидальных колебаний?
3. Как устроен мультивибратор и для чего он применяется?
4. Объясните принцип работы триггера. Для чего применяется триггер?
5. Начертите структурную схему электронного осциллографа и поясните назначение его узлов.
6. Объясните устройство электронно-лучевой трубки с электростатическим и электромагнитным отклонением луча.

Тема 6. Интегральные схемы микроэлектроники

Общие сведения. Понятие о монолитных, пленочных, совмещенных и гибридных интегральных схемах. Компоненты интегральных схем. Маркировка интегральных схем. Применение интегральных схем.

Литература, [1] (с. 153–165), [2] (с. 17–39).

Вопросы для самопроверки

1. Как устроены интегральные схемы микроэлектроники?
2. Что понимают под пленочными и гибридными микросхемами?
3. Какие пассивные и активные элементы входят в микросхему?
4. Каковы основные преимущества применения интегральных микросхем?

Тема 7. Основы вычислительной и цифровой техники

Системы счисления и операции над числами. Структурная схема электронной и цифровой вычислительной машины; устройства ввода и вывода информации; запоминающие устройства; арифметическое устройство; устройство управления. Основные компоненты ЭЦВМ (логические элементы, сумматоры, регистры, счетчики импульсов). Принцип действия ЭЦВМ. Микропроцессоры.

Понятие о программировании. Технические характеристики некоторых ЭЦВМ; применение ЭЦВМ. Электронные аналоговые вычислительные машины, микропроцессорные устройства.

Литература, [1] (с. 583–710), [2] (с. 93–169).

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные узлы ЭЦВМ.
2. Что называют двоичной системой счисления, и где она применяется?
3. Какие основные логические элементы используются в ЭЦВМ?
4. Назовите области применения ЭЦВМ.
5. Приведите примеры арифметических действий над двоичными числами: сложения, вычитания, умножения, деления.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ 1

Самостоятельная работа 1 содержит один вопрос по теории и три задачи; на расчет выпрямителей, на составление электронной схемы из определенных элементов и на определение параметров транзисторов по их характеристикам.

Прежде чем приступить к решению задач самостоятельной работы, следует изучить методические указания к решению задач данной темы. В методических указаниях даются разъяснения, как следует отвечать на данный вопрос, разбираются типовые примеры с пояснением хода решения, что позволяет студентам составить правильный план при индивидуальном выполнении самостоятельной работы.

Указания к ответу на теоретический вопрос

Для правильного и качественного ответа следует изучить соответствующий материал из рекомендованной литературы. Ответ на вопрос должен быть конкретным с пояснением физической сущности работы того или иного устройства. При описании прибора или устройства следует обязательно пояснить свой ответ электрическими схемами, графиками и чертежами.

При изучении темы «Интегральные схемы микроэлектроники» студентам следует знать, что интегральная микросхема (ИМС) – устройство с высокой плотностью упаковки электрически связанных элементов (или элементов и компонентов), выполняющее определенную функцию обработки и преобразования электрических сигналов и рассматриваемое с точки зрения конструктивно-технологических и эксплуатационных требований как единое целое. Элемент, представляет собой часть ИМС (например, транзистор, диод, резистор и др.), выполненную неразрывно с кристаллом или подложкой, которую с точки зрения эксплуатационных требований, а также требований к испытаниям, упаковке и поставке нельзя рассматривать как самостоятельное изделие. В отличие от элемента компонент, являющийся частью ИМС, можно выделить как самостоятельное комплектующее изделие (например, бескорпусный транзистор в гибридной интегральной схеме).

В зависимости от технологии изготовления интегральные микросхемы подразделяют на полупроводниковые ИМС, пленочные ИМС и микросборки. Пленочные ИМС подразделяются в свою очередь на тонкопленочные и толстопленочные, обычно имеют в своем составе как элементы, так и компоненты и называются в этом случае гибридными ИМС.

Полупроводниковой интегральной схемой называют ИМС, в которой все активные и пассивные элементы и их соединения выполнены в виде сочетания неразъемно связанных $p-n$ переходов в одном исходном полупроводниковом кристалле. Полупроводниковый кристалл, в объеме или на поверхности которого с помощью планарной технологии формируются элементы микросхемы и контактные площадки, выполняет таким образом активную роль.

Гибридной интегральной микросхемой называют ИМС, содержащую диэлектрическое основание (подложку), все пассивные элементы на поверхности которой выполняются в виде однослойных или многослойных пленочных структур, соединенных неразрывными пленочными проводниками, а полупроводниковые приборы, в том числе ИМС и другие компоненты (миниатюрные керамические конденсаторы, индуктивности и др.), размещены на подложке в виде дискретных навесных деталей. Транзисторы и другие полупроводниковые приборы в пленочном исполнении не нашли, применения, так как получение в производственных условиях монокристаллических тонких пленок полупроводника с удовлетворительной структурой является очень сложной задачей.

На практике широко применяют ИМС, изготовленные с использованием как полупроводниковой, так и пленочной технологии. Поскольку каждый из этих технологических принципов имеет свои преимущества, то оба указанных типа ИМС взаимно дополняют друг друга, не конкурируя между собой. Например, бескорпусные полупроводниковые ИМС во многих случаях являются компонентами гибридных ИМС, что особенно характерно для микросборок.

По характеру выполняемых функций различают аналоговые и цифровые ИМС.

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

Цифровая интегральная схема предназначена для преобразования и обработки электрических, сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции (двоичный или другой цифровой код). Цифровые ИМС называют еще логическими ИМС.

Указания к решению задачи 1

Данная задача относится к расчету выпрямителей переменного тока, собранных на полупроводниковых диодах. Подобные схемы находят широкое применение в различных электронных устройствах и приборах. При решении задачи следует помнить, что основными параметрами полупроводниковых диодов является допустимый ток $I_{дон}$, на который рассчитан данный диод, и обратное напряжение $U_{обр}$, которое выдерживает диод без пробоя в непроводящий период.

Обычно при составлении реальной схемы выпрямителя задаются значением мощности потребителя P_d (Bm), получающего питание от данного выпрямителя, и выпрямленным напряжением U_d (B), при котором работает потребитель постоянного тока. Отсюда нетрудно определить ток потребителя $I_d = P_d / U_d$. Сравнивая ток потребителя с допустимым током диода $I_{дон}$, выбирают диоды для схемы выпрямителя. Следует учесть, что для однополупериодного выпрямителя ток через диод равен току потребителя, т. е. следует соблюдать условие $I_{дон} \geq I_d$. Для двухполупериодной и мостовой схем выпрямления ток через диод равен половине тока потребителя, т. е. следует соблюдать условие $I_{дон} \geq 0,5I_d$. Для трехфазного выпрямителя ток через диод составляет треть тока потребителя, следовательно, необходимо, что $I_{дон} \geq \frac{1}{3}I_d$.

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период U_b , также зависит от той схемы выпрямления, которая применяется в конкретном случае. Так, для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей $U_b = \pi U_d = 3,14U_d$, для мостового выпрямителя $U_b = \pi U_d / 2 = 1,57U_d$, а для трехфазного выпрямителя $U_b = 2,1U_d$. При выборе диода, следовательно, должно соблюдаться условие $U_{обр} \geq U_b$.

Рассмотрим примеры на составление схем выпрямителей.

Пример 1. Составить схему мостового выпрямителя, используя один из четырех диодов: Д218, Д222, КД202Н, Д215Б. Мощность потребителя $P_d = 300 Bm$, напряжение потребителя $U_d = 200 B$.

Решение.

1. Выписываем из табл. 12 параметры указанных диодов:

Тип диода	$I_{доп}, A$	$U_{обр}, B$	Тип диода	$I_{доп}, A$	$U_{обр}, B$
Д218	0,1	1000	КД202Н	1	500
Д222	0,4	600	Д215Б	2	200

2. Определяем ток потребителя:

$$I_d = P_d / U_d = 300 / 200 = 1,5 A.$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период для мостовой схемы выпрямителя:

$$U_b = 1,57U_d = 1,57 \cdot 200 = 314 B.$$

4. Выбираем диод из условий

$I_{доп} > 0,5I_d > 0,5 \cdot 1,5 > 0,75 A$, $U_{обр} > U_b > 314 B$. Этим условиям удовлетворяет диод КД202Н:

$$I_{доп} = 1,0 > 0,75 A; U_{обр} = 500 > 314 B.$$

Диоды Д218 и Д222 удовлетворяют напряжению, так как 1000 и 600 больше 314 В, но не подходят по допустимому току, так как 0,1 и 0,4 меньше 0,75 А. Диод 215Б, наоборот, подходит по допустимому току, так как $2 > 0,75 A$, но не подходит по обратному напряжению, так как $200 < 314 B$.

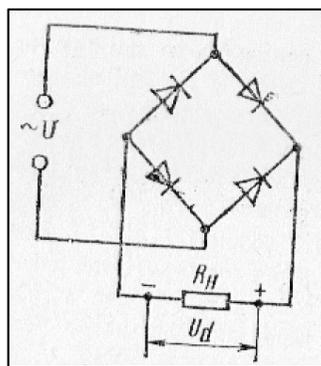


Рис. 1

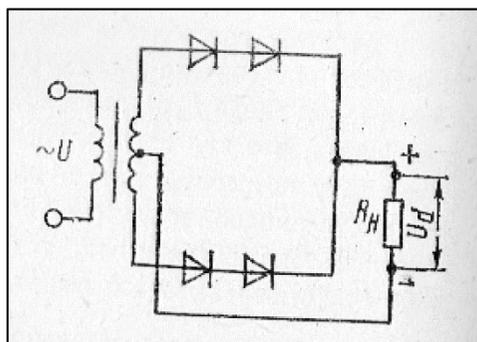


Рис. 2

5. Составляем схему мостового выпрямителя (рис. 1). В этой схеме каждый из диодов имеет параметры диода КД202Н: $I_{доп} = 1 A$; $U_{обр} = 500 B$.

Пример 2. Для питания постоянным током потребителя мощностью $P_d = 250 Bm$ при напряжении $U_d = 100 B$ необходимо собрать схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды типа Д243Б.

Решение.

1. Выписываем из табл. 12 параметры диода:

$$I_{доп} = 2 A; U_{обр} = 200 B.$$

2. Определяем ток потребителя:

$$I_d = P_d / U_d = 250 / 100 = 2,5 A.$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_b = 3,14U_d = 3,14 \cdot 100 = 314 B.$$

4. Проверяем диод по параметрам $I_{доп}$ и $U_{обр}$. Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям $U_{обр} > U_b$ и $I_{доп} > 0,5I_d$. В данном случае первое условие не соблюдается, так как $200 < 314$, т. е. $U_{обр} < U_b$. Второе условие выполняется, так как $0,5I_d = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25 < 2 A$.

5. Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие $U_{обр} > U_b$, необходимо два диода соединить последовательно, тогда $U_{обр} = 200 \cdot 2 = 400 > 314 B$.

Полная схема выпрямителя приведена на рис. 2.

Пример 3. Для питания постоянным током потребителя мощностью $P_d = 300 Bm$ при напряжении $U_d = 20 B$ необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, используя имеющиеся стандартные диоды Д242А.

Решение:

1. Выписываем из табл. 12 параметры диода:

$$I_{доп} = 10 A; U_{обр} = 100 B.$$

2. Определяем ток потребителя:

$$I_d = P_d / U_d = 300 / 20 = 15 A.$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_b = 3,14U_d = 3,14 \cdot 20 = 63 \text{ В.}$$

Проверяем диод по параметрам $I_{дон}$ и $U_{обр}$. Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям $U_{обр} > U_b$ и $I_{дон} > 0,5I_d$. В данном случае второе условие не соблюдается, так как $10 < 15 \text{ А}$, т. е. $I_{дон} < I_d$. Первое условие выполняется, так как $100 < 63 \text{ В}$.

Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие $I_{дон} > I_d$, необходимо два диода соединить параллельно, тогда $I_{дон} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ А}$; $20 > 15 \text{ А}$.

Полная схема выпрямителя приведена на рис. 3.

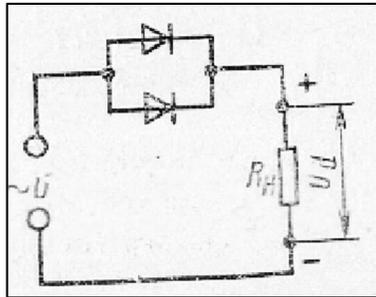


Рис. 3

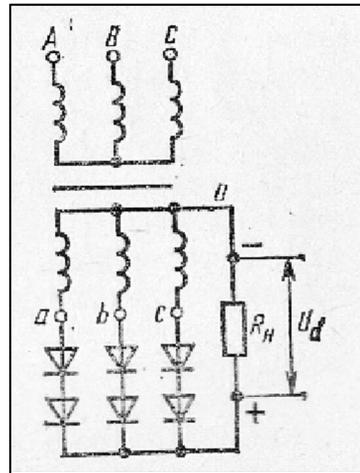


Рис. 4

Пример 4. Для составления схемы трехфазного выпрямителя на трех диодах Д243. Выпрямитель должен питать потребитель с $U_d = 150 \text{ В}$. Определить допустимую мощность потребителя и пояснить порядок составления схемы выпрямителя.

Решение.

1. Выписываем из табл. 12 параметры диода:

$$I_{дон} = 5 \text{ А}; U_{обр} = 200 \text{ В.}$$

2. Определяем допустимую мощность потребителя. Для трехфазного выпрямителя $I_{дон} > \frac{1}{3}I_d$, т. е. $P_d = 3U_dI_{дон} = 3 \cdot 150 \cdot 5 = 2250 \text{ Вт}$.

Следовательно для данного выпрямителя $P_d = 2250 \text{ Вт}$.

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_b = 2,1U_d = 2,1 \cdot 150 = 315 \text{ В.}$$

4. Составляем схему выпрямителя. Проверяем диод по условию $U_{обр} > U_b$. В данном случае это условие не выполняется, так как $200 < 315 \text{ В}$. Чтобы условие выполнялось, необходимо в каждом плече два диода соединить последовательно, тогда $U_{обр} = 200 \cdot 2 = 400 \text{ В}$, $400 > 315 \text{ В}$.

Полная схема выпрямителя приведена на рис. 4.

Указания к решению задачи 2

В этой задаче надо составить схему из элементов, указанных на рисунке. Для правильного составления схемы необходимо найти в рекомендованной литературе раздел, к которому схема относится, изучить принцип работы данного устройства. Все схемы следует вычерчивать аккуратно, примерно на половине тетрадной страницы в соответствии с действующими ГОСТами на условные обозначения элементов электрических схем. После вычерчивания схемы надо объяснить назначение каждого элемента и ответить на вопрос своего варианта.

Рассмотрим пример на составление электронной схемы.

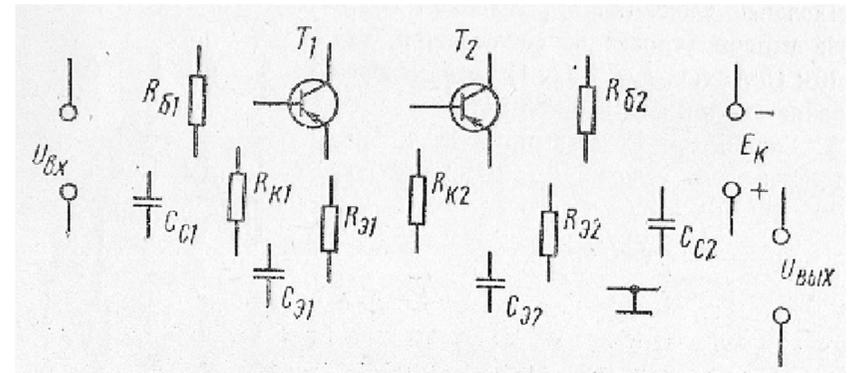


Рис. 5

Пример. Составить схему двухкаскадного усилителя с резистивно-емкостной связью между каскадами на биполярных транзисторах из элементов, указанных на рис. 5. Объяснить назначение элементов схемы. Дать определение коэффициента усиления по напряжению каждого каскада и общего коэффициента усиления схемы. Как изменится работа схемы, если произойдет обрыв резистора $R_{\delta 2}$?

Решение.

Схема усилителя, представленная на рис. 6, двухкаскадная, т. е. входное напряжение усиливается в два этапа: сначала транзистором VT_1 , а затем VT_2 .

Оба транзистора включены по схеме с общим эмиттером. В каждом каскаде эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей, а резисторы $R_{\kappa 1}$ и $R_{\kappa 2}$, с помощью которых создается выходное напряжение, включаются в коллекторные цепи транзисторов.

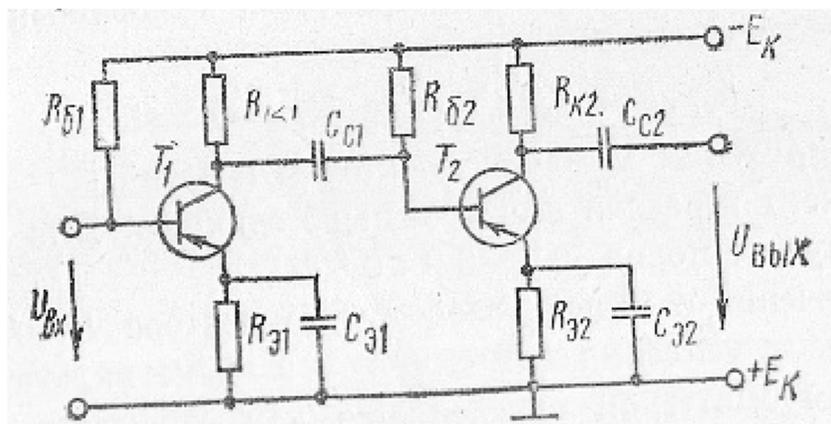


Рис. 6

Полярность источника питания E_K по отношению к коллекторной цепи зависит от типа транзистора. На рис. 6 полярность источника питания соответствует усилительным каскадам с транзисторами типа $p - n - p$. Резисторы $R_{\delta 1}$ и $R_{\delta 2}$, включены в цепи базы транзисторов, обеспечивают их работу в режиме покоя, т. е. в отсутствии входного сигнала. Благодаря этим резисторам можно получить оптимальные значения тока базы $I_{\delta 0}$ и напряжение между базой и эмиттером $U_{\delta 0}$, соответствующее середине

участка нагрузочной характеристики. Конденсатор C_{c1} не пропускает постоянную составляющую коллекторного напряжения транзистора VT_1 в базовую цепь транзистора VT_2 . Конденсатор связи C_{c2} не пропускает постоянную составляющую коллекторного напряжения транзистора VT_2 в нагрузку на выходе второго каскада. В каждом усилительном каскаде применена эмиттерная температурная стабилизация, обеспечиваемая резисторами $R_{\delta 1}$ и $R_{\delta 2}$, и конденсаторами $C_{\delta 1}$ и $C_{\delta 2}$.

1. При обрыве резистора $R_{\delta 2}$ в цепи базы транзистора VT_2 не будет обеспечено заданное напряжение смещения $U_{\delta 0}$, рабочая точка на нагрузочной характеристике сместится и усилитель будет работать с искажениями.

2. Коэффициентом усиления одного каскада по напряжению называют отношение напряжения на выходе к напряжению на входе $K_V = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$. Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов $K = K_{V1} K_{V2}$.

Указания к решению задачи 3

Эта задача относится к расчету параметров и характеристик полупроводниковых транзисторов.

При включении транзистора с общим эмиттером управляющим является ток базы I_{δ} , а при включении с общей базой – ток эмиттера I_{ϵ} .

В схеме с общей базой связь между приращениями тока эмиттера ΔI_{ϵ} и тока коллектора ΔI_{κ} характеризуется коэффициентом передачи тока $h_{21\delta}$:

$$h_{21\delta} = \Delta I_{\kappa} / \Delta I_{\epsilon} \text{ при } U_{\kappa\delta} = \text{const},$$

где $U_{\kappa\delta}$ – напряжение между коллектором и базой.

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

При включении усилителя по току $h_{21\epsilon}$, в схеме включения транзистора с общим эмиттером определяется как отношение приращения тока

коллектора ΔI_k к приращению тока базы ΔI_b . Для современных транзисторов h_{21b} имеет значение 20–200.

$$h_{21b} = \Delta I_k / \Delta I_b \text{ при } U_{кэ} = const,$$

где $U_{кэ}$ – напряжение между коллектором и эмиттером.

Ток коллектора при включении с общим эмиттером $I_k = h_{21b} I_b$. Между коэффициентами h_{21b} и h_{21c} существует следующая связь.

$$h_{21c} = h_{21b} / (1 + h_{21b}) \text{ или } h_{21b} = h_{21c} / (1 - h_{21c}).$$

Мощность, рассеивания на коллекторе транзистора, определяем по формуле $P_k = U_{кэ} I_k$.

Рассмотрим примеры на расчет параметров транзисторов.

Пример 1. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент усиления h_{21b} по его входной характеристике (см. рис. 32) и выходным характеристикам (см. рис. 33), если $U_{бэ} = 0,4 В$; $U_{кэ} = 25 В$. Подсчитать также коэффициент передачи по току h_{21c} и мощность P_k на коллекторе.

Решение.

1. По входной характеристике определяем при $U_{бэ} = 0,4 В$ ток базы: $I_b = 500 мкА$.

2. По выходным характеристикам для $U_{кэ} = 25 В$ и $I_b = 500 мкА$ определяем ток коллектора: $I_k = 36 мА$.

3. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим:

$$\Delta I_k = AB = I_{k1} - I_{k2} = 36 - 28 = 8 мА;$$

$$\Delta I_b = AB = I_{b1} - I_{b2} = 500 - 400 = 100 мкА = 0,1 мА.$$

4. Определяем коэффициент усиления:

$$h_{21b} = \Delta I_k / \Delta I_b = 8 / 0,1 = 80.$$

5. Определяем коэффициент передачи по току

$$h_{21c} = h_{21b} / (1 + h_{21b}) = 80 / (80 + 1) = 0,98.$$

6. Определяем мощность на коллекторе

$$P_k = U_{кэ} I_k = 25 \cdot 36 = 900 мВт = 0,9 Вт.$$

Пример 2. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, найти 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 $R_k = 0,8 кОм$. Входные и выходные характеристики транзистора приведены на рис. 34 и 35.

Перед решением этого примера приведем некоторые пояснения. Для коллекторной цепи усилительного каскада в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно написать уравнение

$$E_k = U_{кэ} + I_k R_k,$$

т. е. сумма напряжений на резисторе R_k и коллекторного напряжения $U_{кэ}$, всегда равна E_k – э.д.с. 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 этого на семействе выходных характеристик необходимо провести из точки E_k на оси абсцисс вольт-амперную характеристику резистора R_k , удовлетворяющую уравнению $U_{кэ} = E_k - I_k R_k$.

Эту характеристику удобно строить по двум точкам: $U_{кэ} = E_k$ при $I_k = 0$ на оси абсцисс и $I_k = E_k / R_k$ при $U_{кэ} = 0$ на оси ординат.

Построенную таким образом вольт-амперную характеристику коллекторного резистора R_k называют линией нагрузки. Точка ее пересечения с коллекторными выходными характеристиками дают графическое решение уравнения для данного резистора R_k и различных значений тока базы I_b .

Решение.

1. Откладываем на оси абсцисс точку $U_{кэ} = E_k = 20 В$, на оси ординат – точку, соответствующую $I_k = E_k / R_k = 20 / 800 = 0,025 А = 25 мА$.

Здесь $R_k = 0,8 кОм = 800 Ом$.

2. Соединяем эти точки прямой и получаем линию нагрузки.

3. Находим на входной характеристике для $U_{бэ} = 0,3 В$ ток базы $I_b = 250 мкА$.

4. Находим на выходных характеристиках точку А при пересечении линии нагрузки с характеристикой, соответствующей $I_{\beta} = 250 \text{ мкА}$.

5. Определяем для точки А ток коллектора $I_{\kappa} = 17 \text{ мА}$ и напряжение $U_{\kappa\beta} = 7 \text{ В}$.

Пример 3. Мощность на коллекторе транзистора $P_{\kappa} = 6 \text{ Вт}$, напряжение на коллекторе $U_{\kappa\beta} = 30 \text{ В}$ напряжение питания $E_{\kappa} = 40 \text{ В}$. Используя выходные характеристики рис. 17, определить ток базы I_{β} , ток коллектора I_{κ} , коэффициент усиления $h_{21\beta}$ и сопротивление нагрузки R_{κ} .

Решение.

1. Определяем ток коллектора I_{κ} :

$$I_{\kappa} = P_{\kappa} / U_{\kappa\beta} = 6 / 30 = 0,2 \text{ А}.$$

2. Находим на выходных характеристиках точку А, соответствующую $I_{\kappa} = 0,2 \text{ А}$ и $U_{\kappa\beta} = 30 \text{ В}$. Из рисунка видно, что точка А лежит на характеристике для $I_{\beta} = 2 \text{ мА}$.

3. Соединяем прямой точку А и точку на оси абсцисс, соответствующую $E_{\kappa} = 40 \text{ В}$. На пересечении прямой с осью ординат получим точку $I_{\kappa1} = 0,8 \text{ А}$.

4. Определяем R_{κ} :

$$R_{\kappa} = E_{\kappa} / I_{\kappa1} = 40 / 0,8 = 50 \text{ Ом}.$$

5. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим:

$$\Delta I_{\kappa} = AB = 0,4 - 0,2 = 0,2 \text{ А} = 200 \text{ мА};$$

$$\Delta I_{\beta} = AB = 4 - 2 = 2 \text{ мА}.$$

6. Определяем коэффициент усиления транзистора:

$$h_{21\beta} = \Delta I_{\kappa} / \Delta I_{\beta} = 200 / 2 = 100.$$

Примечание. Обратите внимание, что в таблицах вариантов контрольной работы не указана размерность токов базы I_{β} и токов коллектора I_{κ} , так как на рис. 16–35, где изображены входные и выходные характеристики транзисторов, эти точки имеют различную размерность: амперы – А, миллиамперы – мА и микроамперы – мкА.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 1

1. Ответить на вопрос своего варианта из табл. 1.

Таблица 1

Номер варианта	Вопрос
1	Привести классификацию полупроводниковых приборов и дать им краткую характеристику
2	Объяснить смысл электронной и дырочной электропроводности полупроводников. Рассказать о влиянии примесей на их проводимость
3	Объяснить физический смысл электронно-дырочного (p – n) перехода полупроводников и его одностороннюю проводимость
4	Объяснить устройство полупроводниковых диодов и принцип выпрямления ими переменного тока
5	Начертить вольт-амперную характеристику полупроводникового диода и пояснить его основные параметры, показав их на характеристике
6	Объяснить устройство полупроводниковых транзисторов, назначение электродов, принцип работы и применение
7	Начертить схему и объяснить принцип работы усилителя на транзисторе по схеме с общим эмиттером
8	Начертить схему и объяснить принцип работы усилителя на транзисторе по схеме с общей базой
9	Описать режим работы транзистора в усилительном каскаде по его входным и выходным характеристикам. Каковы правила выбора рабочей точки?
10	Объяснить устройство полупроводниковых интегральных схем микроэлектроники.
11	Объяснить устройство гибридных интегральных схем микроэлектроники. В чем их преимущество? Каково их назначение?
12	Привести краткую классификацию интегральных схем микроэлектроники. каково их применение в электронных приборах?

13	Начертить структурную схему электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Перечислить ее основные узлы, указать их назначение
14	Что называют двоичной системой счисления? Как выполняются операции сложения и вычитания в двоичной системе и какие устройства их осуществляют в ЭВМ?
15	Что называют программированием при работе электронно-вычислительной машины
16	Описать устройство ввода и вывода информации электронно-вычислительной машины
17	Описать устройство и принцип действия полупроводниковых фотоэлементов: фотодиодов и фототранзисторов
18	Объяснить назначение и принцип действия обратной связи в усилителях
19	Начертить схему для исследования работы выпрямителей с использованием электронного осциллографа и объяснить порядок выполнения работы
20	Начертить структурную схему электронного осциллографа, объяснить его назначение, принцип работы. Каково его назначение?
21	Объяснить назначение, устройство и принцип работы стабилизаторов напряжения на полупроводниковом диоде и полупроводниковом стабилитроне
22	Объяснить правила выбора рабочей точки на линии нагрузки при работе транзистора по схеме с общим эмиттером в усилительном каскаде
23	Каково применение фотоэлектронных приборов в промышленности. Привести одну–две реальные схемы на этих приборах и пояснить их принцип действия
24	Объяснить работу транзистора в ключевом режиме как бесконтактного переключающего устройства
25	Начертить и объяснить структурную схему электронного усилителя. Указать его основные свойства и характеристики
26	Объяснить понятие усилительного каскада. Каковы отличия предварительных каскадов усиления от оконечных каскадов? Указать их назначение
27	Объяснить междукаскадные связи в электронных усилителях. Как влияет обратная связь на стабилизацию работы усилителя?

28	Перечислить основные типы фотоэлементов и пояснить их характеристики: световую, вольт-амперную и спектральную. Назвать свойства фотоэлементов, как расшифровать их маркировку?
29	Какие виды запоминающих устройств применяются в ЭВМ? Пояснить их принцип действия
30	Начертить схему, объяснить устройство и принцип действия электронно-лучевой трубки с магнитным отклонением луча
31	Дать определение частотной характеристики усилителя. Начертить схему и пояснить порядок проведения работы при снятии частотной характеристики усилителя низкой частоты
32	Объяснить устройство, принцип действия и схему включения тиристора. Пояснить основные параметры тиристоров
33	Объяснить процесс отклонения электронного луча электрическим полем в электронно-лучевой трубке. Как маркируют трубки?
34	Привести классификацию и объяснить назначение выпрямителей переменного тока. Рассказать о составных частях схемы выпрямителя
35	Объяснить назначение и устройство схемы температурной стабилизации при работе транзисторов в усилительном режиме
36	Описать режимы работы усилителей электрических сигналов: А, В и С. Как выбирают рабочую точку усилителя?
37	Привести классификацию фотоэлектронных приборов. Пояснить смысл внешнего и внутреннего фотоэффекта
38	Описать устройство фотоэлементов с внешним фотоэффектом, принцип действия. Привести их характеристики. Указать область применения
39	Начертить схему и объяснить устройство и принцип действия фотоэлектронного умножителя
40	Описать основные параметры полупроводникового диода и транзистора. Как их определить по вольт-амперным характеристикам
41	Объяснить устройство фотоэлемента с внутренним фотоэффектом (фоторезистора) и принцип его работы. Указать область применения

42	Начертить схему фотореле с фотоэлементом с питанием от источника постоянного тока. Объяснить принцип работы фотореле. Указать область его применения
43	Начертить схему фотореле на фоторезисторах. Объяснить принцип работы и указать область применения
44	Начертить схему триггера и сумматора и пояснить, как с их помощью производится арифметические операции ЭВМ
45	Привести схему и объяснить принцип работы управляемого выпрямителя на тиристорах. Указать преимущества этой схемы
46	Начертить схему и объяснить устройство и принцип работы электронно-лучевой трубки с электростатическим отклонением луча
47	Начертить схему электронного генератора типа RC на триоде, объяснить принцип работы генератора, указать назначение элементов
48	Объяснить устройство и принцип работы двоичного счетчика в ЭВМ
49	Объяснить устройство и принцип работы сумматора арифметического устройства ЭВМ
50	Привести классификацию и типы электронных усилителей. Указать назначение усилителей в электронных устройствах
51	Начертить три возможные схемы включения транзистора: с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором. В чем отличие в их работе?
52	Начертить логические схемы И, ИЛИ, НЕ на интегральных микросхемах и объяснить принцип их действия
53	Объяснить принцип действия и привести основные параметры электронных реле. Пояснить отличия электронных реле от электромеханических
54	Объяснить назначение и указать типы фильтров в схемах выпрямителей переменного тока. Привести графики выпрямительного напряжения с фильтрами и без них
55	Объяснить устройство точечных и плоскостных кремниевых диодов. Указать отличия в их характеристиках
56	Начертить условные обозначения и дать краткую характеристику фотоэлектронным приборам: фототранзисторам, фоторезисторам и фотодиодам. Указать области их применения

57	Описать строение полупроводников, привести их электрические свойства, пояснить физический смысл происхождения электрического тока в полупроводниках
58	Объяснить физический процесс движения электронов в электрическом и магнитном полях
59	Рассказать о значении электронных приборов в автоматизации производства и повышении качества и производительности труда. Привести примеры

Задача 1 (вариант 1–10). Составить схему мостового выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 12. Мощность потребителя $P_d (Bm)$ с напряжением питания $U_d (B)$. Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные своего варианта взять из табл. 2.

Таблица 2

Номер варианта	Тип диода	$P_d (Bm)$	$U_d (B)$	Номер варианта	Тип диода	$P_d (Bm)$	$U_d (B)$
1	Д7Г	80	100	6	Д207	30	100
2	Д224	200	50	7	Д302	250	150
3	Д217	150	500	8	Д243Б	300	200
4	Д305	300	20	9	Д221	250	200
5	Д214	600	80	10	Д233Б	500	400

Задача 1 (вариант 11–20). Трехфазный выпрямитель, собранный на трех диодах, должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя $P_d (Bm)$ при напряжении $U_d (B)$. Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 12 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 3.

Таблица 3

Номер варианта	Тип диода	P_d (Вт)	U_d (В)	Номер варианта	Тип диода	P_d (Вт)	U_d (В)
11	Д224	90	30	16	Д305	100	40
	Д207				Д302		
	Д214Б				Д222		
12	Д215А	100	400	17	Д243А	600	200
	Д234Б				Д233Б		
	Д218				Д217		
13	Д244А	60	80	18	КД202А	150	150
	Д7Г				Д215Б		
	Д210				Д205		
14	Д232	900	150	19	Д231Б	400	80
	КД202Н				Д242А		
	Д222				Д221		
15	Д304	200	40	20	Д242	500	20
	Д244				Д226А		
	Д226				Д224А		

Задача 1 (варианты 21–30). Составить схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 12. Мощность потребителя P_d , (Вт) с напряжением питания U_d , (В). Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 4.

Таблица 4

Номер варианта	Тип диода	P_d (Вт)	U_d (В)	Номер варианта	Тип диода	P_d (Вт)	U_d (В)
21	Д207	20	60	26	Д209	30	100
22	Д242Б	180	30	27	Д305	150	20
23	Д222	240	180	28	Д232	1000	200
24	Д303	400	80	29	КД202А	120	15
25	Д214А	800	50	30	Д226А	80	150

Задача 1 (варианты 31–40). Однополупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя P_d , (Вт) при напряжении U_d , (В). Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 12 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 5.

Таблица 5

Номер варианта	Тип диода	P_d (Вт)	U_d (В)	Номер варианта	Тип диода	P_d (Вт)	U_d (В)
31	Д242Б	50	10	36	Д211	30	20
	Д244А				Д226А		
	Д221				Д304		
32	Д209	100	40	37	Д217	20	250
	Д303				Д222		
	Д7Г				Д243Б		
33	Д224Б	20	80	38	Д214А	60	80
	Д302				Д243Б		
	Д205				КД202Н		
34	Д214	70	100	39	Д244	40	60
	КД202Н				Д214Б		
	Д215Б				Д302		
35	Д243	150	50	40	Д210	30	120
	Д214А				Д221		
	Д226				Д242		

Задача 1 (вариант 41–50) составить схему трехфазного выпрямителя на трех диодах, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 12. Мощность потребителя P_d , (Вт) с напряжением U_d , (В). Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 6.

Таблица 6

Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$	Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$
41	Д210	60	300	46	Д205	300	300
42	Д303	300	100	47	Д224А	600	40
43	Д214Б	400	40	48	Д222	400	200
44	Д242	800	80	49	Д218	200	400
45	Д244	500	50	50	Д243Б	600	150

Задача 1 (вариант 51–60) мостовой выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя $P_d, (Вт)$ при напряжении питания $U_d, (В)$. Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 12 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 7.

Таблица 7

Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$	Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$
51	Д218	150	300	56	Д214	300	40
	Д222						
	Д232Б						
52	Д221	100	40	57	Д205	100	150
	Д214Б						
	Д244						
53	Д7Г	50	100	58	Д243А	40	250
	Д209						
	Д304						
54	Д242Б	120	20	59	Д214А	500	100
	Д224						
	Д226						
55	Д215	700	50	60	Д303	150	20
	Д242А						
	Д210						

Задача 1 (варианты 61–70). Составить схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 12 определить допустимую мощность потребителя,

если значения выпрямленного напряжения $U_d, (В)$. Данные для своего варианта взять из табл. 8.

Таблица 8

Номер варианта	Тип диода	$U_d, (В)$	Номер варианта	Тип диода	$U_d, (В)$
61	Д218	300	66	Д233Б	150
62	Д7Г	80	67	Д214Б	50
63	Д244	20	68	Д244А	30
64	Д226	200	69	Д205	100
65	Д222	160	70	Д215	120

Задача 1 (варианты 71–80). Двухполупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя $P_d, (Вт)$ при напряжении $U_d, (В)$. Следует выбрать один из трех типов полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в табл. 12 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из табл. 9.

Таблица 9

Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$	Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$
71	Д244Б	150	20	76	Д243А	400	80
	Д214						
	Д243Б						
72	Д218	30	50	77	Д224А	200	30
	Д221						
	Д214А						
73	Д302	60	40	78	КД202Н	300	60
	Д205						
	Д244Б						
74	Д242А	150	50	79	Д224	70	20
	Д222						
	Д215Б						
75	Д7Г	20	150	80	Д215А	800	120
	Д217						
	Д242Б						

Задача 1 (вариант 81–90). Составить схему однополупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 12. Мощность потребителя $P_d, (Вт)$ с напряжением $U_d, (В)$. Пояснить порядок составления схемы для диодов с приведенными параметрами. Данные для своего варианта взять из табл. 10.

Таблица 10

Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$	Номер варианта	Тип диода	$P_d, (Вт)$	$U_d, (В)$
81	Д217	40	250	86	Д233	300	200
82	Д215Б	150	50	87	Д209	20	100
83	Д304	100	50	88	Д244А	200	30
84	Д232Б	200	200	89	Д226	30	150
85	Д205	60	100	90	КД202А	40	10

Задача 1 (варианты 91–100). Составить схему мостового выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в табл. 12. Определить допустимую мощность потребителя, если напряжение $U_d, (В)$.

Данные для своего варианта взять из табл. 11.

Таблица 11

Номер варианта	Тип диода	$U_d, (В)$	Номер варианта	Тип диода	$U_d, (В)$
91	Д214А	80	96	Д232	300
92	Д244Б	50	97	Д215	100
93	Д215Б	110	98	Д233Б	200
94	Д242Б	50	99	Д7Г	200
95	Д224	40	100	Д211	300

Таблица 12

Технические данные полупроводниковых диодов

Тип диода	$I_{дон}, А$	$U_{обр}, В$	Тип диода	$I_{дон}, А$	$U_{обр}, В$
Д7Г	0,3	200	Д231	10	300
Д205	0,34	400	Д231Б	5	300
Д207	0,1	200	Д232	10	400
Д209	0,1	400	Д232Б	5	400

Д210	0,1	500	Д233	10	500
Д211	0,1	600	Д233Б	5	500
Д214	5	100	Д234Б	5	600
Д214А	10	100	Д242	5	100
Д214Б	2	100	Д242А	10	100
Д215	5	200	Д242Б	2	100
Д215А	10	200	Д243	5	200
Д215Б	2	200	Д243А	10	200
Д217	0,1	800	Д243Б	2	200
Д218	0,1	1000	Д244	5	50
Д221	0,4	400	Д244А	10	50
Д222	0,4	600	Д244Б	2	50
Д224	5	50	Д302	1	200
Д224А	10	50	Д303	3	150
Д224Б	2	50	Д304	3	100
Д226	0,3	400	Д305	6	50
Д226А	0,3	300	КД202А	3	50
			КД202Н	1	500

Задача 2 (вариант 1–10). Составить схему фотоэлектронного реле из элементов, указанных на рис. 7. Указать назначение элементов схемы ответить на вопрос своего варианта из табл. 13.

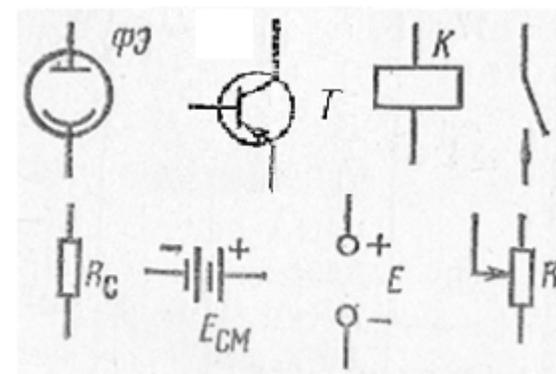


Рис. 7

Таблица 13

Номер варианта	Вопрос
1	Объяснить принцип работы данной схемы
2	Сделать рисунок фотоэлемента и объяснить его устройство
3	Как производится настройка схемы при затемненном фотоэлементе?
4	Какие точки схемы и какие приборы надо включить для измерения коллекторного тока и коллекторного напряжения?
5	Объяснить физический смысл внешнего фотоэффекта, который используется при работе фотоэлемента
6	Какие неисправности возможны в схеме, если при освещении фотоэлемента не произойдет срабатывание реле?
7	Привести примеры практического использования фотоэлектронных реле, в том числе данной схемы
8	Как будет работать данная схема, если фотоэлемент постоянно освещен?
9	Что называют световой и вольт-амперной характеристикой фотоэлемента?
10	Как изменяется работа схемы, если движок реостата R_1 передвинуть сначала в крайнее левое, а затем в крайнее правое положение?

Задача 2 (вариант 11–20). Составить структурную схему электронного осциллографа из элементов, указанных на рис. 8. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 14.

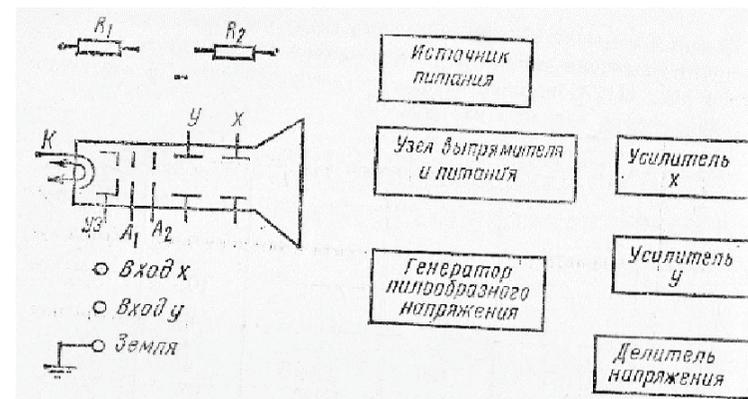


Рис. 8

Таблица 14

Номер варианта	Вопрос
11	Объяснить устройство электронно-лучевой трубки, примененной в осциллографе
12	Как осуществляется изменение яркости и фокусировка электронного луча на экране трубки?
13	Для чего в электронно-лучевой трубке применяется вертикальное и горизонтальное отклонение луча?
14	Какие типы электронно-лучевых трубок используются в осциллографах? Привести примеры и дать расшифровку обозначения (маркировки) трубок
15	Что называют чувствительностью электронно-лучевой трубки и как с помощью осциллографа определить измеряемое напряжение?
16	Как с помощью генератора пилообразного напряжения осуществляется развертка электронного луча?
17	Объяснить устройство электронного прожектора трубки
18	Объяснить различия между электронно-лучевой трубкой с электростатическим и магнитным отклонением луча
19	Указать область применения осциллографа. Какие процессы наблюдают на экране трубки и для каких целей?
20	Начертить кривую исследуемого напряжения, наблюдаемого на экране осциллографа, и напряжение развертки и пояснить их

Задача 2 (вариант 21–30). Составить схему оконечного трансформаторного усилителя мощностью на транзисторе из элементов, указанных на рис. 9. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 15.

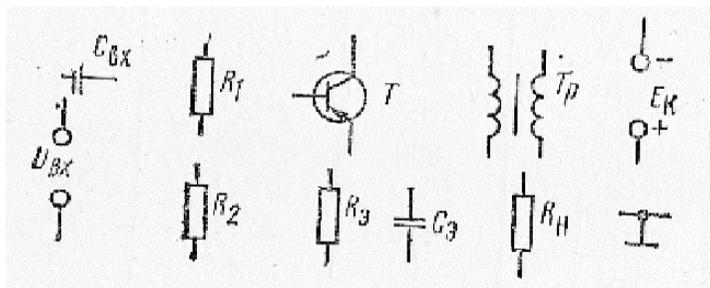


Рис. 9

Таблица 15

Номер варианта	Вопрос
21	Написать формулу коэффициента усиления и объяснить, как его определить для данной схемы
22	В чем отличие данного усилителя от аналогичного усилителя, собранного на электронной лампе-триоде?
23	Начертить выходные характеристики транзистора и объяснить, как происходит усиление мощности в режиме класса А
24	Почему данный усилитель называют усилителем мощности?
25	В чем отличие трансформаторного усилителя от усилителя на сопротивлениях?
26	Какие электрические устройства могут быть включены на выходе данного усилителя как сопротивление нагрузки R_n ?
27	В каких электронных устройствах находят применение усилители данного типа?
28	В какие точки схемы и какие приборы надо включить, чтобы определить по ним коэффициент усиления?
29	Как изменится работа схемы, если от базы транзистора отсоединить резистора R_1 ?
30	Чем данная схема отличается от промежуточного трансформаторного усилителя напряжения?

Задача 2 (варианты 31–40). Составить схему симметричного полупроводникового мультивибратора из элементов, указанных на рис. 10. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 16.

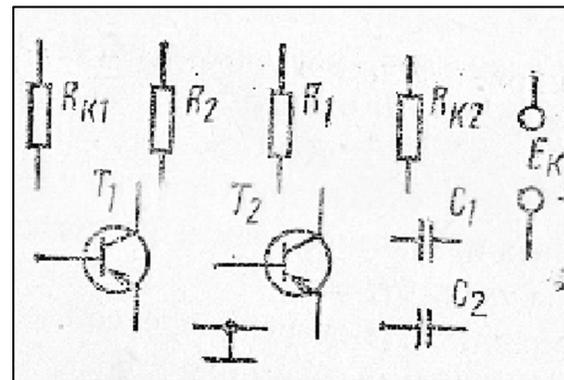


Рис. 10

Таблица 16

Номер варианта	Вопрос
31	Дать определение мультивибратору и объяснить принцип его действия
32	Почему данный мультивибратор называют симметричным?
33	В чем преимущества полупроводниковых мультивибраторов перед ламповыми?
34	Почему при работе мультивибратора происходит поочередное закрытие и открытие транзисторов T_1 и T_2 ?
35	Каким образом можно регулировать частоту срабатывания мультивибратора?
36	Почему мультивибратор называют генератором импульсов? Начертить примерную форму импульсов напряжения, которые вырабатывает мультивибратор
37	Как действуют цепи обратной связи в схеме мультивибратора?
38	Какой электронный прибор и каким образом можно использовать для настройки и контроля работы мультивибратора?
39	Как изменится работа схемы, если емкость конденсаторов C_1 и C_2 уменьшится в два раза?
40	Как конденсатор C влияет на работу транзистора T ?

Задача 2 (варианты 41–50). Составить схему триггера из элементов, указанных на рис. 11. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 17.

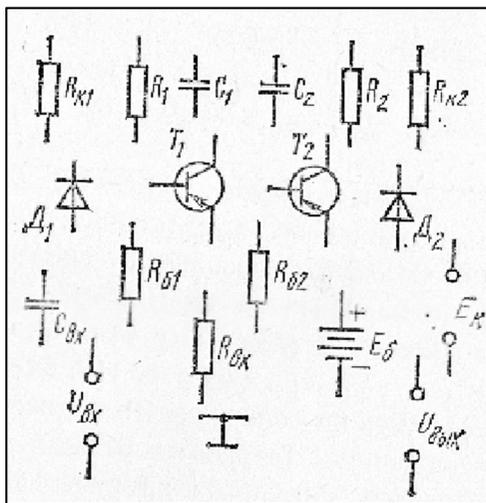


Рис. 11

Таблица 17

Номер варианта	Вопрос
41	Дать определение триггеру и объяснить принцип его действия
42	В каких электронных устройствах и для чего применяется триггеры?
43	Как выполняется перевод триггера из одного устойчивого состояния в другое?
44	Начертить примерную форму импульсов напряжения, которые вырабатывает триггер, и пояснить по ним его работу
45	В чем преимущества триггера на транзисторах перед триггерами на электронных лампах?
46	Какая обратная связь применена на работе триггера и как она влияет на его работу?
47	Почему триггер применяется как ячейка запоминающего устройства ЭВМ?
48	Как осуществляется подача запускающего импульса для работы триггера?
49	Каким образом можно изменить скорость перехода триггера из одного устойчивого состояния в другое?
50	Почему триггер называют бесконтактным электронным реле?

Задача 2 (варианты 51–60). Составить схему реле времени из элементов, указанных на рис. 12. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 18.

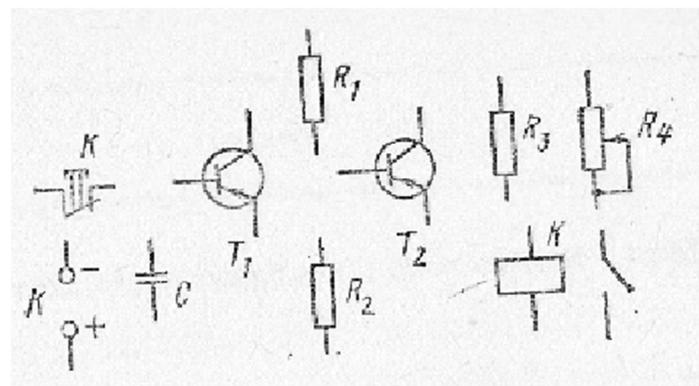


Рис. 12

Таблица 18

Номер варианта	Вопрос
51	Указать возможное применение реле времени в электронных устройствах автоматики
52	Написать уравнение изменения напряжения на конденсаторе и пояснить, как по нему определить время срабатывания реле
53	Каким образом можно регулировать выдержку времени при работе схемы?
54	Объяснить процесс зарядки и разрядки конденсатора при работе реле
55	Какие неисправности возможны в схеме, если после размыкания ключа К после требуемой выдержки времени не происходит срабатывание реле?
56	Как изменится работа схемы, если увеличить сопротивление R_4 ?
57	Как изменится работа схемы, если будет пробит конденсатор С?
58	В какие точки схемы и какие приборы надо включить для определения напряжения на конденсаторе и тока срабатывания реле?

59	Как изменится работа схемы, если параллельно конденсатору С подсоединить конденсатор такой же емкости?
60	Какие электронные элементы питаются от источника напряжения E?

Задача 2 (варианты 61–70). Составить схему двухтактного усилителя мощности из элементов, указанных на рис. 13. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 19.

Таблица 19

Номер варианта	Вопрос
61	Почему данный усилитель называют усилителем мощности?
62	Объяснить по выходным характеристикам транзистора работу данного усилителя в режиме класса А
63	В чем преимущества и недостатки двухтактного усилителя мощности по сравнению с усилителями других типов?
64	В чем отличия данной схемы от однотактного усилителя мощности с выходным трансформатором?
65	Почему в данной схеме усилителя применены два трансформатора со средней точкой?
66	Объяснить работу данной схемы усилителя в режиме класса В
67	В чем отличия данной схемы от схемы аналогичного усилителя, собранного на электронных лампах-триодах?
68	Написать формулу коэффициента усиления и объяснить, как его определить для данной схемы
69	В какие точки схемы и какие приборы надо включить, чтобы определить по ним коэффициент усиления?
70	Чем отличается бестрансформаторный двухтактный усилитель мощности на транзисторах от данной схемы?

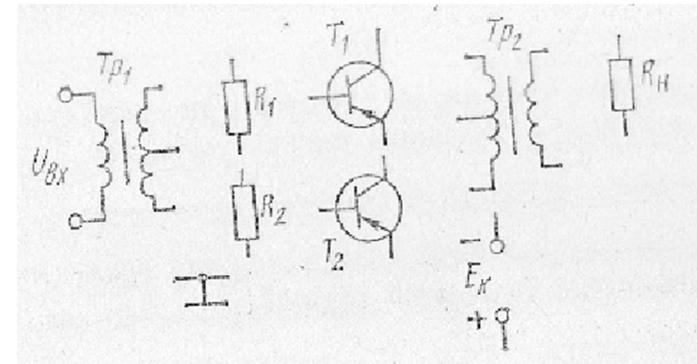


Рис. 13

Задача 2 (варианты 81–90). Составить схему для снятия характеристик транзистора из элементов, указанных на рис. 14. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 20.

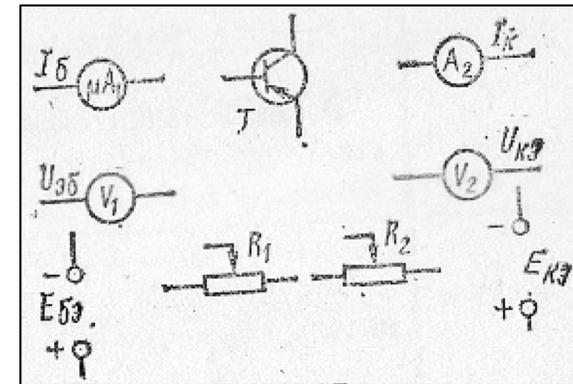


Рис. 14

Таблица 20

Номер варианта	Вопрос
81	Каков порядок проведения работы при снятии выходных характеристик транзистора?
82	Как изменится работа схемы, если база транзистора соединится с эмиттером

83	Как определить коэффициент усиления транзистора по показаниям измерительных приборов?
84	Каким способом в данной схеме можно увеличить ток коллектора транзистора?
85	Как в данной схеме осуществляется запираение транзистора (т. е. $I_{\kappa} = 0$)?
86	Каков порядок проведения работы при снятии входных характеристик транзистора?
87	Какие электрические величины и для чего измеряются приборами в данной схеме?
88	Как и почему изменяются показания миллиамперметра A_2 при увеличении с помощью потенциометра R_1 отрицательного напряжения $U_{\text{об}}$, подаваемого на базу транзистора?
89	Каким способом в данной схеме можно уменьшить ток коллектора транзистора?
90	Почему в цепь коллектора транзистора включается миллиамперметр, а в цепь базы – микроамперметр?

Задача 2 (варианты 91–100). Составить схему усилителя низкой частоты на транзисторе, включенного по схеме с общим эмиттером, из элементов, указанных на рис. 15. Объяснить назначение элементов схемы и ответить на вопрос своего варианта из табл. 21.

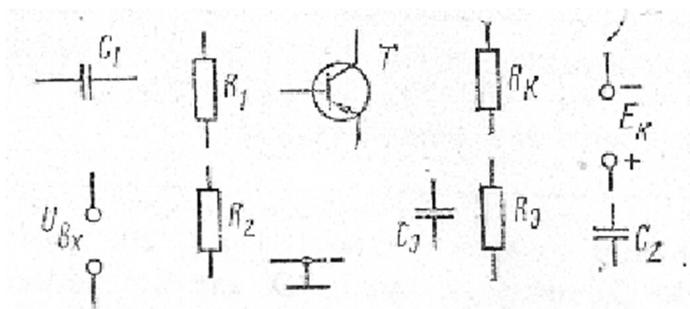


Рис. 15

Таблица 21

Номер варианта	Вопрос
91	Написать формулу коэффициента усиления. Как его определить для данной схемы?
92	Каким образом и с помощью каких элементов выбирают рабочую точку по выходным характеристикам транзистора для данного усилителя?
93	Объяснить принцип усиления напряжения в данной схеме
94	Почему данную схему называю услителем на транзисторе с общим эмиттером?
95	В чем отличия данной схемы от схемы аналогичного усилителя, собранного на электронной лампе-триоде?
96	В какие точки схемы и какие приборы надо включить для измерения тока коллектора и тока базы транзистора?
97	Как изменится работа схемы, если произойдет обрыв сопротивления R_1 ?
98	Какую роль в данной схеме усилителя выполняют электроды транзистора: эмиттер, коллектор и база?
99	В каком случае транзистор будет полностью закрыт и какое при этом должно быть напряжение на входе и выходе усилителя?
100	Какой электронный прибор и в какие точки схемы надо включить, чтобы увидеть форму входного и выходного напряжения усилителя?

Задача 3 (варианты 1–10). Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, используя входную и выходные характеристики, определить коэффициент усиления h_{21} , значение напряжения на коллекторе $U_{\kappa 1}$ и $U_{\kappa 2}$, мощность на коллекторе $P_{\kappa 1}$ и $P_{\kappa 2}$, если дано напряжение на базе $U_{\text{бз}}$, значение сопротивления нагрузки $R_{\kappa 1}$ и $R_{\kappa 2}$, и напряжение источника питания E_{κ} . Данные для своего варианта взять из табл. 22.

Таблица 22

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{бз}}, \text{В}$	$R_{\kappa 1}, \text{кОм}$	$R_{\kappa 2}, \text{кОм}$	$E_{\kappa}, \text{В}$
1	16, 17	0,4	0,05	0,1	40
2	18, 19	0,15	0,1	0,2	40

3	20, 21	0,15	0,1	0,2	40
4	22, 23	0,1	0,025	0,05	40
5	24, 25	0,15	0,5	1	40
6	26, 27	0,25	10	20	20
7	28, 29	0,3	0,1	0,2	20
8	30, 31	0,3	5	10	40
9	32, 33	0,25	1	2	40
10	34, 35	0,2	1	2	20

Задача 3 (варианты 11–20). Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером заданы напряжения на базе $U_{\text{бэ}}$, напряжения на коллекторе $U_{\text{кэ}}$ и напряжение источника питания $E_{\text{к}}$. Определить, используя входную и выходные характеристики, ток коллектора $I_{\text{к}}$, коэффициент усиления $h_{21э}$, сопротивление нагрузки $R_{\text{к}}$ и мощность на коллекторе $P_{\text{к}}$. Данные для своего варианта взять из табл. 23.

Таблица 23

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{бэ}}, \text{В}$	$U_{\text{кэ}}, \text{В}$	$E_{\text{к}}, \text{В}$
11	16, 17	0,4	20	40
12	18, 19	0,2	15	40
13	20, 21	0,2	20	40
14	22, 23	0,25	10	40
15	24, 25	0,2	15	40
16	26, 27	0,25	10	20
17	28, 29	0,3	5	20
18	30, 31	0,3	20	40
19	32, 33	0,3	15	40
20	34, 35	0,25	10	20

Задача 3 (варианты 21–30). Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить по выходным характеристикам коэффициент усиления $h_{21э}$, значения сопротивлений нагрузки $R_{\text{к1}}$ и $R_{\text{к2}}$, и мощность на коллекторе $P_{\text{к1}}$ и $P_{\text{к2}}$, для значений тока базы $I_{\text{б1}}$ и $I_{\text{б2}}$, если напряжение на коллекторе и напряжение источника питания $E_{\text{к}}$. Данные своего варианта взять из табл. 24.

Таблица 24

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{кэ}}, \text{В}$	$I_{\text{б1}}, \text{А}$	$I_{\text{б2}}, \text{А}$	$E_{\text{к}}, \text{В}$
21	17	20	2	4	40
22	19	25	1	2	40
23	21	15	6	8	40
24	23	20	10	20	40
25	25	15	0,6	0,9	40
26	27	10	20	30	20
27	29	10	0,5	1	20
28	31	15	60	90	40
29	33	20	100	200	40
30	35	10	150	200	20

Задача 3 (варианты 31–40). Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, используя входную и выходную характеристики, определить коэффициент усиления $h_{21э}$, величину сопротивлений нагрузки $R_{\text{к1}}$ и $R_{\text{к2}}$, и мощность на коллекторе $P_{\text{к1}}$ и $P_{\text{к2}}$, если известно напряжение на базе $U_{\text{бэ}}$, напряжение на коллекторе $U_{\text{кэ1}}$ и $U_{\text{кэ2}}$, и напряжение источника питания $E_{\text{к}}$. Данные для своего варианта взять из табл. 25.

Таблица 25

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{\text{бэ}}, \text{В}$	$U_{\text{кэ1}}, \text{В}$	$U_{\text{кэ2}}, \text{В}$	$E_{\text{к}}, \text{В}$
31	16, 17	0,3	20	30	40
32	18, 19	0,2	10	20	40
33	20, 21	0,15	20	25	40
34	22, 23	0,2	10	20	40
35	24, 25	0,1	25	30	40
36	26, 27	0,25	5	10	20
37	28, 29	0,3	5	10	20
38	30, 31	0,3	10	20	40
39	32, 33	0,25	15	25	40
40	34, 35	0,2	5	10	20

Задача 3 (варианты 41–50). Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, заданы напряжение на базе $U_{бэ}$, сопротивление нагрузки R_k и напряжение источника питания E_k . Используя входную и выходные характеристики, определить напряжение на коллекторе $U_{кэ}$, ток коллектора I_k , коэффициент усиления $h_{21э}$ и мощность на коллекторе P_k . Определить также коэффициент передачи тока $h_{21б}$. Данные для своего варианта взять из табл. 26.

Таблица 26

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{бэ}$, В	R_k , кОм	E_k , В
41	16, 17	0,3	0,1	40
42	18, 19	0,25	0,1	40
23	20, 21	0,25	0,05	40
44	22, 23	0,25	0,02	40
45	24, 25	0,2	0,4	40
46	26, 27	0,2	20	20
47	28, 29	0,4	0,1	20
48	30, 31	0,4	5	40
49	32, 33	0,3	0,8	40
50	34, 35	0,25	1,0	20

Задача 3 (варианты 51–60). По выходным характеристикам транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить токи коллектора $I_{к1}$ и $I_{к2}$, напряжение на коллекторе $U_{кэ1}$ и $U_{кэ2}$, коэффициент усиления $h_{21э}$, если заданы токи базы $I_{б1}$ и $I_{б2}$, сопротивление нагрузки R_k и напряжение источника питания E_k . Данные для своего варианта взять из табл. 27.

Таблица 27

Номер варианта	Номер рисунка	$I_{б1}$, А	$I_{б2}$, А	R_k , кОм	E_k , В
51	17	4	6	0,05	40
52	19	2	4	0,1	40
53	21	4	6	0,1	40
54	23	30	40	0,02	40
55	25	1,2	1,5	0,4	40
56	27	40	50	10	20

57	29	1,0	1,5	0,1	20
58	31	60	90	5	40
59	33	200	300	1,0	40
60	35	200	250	0,8	20

Задача 3 (варианты 61–70). В цепь транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, включено сопротивление нагрузки, которое изменяется по величине от $R_{к1}$ до $R_{к2}$. Используя выходные характеристики, определить напряжение $U_{кэ1}$ и $U_{кэ2}$, коэффициент усиления $h_{21э}$, мощность на коллекторе $P_{к1}$ до $P_{к2}$, если заданы ток базы I_b и напряжение источника питания E_k . Данные для своего варианта взять из табл. 28.

Таблица 28

Номер варианта	Номер рисунка	I_b , А	$R_{к1}$, кОм	$R_{к2}$, кОм	E_k , В
61	17	4	0,05	0,1	40
62	19	1	0,1	0,2	40
63	21	6	0,05	0,1	40
64	23	10	0,05	0,1	40
65	25	0,6	0,4	1,0	40
66	27	20	10	20	20
67	29	0,5	0,2	0,4	20
68	31	60	5	8	40
69	33	200	1	2	40
70	35	150	1	2	20

Задача 3 (варианты 71–80). По выходным характеристикам транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент $h_{21э}$ и мощность P_k при напряжении на коллекторе $U_{кэ}$ и токе базы I_b . Какое при этом надо выбрать сопротивление нагрузки R_k , если напряжение источника питания E_k ? Определить также коэффициент передачи тока $h_{21б}$. данные для своего варианта взять из табл. 29.

Таблица 29

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{кэ}, В$	$I_{б}, А$	$E_{к}, В$
71	17	15	4	40
72	19	20	2	40
73	21	15	6	40
74	23	30	10	40
75	25	15	0.6	40
76	27	7.5	20	20
77	29	5	1.5	20
78	31	10	90	40
79	33	20	300	40
80	35	5	200	20

Задача 3 (варианты 81–90). Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, используя входную и выходные характеристики, определить диапазон изменения тока коллектора $I_{к}$ и коэффициент усиления $h_{21э}$, если напряжение на базе изменится от $U_{бэ1}$ до $U_{бэ2}$. Напряжение питания равно $E_{к}$, а сопротивление нагрузки $R_{к}$. Данные для своего варианта взять из табл. 30.

Таблица 30

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{бэ}, В$	$U_{бэ2}, В$	$R_{к}, кОм$	$E_{к}, В$
81	16, 17	0,3	0,4	0,05	40
82	18, 19	0,1	0,2	0,1	40
83	20, 21	0,15	0,2	0,08	40
84	22, 23	0,1	0,2	0,025	40
85	24, 25	0,2	0,25	0,5	40
86	26, 27	0,25	0,3	10	20
87	28, 29	0,3	0,4	0,1	20
88	30, 31	0,3	0,4	5	40
89	32, 33	0,3	0,35	1	40
90	34, 35	0,25	0,3	1	20

Задача 3 (варианты 91–100). Ток коллектора транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, равен $I_{к}$. Используя входную и

выходные характеристики, определить коэффициент усиления $h_{21э}$, сопротивление нагрузки $R_{к}$ и мощность на коллекторе $P_{к}$, если дано напряжение на базе $U_{бэ}$ и напряжение источника питания $E_{к}$. Определить также коэффициент передачи тока $h_{21б}$. Данные для своего варианта взять из табл. 31.

Таблица 31

Номер варианта	Номер рисунка	$I_{к}, А$	$U_{бэ}, В$	$E_{к}, В$
91	16, 17	0,2	0,3	40
92	18, 19	0,3	0,2	40
93	20, 21	0,2	0,15	40
94	22, 23	0,8	0,2	40
95	24, 25	25	0,15	40
96	26, 27	1,0	0,25	20
97	28, 29	70	0,3	20
98	30, 31	2,5	0,3	40
99	32, 33	20	0,3	40
100	34, 35	12	0,25	20

Входные и выходные характеристики транзисторов к работе 1
(рис. 16–35)

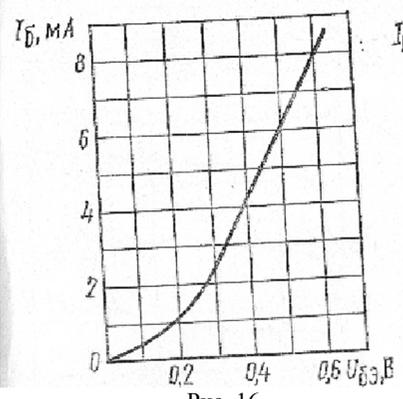


Рис. 16

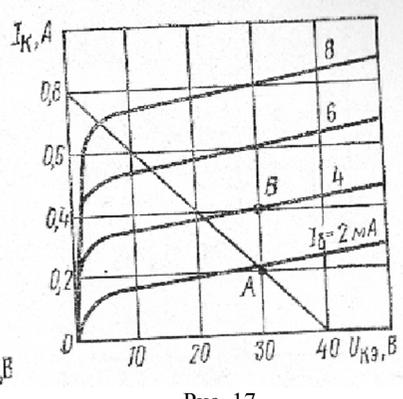


Рис. 17

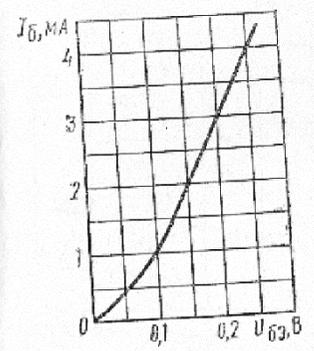


Рис. 18

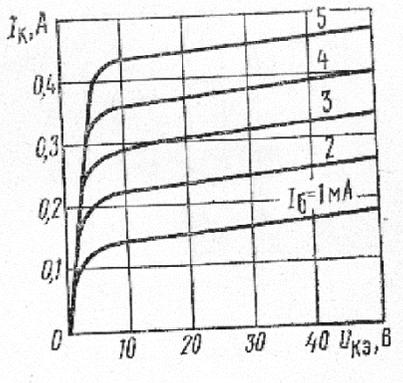


Рис. 19

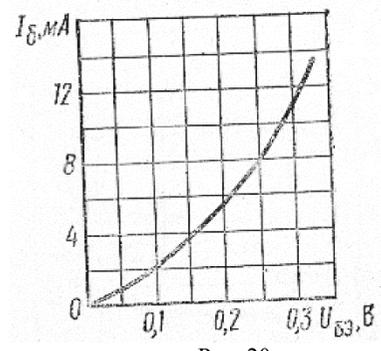


Рис. 20

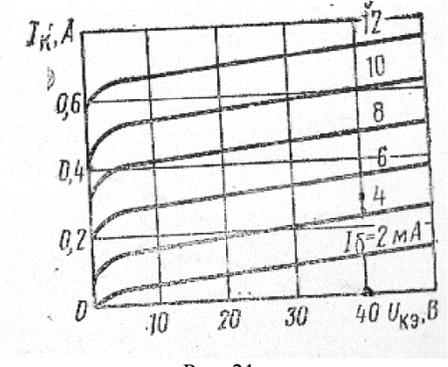


Рис. 21

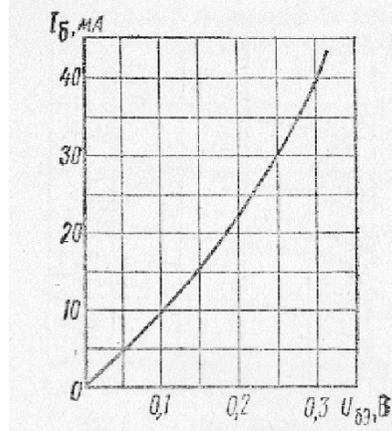


Рис. 22

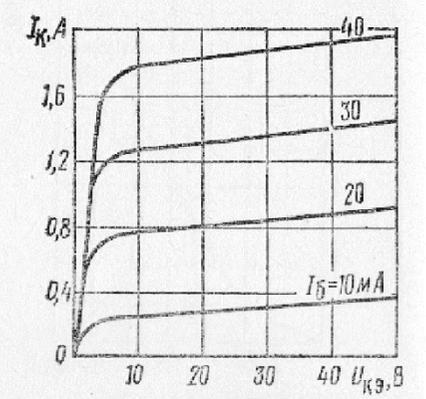


Рис. 23

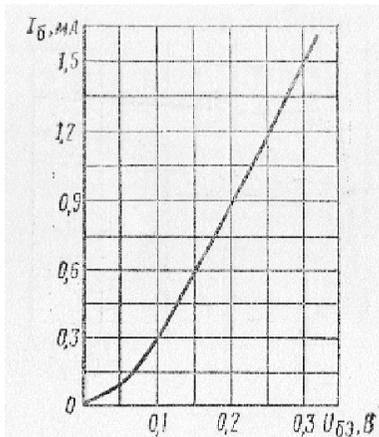


Рис. 24

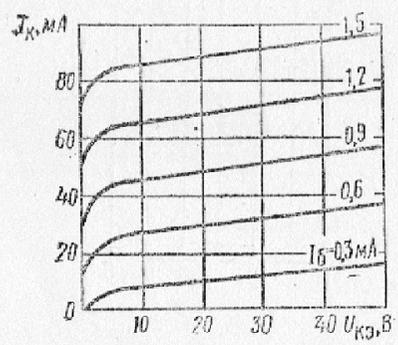


Рис. 25

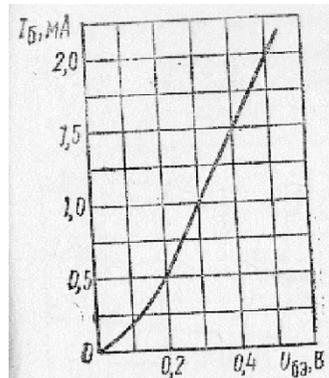


Рис. 28

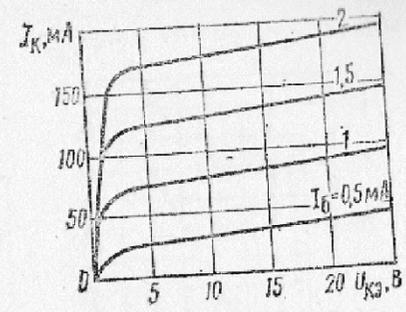


Рис. 29

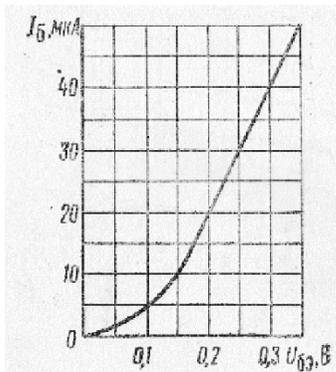


Рис. 26

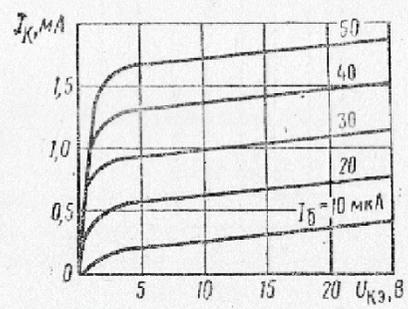


Рис. 27

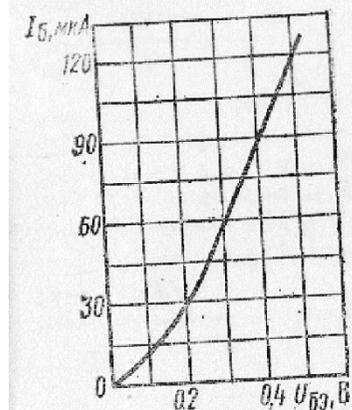


Рис. 30

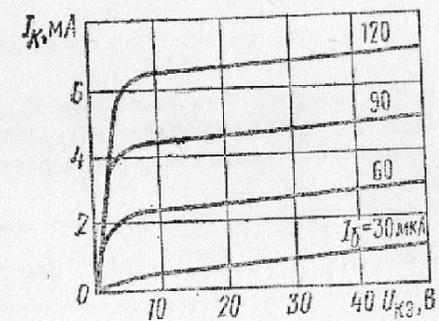


Рис. 31

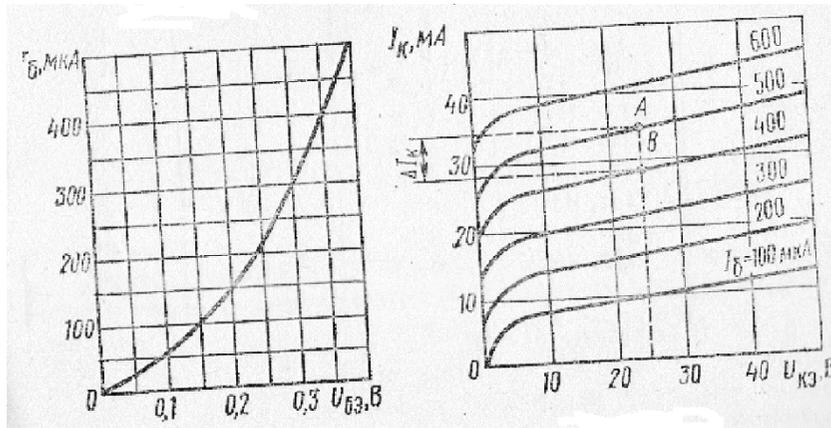


Рис. 32

Рис. 33

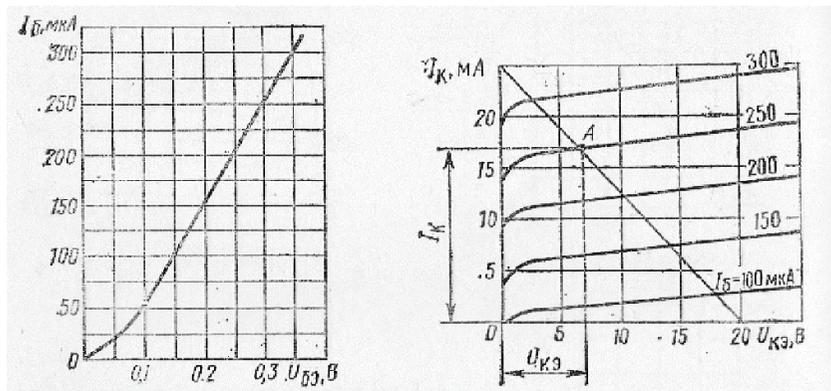


Рис. 34

Рис. 35

Система обозначений полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы обозначают буквенно-цифровым кодом. Первый элемент обозначения (буква или цифра) означает исходный полупроводниковый материал: германий – Г или 1; кремний – К или 2; соединения галлия – А или 3. Второй элемент обозначения (буква) определяет класс прибора; транзисторы биполярные – Т; транзисторы полевые – П; диоды выпрямительные – Д; стабилитроны – С; тиристоры диодные до 10 А – Н; тиристоры триодные до 10 А – У. третий элемент обозначает (однозначное число от 1 до 9) определяет диапазон основных

параметров прибора (мощность, частота, ток и т. д.). Четвертый и пятый элемент обозначения (двухзначное число от 01 до 99) означают номер разработки.

Шестой элемент обозначения (буквы русского алфавита от А до Я) означает деление технологического типа на параметрические группы.

Примеры обозначений: ГТ308В – германиевый транзистор, высокочастотный, малой мощности, номер разработки 08, коэффициент усиления 50–120; КД202Р – кремниевый выпрямительный диод, средней мощности, номер разработки 02, максимально допустимое обратное напряжение 600 В.

Параметры биполярных транзисторов

Для анализа и расчета цепей с биполярными транзисторами используют так называемые h-параметры транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

Электрическое состояние транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, характеризуется следующими величинами: $I_б$ – ток базы; $U_{бэ}$ – напряжение между базой и эмиттером; $I_к$ – ток коллектора; $U_{кэ}$ – напряжение между коллектором и эмиттером.

Параметр h_{11} имеет размерность сопротивления $R_{вх}$ и представляет собой входное сопротивление биполярного транзистора:

$$h_{11} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_б \text{ при } U_{кэ} = const.$$

Параметр h_{12} – безразмерный коэффициент, характеризующий обратную связь по напряжению биполярного транзистора:

$$h_{12} = \Delta U_{бэ} / \Delta U_{кэ} \text{ при } I_б = const.$$

Параметр h_{21} – безразмерный коэффициент передачи, характеризующий усилительные по току свойства транзистора:

$$h_{21} = \Delta I_к / \Delta I_б \text{ при } U_{кэ} = const.$$

В литературе встречается обозначение $\beta = h_{21}$, где β – коэффициент усиления транзистора по току.

Параметр h_{22} имеет размерность проводимости и характеризует выходную проводимость транзистора:

$$h_{22} = \Delta I_к / \Delta U_{кэ} \text{ при } I_б = const.$$

Технические характеристики некоторых биполярных транзисторов

Наименование	Тип	Входное сопротивление h_{11} , кОм	Коэффициент усиления по току $h_{21} = \beta$	Максимальная мощность $P_{к max}$, Вт	Максимальное напряжение коллектора $U_{к max}$, В	Максимальный ток коллектора $I_{к max}$, А	Граничная частота $f_{гр}$, МГц
Транзисторы маломощные:							
Низко-частотные	ГТ108А	300	20–50	0,075	18	0,05	0,1
Средне-частотные	КТ203Б	300	30–200	0,15	15	0,01	5
Высоко-частотные	КТ315Е	200	50–350	0,15	15	0,01	100
Транзисторы средней мощности:							
Низко-частотные	ГТ403Ю	100	30–60	1,0	45	1,25	0,08
Средне-частотные	П602И	75	40–100	0,5	30	1,5	10
Высоко-частотные	КТ604А	100	10–40	0,8	250	0,2	40
Транзисторы мощные:							
Низко-частотные	ГТ703Г	50	50–100	15	40	3,5	0,02
Средне-частотные	КТ802А	50	15–35	20	150	5	10
Высоко-частотные	КТ903Б	30	40–180	30	80	3	100

Значение h_{22} определяют наклоном выходной характеристики транзистора.

h -параметры транзистора, особенно его коэффициент передачи тока h_{21} , зависят от частоты переменного напряжения, при которой происходит измерение приращений токов и напряжений $\Delta I_{б}$, $\Delta I_{к}$, $\Delta U_{бэ}$ и $\Delta U_{кэ}$, так как на высоких частотах сказывается конечное время, за которое носители заряда проходят расстояние эмиттера до коллектора. Частота, на которой коэффициент передачи тока h_{21} уменьшается до единицы, носит название граничной частоты коэффициента передачи тока $f_{гр}$.

Для предотвращения перегрева коллекторного перехода необходимо, чтобы мощность, выделяемая на нем при прохождении коллекторного тока, не превышала некоторого максимального значения

$$P_{к} = I_{к} U_{кэ} \leq P_{к max}$$

В целях увеличения допустимой мощности коллектора $P_{к}$ в мощных транзисторах коллектор для улучшения теплоотвода соединяют с металлическим корпусом транзистора, а сам прибор монтируют на специальном радиаторе.

Ограничение по допустимой мощности коллектора не единственное. Если между коллектором и эмиттером (или базой и эмиттером) приложено слишком высокое напряжение, то может произойти электрический пробой закрытого перехода, поэтому необходимо, чтобы при работе транзистора коллекторное напряжение было меньше максимально допустимого: $U_{кэ} \leq U_{кэ max}$.

Существует аналогичное ограничение по коллекторному току: $I_{к} \leq I_{к max}$, которое обусловлено допустимым перегревом эмиттерного перехода.

Таблица 32

Классификация биполярных транзисторов

Частотные группы	Группы по мощности
Низкочастотные $f_{гр} \leq 3 \text{ МГц}$	Малой мощности $P_{max} \leq 0,3 \text{ Вт}$
Среднечастотные $3 \text{ МГц} \leq f_{гр} \leq 30 \text{ МГц}$	Средней мощности $0,3 < P_{max} \leq 1,5 \text{ Вт}$
Высокочастотные $30 \text{ МГц} \leq f_{гр} \leq 300 \text{ МГц}$	Большой мощности $P_{max} > 1,5 \text{ Вт}$

Таблица 34

Технические характеристики некоторых тиристоров

Наименование	Тип	Ток управления I_y, A	Средний прямой ток $I_{пр.ср}, A$	Максимальное обратное напряжение $U_{обр\ max}, B$
Тиристор кремниевый маломощный	KY101E	0,015	0,075	150
Тиристор кремниевый средней мощности	KY210B	0,4	8	600
Тиристор кремниевый мощный	ТБ-320	0,5	320	1400

Система обозначений фотоэлектронных приборов

Фотоэлектронные приборы обозначают буквенно-цифровым кодом. Первый элемент обозначения полупроводниковых фотоэлектронных приборов – буквы, означает группу приборов: ФР – фоторезисторы; ФУ – фототранзисторы; ФД – фотодиоды. Второй элемент обозначения – буквы, означающие материал, из которого изготовлен прибор: ГО – германий; ГБ – германий, легированный бромом; ГЗ – германий, легированный золотом; К – кремний и т. д. Третий элемент обозначения – цифры от 001 до 999, означающие порядковый номер разработки прибора.

Пример обозначения: ФД-ГЗ-001 – фотодиод из германия, легированный золотом, номер разработки 001.

Электривакуумные фотоэлементы обозначают так: первый элемент обозначения – буквы, указывающие тип фотокатода (СЦ – сурьмяной-цезиевый, Ц – кислородно-цезиевый). Второй элемент обозначения – буквы В и Г, означающие соответственно «вакуумный» (электронный фотоэлемент) и «газонаполненный» (ионный фотоэлемент). Третий элемент – порядковый номер разработки.

Пример обозначения: СЦВ-3 – электронный фотоэлемент с сурьмяно-цезиевым катодом, разработки № 3.

Система обозначений электронно-лучевых трубок

Обозначения электронно-лучевых трубок, выпускаемых отечественной промышленностью, состоят из 4-х элементов.

Первый элемент обозначения электронно-лучевых трубок – число, указывающее диаметр или диагональ в сантиметрах.

Второй элемент обозначения у электронно-лучевых трубок состоит из двух букв: ЛО – электронно-лучевая трубка с электростатическим управлением луча; ЛК – электронно-лучевая трубка с электромагнитным управлением луча.

Третий элемент обозначения электронно-лучевых трубок – число, соответствующее порядковому номеру данного типа прибора.

Четвертый элемент обозначения электронно-лучевых трубок – буква, обозначающая тип люминофора, т. е. покрытия экрана.

8ЛО29И – электронно-лучевая трубка с электростатическим управлением луча (осциллографическая) с диаметром экрана 8 см, разработка № 29, зеленый цвет освещения экрана. 50ЛК2Б – кинескоп с электромагнитным управлением луча (телевизионная трубка) с размером экрана по диагонали 50 см, разработка № 2; белый цвет освещения экрана.

Система обозначений интегральных микросхем (ИМС)

Аналоговые и цифровые ИМС разрабатываются и изготавливаются, как правило, сериями. Серия интегральных схем – это совокупность ИМС, выполняющих различные функции, но имеющих единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначенных для совместного применения в радиоэлектронной аппаратуре.

Система буквенно-цифровых обозначений типов микросхем состоит из четырех основных элементов: первый элемент – цифра соответствует конструктивно-технологической группе микросхем: 1, 5, 7 – полупроводниковые; 2, 4, 6, 8 – гибридные; 3 – прочие; второй элемент – две цифры от 00 до 99, указывающие на порядковый номер разработки серии микросхем. Первый и второй элементы образуют число, обозначающее серию микросхем. Микросхемы широкого применения имеют в начале обозначения букву К, которая входит в обозначение серии; третий элемент – две буквы – обозначает функциональное назначение микросхемы; четвертый элемент – порядковый номер разработки микросхемы в данной серии. Например, К153УД5 – операционный усилитель в виде полупроводниковой ИМС, серия 153, порядковый номер разработки в данной серии – пятый.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 2

Расчет усилительного каскада с общим эмиттером.

1. Рассчитать h-параметры биполярного транзистора, его входное и выходное сопротивления, коэффициент передачи по току, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора. Схема включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ) на рисунке 36.

2. Провести графоаналитический расчет усилительного каскада на заданном типе транзистора, включенного по схеме с ОЭ, с одним источником питания E_K и с температурной стабилизацией рабочего режима.

3. Определить параметры элементов схемы усилительного каскада: коэффициенты усиления по току (K_i), напряжению (K_u), мощности (K_p); токи и напряжения в режиме покоя $I_{\beta 0}$, I_{K0} , $U_{\beta 00}$, U_{K00} ; амплитудные значения входных и выходных переменных токов и напряжений в линейном режиме работы усилителя; полезную выходную мощность каскада и его КПД; верхнюю и нижнюю граничные частоты полосы пропускания.

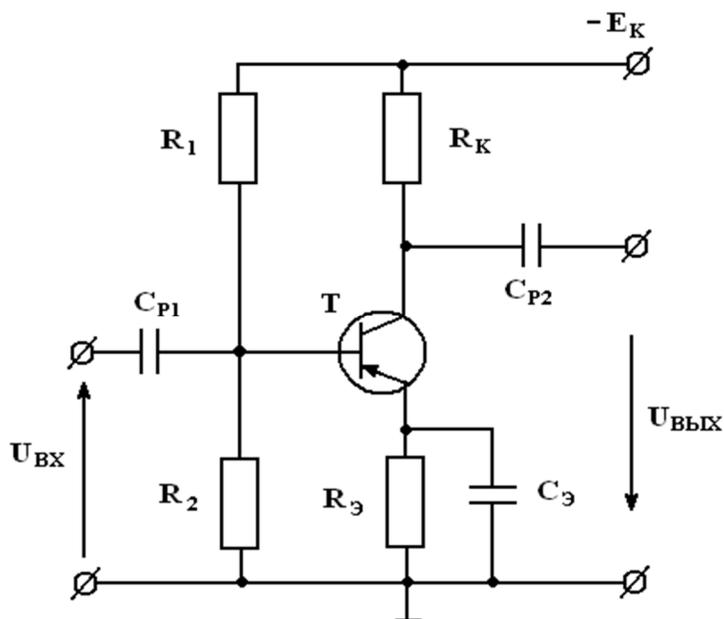


Рис. 36. Усилитель с общим эмиттером

Основные теоретические положения.

Ниже приводится рекомендуемая последовательность расчета усилительного каскада (рис. 36) на транзисторе p-n-p типа. Расчет усилительного каскада с транзистором n-p-n типа аналогичен (в этом случае следует правильно выбрать полярность источника питания E_K).

1. Расчет параметров транзистора.

Изобразить семейство статических входных и выходных характеристик заданного транзистора, соответствующих схеме с ОЭ.

Определить h-параметры транзистора, соответствующие схеме с ОЭ, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора: по входным характеристикам определить

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{\beta 0}}{\Delta I_{\beta}} \text{ при } U_{K0} = const, \quad h_{12} = \frac{\Delta U_{\beta 0}}{\Delta U_{K0}} \text{ при } I_{\beta} = const;$$

по выходным характеристикам определить

$$h_{21} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_{\beta}} \text{ при } U_{K0} = const, \quad h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{K0}} \text{ при } I_{\beta} = const.$$

1.1. Найти входное и выходное сопротивление транзистора:

$$R_{вхT} = h_{11}, \quad R_{выхT} = \frac{1}{h_{22}}$$

1.2. Определить коэффициент передачи по току транзистора β :

$$\beta = h_{21}.$$

2. Расчет усилительного каскада по постоянному току графоаналитическим методом.

2.1. Изобразить семейство выходных и входных (при $U_{K0} = 5 \text{ В}$) характеристики заданного транзистора как показано на рис. 37.

2.2. На выходных характеристиках нанести кривую допустимой мощности $P_{k \max}$, рассеиваемой на коллекторе,

$$P_{k \max} = U_{K0} I_K = const.$$

2.3. Выбрать значение напряжения источника питания E_K в пределах $(0,7-0,9) U_{k \max}$. (Следует учитывать, что $E_K \approx 3U_{m \text{ вых}}$ и $E_K \approx U_{K00} + I_{K0}(R_K + R_3)$). Эту величину в дальнейшем, после выбора R_K , R_3 , и $U_{m \text{ вых}}$ следует скорректировать.

2.4. Из условия передачи максимальной мощности от источника энергии к потребителю (согласованный режим) выбрать $R_K \approx R_{\text{вых.т.}}$. Однако на выход усилителя обычно включается нагрузка $R_n \leq R_K$, поэтому

рекомендуется выбирать $R_k = (0,3 - 1)R_{\text{вых. т.}}$, так чтобы его величина лежала в диапазоне $R_k = (0,5 - 10) \text{ кОм}$.

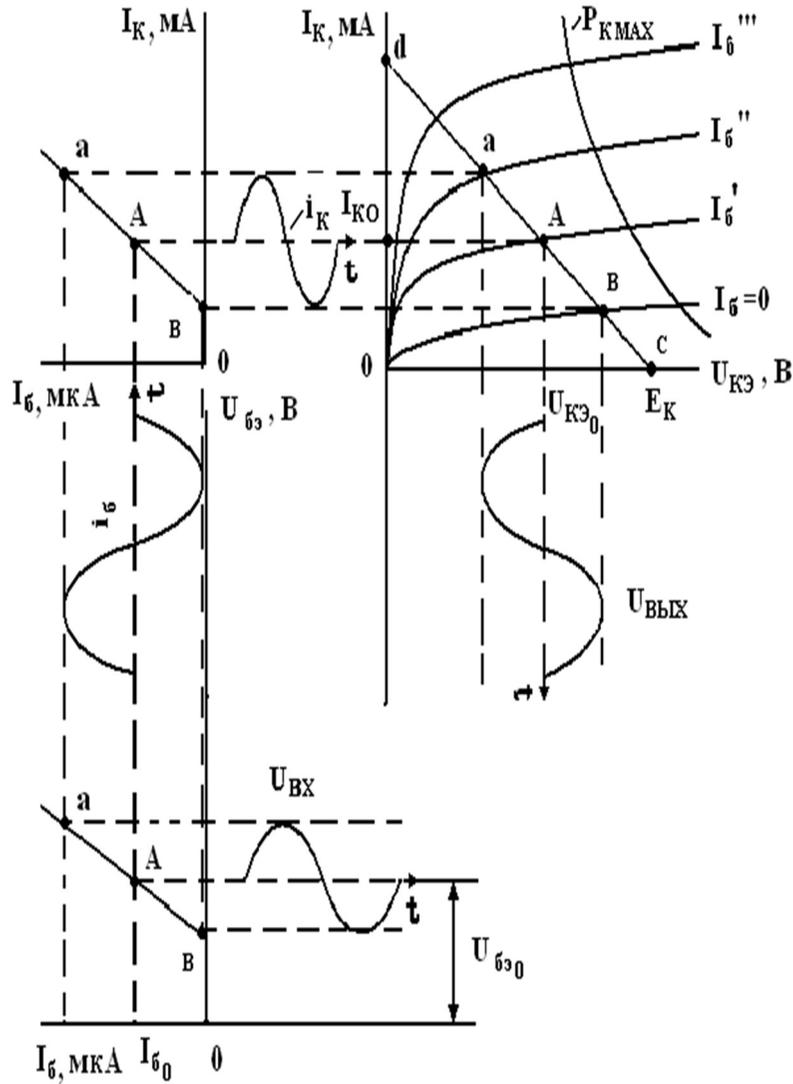


Рис. 37. Выбор рабочей точки

2.5. Построить нагрузочную линию усилительного каскада, согласно уравнению $U_{кэ} = E_k - I_k R_k$.

Для этого использовать две точки («d» и «с») на выходных характеристиках транзистора (рис. 37):

$$U_{кэ} = 0; I_k = \frac{E_k}{R_k} \text{ (точка «d»); } I_k = 0; U_{кэ} = E_k \text{ (точка «с»).$$

При этом линия нагрузки должна проходить левее и ниже допустимых значений $U_{k \text{ max}}$, $I_{k \text{ max}}$ и $P_{k \text{ max}}$ и обеспечить достаточно протяженный линейный участок переходной характеристики (см. рис. 37).

2.6. По точкам пересечения линии нагрузки с выходными характеристиками построить переходную характеристику транзистора $I_k = f(I_б)$ (см. рис. 37).

2.7. На переходной характеристике транзистора (с учетом входной характеристики) выбрать линейный участок «а – в», в диапазоне которого усилитель усиливает без искажения. На середине участка «а – в» нанести рабочую точку «А», соответствующую режиму работы транзистора по постоянному току.

2.8. По координатам рабочей точки «А» определить токи и напряжения транзистора в режиме покоя (по постоянному току): $I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{бэ0}$, $U_{кэ0}$.

3. Расчет усилительного каскада по переменному току.

3.1. Определить пределы изменения амплитуд входного тока и напряжения, выходного тока и напряжения в линейном режиме работы усилителя. Найти: $I_{бт}$, $I_{кт}$, $U_{бэм}$, $U_{кэм}$ (см. рис. 37).

3.2. Рядом с графиками входных и выходных характеристик транзистора показать характер изменения токов и напряжений во времени в виде кривых:

$$i_б = I_{б0} + I_{бм} \sin \omega t; u_{бэ} = U_{бэ0} + U_{бэм} \sin \omega t;$$

$$i_к = I_{к0} + I_{км} \sin \omega t; u_{кэ} = U_{кэ0} + U_{кэм} \sin \omega t;$$

соответствующих рабочим участкам этих характеристик.

4. Расчет параметров элементов усилителя ОЭ.

4.1. Рассчитать элементы цепи термостабилизации $R_э$ и $C_э$.

4.1.1. Увеличение $R_э$ повышает глубину отрицательной обратной связи во входной цепи усилителя (улучшает термостабилизацию), с другой стороны, при этом падает КПД усилителя из-за дополнительных потерь мощности на этом сопротивлении. Обычно выбирают величину падения напряжения на $R_э$ порядка $(0,1-0,3)E_k$, что равносильно выбору

$R_3 \approx (0,05-0,15)R_k$ в согласованном режиме работы транзистора. Используя последнее соотношение, выбираем величину R_3 .

4.1.2. Для коллекторно-эмиттерной цепи усилительного каскада в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать уравнение электрического состояния по постоянному току

$$E_k = U_{кэ_0} + (R_k + R_3)I_{к_0}.$$

Используя это уравнение скорректировать выбранные по п.п. 2.3 и 2.4 значение E_k или величину R_k .

4.1.3. Определить емкость в цепи эмиттера C_3 из условия $R_3 = (5-10)X_3$, где X_3 – емкостное сопротивление элемента C_3 . При этом

$$C_3 = \frac{10^7}{(1-2)2\pi f_n R_3} \text{ мкФ, выбрав } f_n = 50-100 \text{ Гц.}$$

4.1.4. Для исключения шунтирующего действия делителя R_1, R_2 на входную цепь транзистора задается сопротивление R_0 .

$$R_0 = R_1 \parallel R_2 = (2-5)R_{э_т}$$

и ток делителя $I_0 = (2-5)I_{0_0}$, что повышает температурную стабильность U_{0_0} . Исходя из этого определить сопротивления R_1, R_2, R_0 :

$$R_2 = \frac{U_{0_0}}{I_d} = \frac{R_3 I_{к_0} + U_{0_0}}{I_d}, \quad R_1 = \frac{E_k - U_{0_0}}{I_d + I_{0_0}}, \quad R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

4.1.5. Определить емкость разделительного конденсатора из условия $R_{вх} = (5-10)X_p$, где X_p – емкостное сопротивление разделительного конденсатора, $R_{вх}$ – входное сопротивление каскада. При этом

$$C_p \approx \frac{10^7}{(1-2)2\pi f_n R_{вх}} \text{ мкФ, а } R_{вх} = R_0 \parallel R_{э_т}$$

5. *Определить параметры усилительного каскада.*

5.1. Коэффициент усиления каскада по току K_i

$$K_i = i_{вых} / i_{вх} \approx \beta$$

5.2. Входное сопротивление каскада $R_{вх}$

$$R_{вх} = R_0 \parallel R_{э_т}, \text{ если } R_0 \gg R_{э_т}, \text{ то } R_{вх} \approx R_{э_т}$$

5.3. Выходное сопротивление каскада $R_{вых}$

$$R_{вых} = \frac{R_k}{1 + h_{22} R_k} \approx R_k$$

5.4. Коэффициент усиления по напряжению K_u

$$K_u = -\frac{U_{мвых}}{U_{мвх}} = -\frac{\beta R_k}{R_{вх}}$$

5.5. Коэффициент усиления по мощности K_p

$$K_p = K_i K_u$$

5.6. Полезную выходную мощность каскада

$$P_{вых} = 0,5 U_{мвых}^2 / R_k$$

5.7. Полную мощность, расходуемую источником питания

$$P_{ист} = I_{к_0} E_k + I_d^2 (R_1 + R_2) + I_{0_0}^2 R_1$$

5.8. КПД каскада

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{ист}} 100\%$$

5.9. Верхняя и нижняя граничные частоты определяются из соотношения для коэффициента частотных искажений:

$$\tau_B \approx C_k \frac{R_{вх} R_{вых}}{R_{вх} + R_{вых}}$$

на нижней частоте $M_n = \frac{K_o}{K_n} = \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_n \tau_n)^2}}$;

и верхней частоте $M_g = \frac{K_o}{K_n} = \sqrt{1 + (\omega_B \tau_B)^2}$.

Обычно выбирается $M_n = M_B = \sqrt{2}$, тогда $\frac{1}{\omega_n \tau_n} = 1$ и $\omega_B \tau_B = 1$,

где $\tau_n \approx C_p (R_{вх} + R_{вых})$, $\tau_B \approx C_k \frac{R_{вх} R_{вых}}{R_{вх} + R_{вых}}$

C_k – емкость коллекторного перехода.

6. *Заключение по выполненной самостоятельной работе 2.*

6.1. Объяснить назначение всех элементов схемы усилительного каскада. Параметры элементов схемы выбираются на основании всего комплекса расчетов. По данным расчета выбрать стандартные резисторы и конденсаторы по справочнику [4].

6.2. По результатам анализа усилительного каскада дать рекомендации по применению выбранного типа транзистора, оценив его коэффициенты усиления, частотные свойства, выходные напряжения и мощность в линейном режиме и КПД.

Исходные данные по вариантам к самостоятельной работе 2

№ варианта	Тип транзистора	№ варианта	Тип транзистора
1	МП21Г	11	КТ201Г
2	МП21Д	12	КТ208А
3	МП39	13	КТ209Б
4	МП40	14	КТ3107А
5	МП41А	15	КТ3107Б
6	МП42А	16	КТ3107К
7	МП42Б	17	КТ313А
8	ГТ108Б	18	КТ313Б
9	ГТ108Г	19	КТ345А
10	МП114	20	КТ345Б

Методические указания к самостоятельной работе 2

1. Биполярные транзисторы имеют 2 типа проводимости: p-n-p и n-p-n. Включение их в электрическую цепь представлены на рис. 38 а, б (обратить внимание на полярность источника питания!).

Для определения проводимости Вашего транзистора и правильности включения его в электрическую цепь следует по справочникам [3] определить тип транзистора.

2. По пункту 1.

Определяем h-параметры транзистора методом треугольников как показано на рис. 39. Точки для треугольника выбирают на линейных участках вольт-амперных характеристик рис. 39. (Например: точки 1, 2, 3 – для параметров h_{11} и h_{12} ; и точки 4, 5, 6, 7 – для параметров h_{21} и h_{22}).

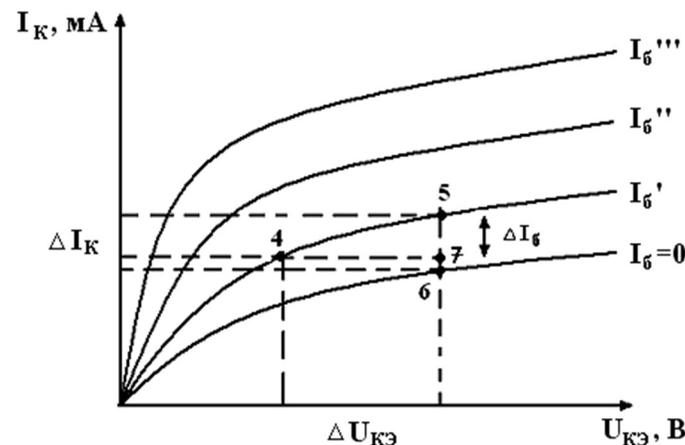
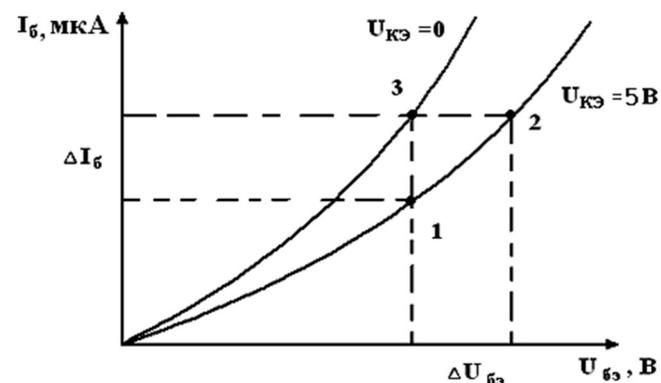
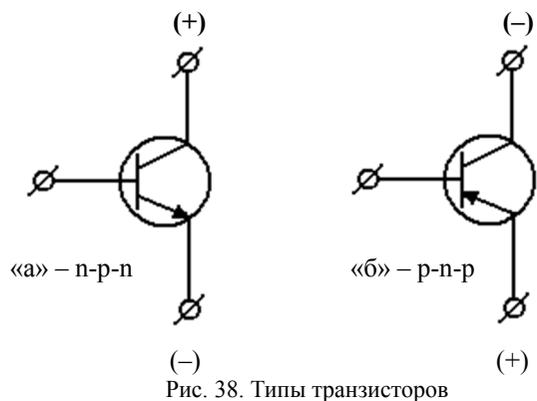


Рис. 39. Вольт-амперные характеристики транзисторов

$$h_{11} = \frac{\Delta_{23} U_{бэ}}{\Delta_{31} I_{б}} \text{ при } U_{кэ} = const, \quad h_{12} = \frac{\Delta_{23} U_{бэ}}{\Delta_{23} U_{кэ}} \text{ при } I_{б} = const;$$

$$h_{21} = \frac{\Delta_{56} I_{к}}{\Delta_{56} I_{б}} \text{ при } U_{кэ} = const, \quad h_{22} = \frac{\Delta_{57} I_{к}}{\Delta_{74} U_{кэ}} \text{ при } I_{б} = const;$$

Пределы изменения h-параметров для современных биполярных транзисторов малой и средней мощности:

$$h_{11} = R_6 \approx n (10 \div 100) \text{ Ом} - \text{входное сопротивление транзистора,}$$

где $n \approx (1-10)$;

$$h_{21} = \beta - \text{коэффициент усиления по току; } h_{21} = (20 \div 1000);$$

$$K_U = \frac{1}{h_{12}} - \text{коэффициент усиления по напряжению } (20 \div 200);$$

$$R_{\text{вых}} = \frac{1}{h_{22}} \approx n(1 \div 10) - \text{выходное сопротивление транзистора, где}$$

$n \approx (1-10)$.

3. По п. 2.2. Кривую допустимой мощности вы также можете нанести по справочным данным транзистора [3].

4. По п. 2.6. Переходные характеристики транзистора $I_k = f(I_0)$ (см. рис. 37) строят по пересечению линии нагрузки с выходными характеристиками транзистора. Для Вашего транзистора этих пересечений будет более 3-х.

5. По 5.4. Коэффициент усиления усилительного каскада с ОЭ обычно лежит в пределах до 100, но не может превышать $K_U \leq 200$.

6. По 5.8. Усилительный каскад с ОЭ работает в линейном режиме и КПД не может превышать $\eta \leq 50\%$.

7. Пример выполнения задания по п. 6.

7.1 Назначение элементов схемы:

– транзистор Т – это усилительный элемент;

– резисторы R_1, R_2 представляют собой делитель напряжения, устанавливающий потенциал базы (по постоянному току) необходимый для работы каскада в линейном режиме;

– резистор R_3 – цепь термостабилизации каскада, за счет падения напряжения на этом резисторе, превышающем напряжение на базовом переходе транзистора, уменьшает влияние изменения напряжения U_{650} при изменении температуры;

– R_k – сопротивление нагрузки по постоянному току, служит для получения нужного потенциала на коллекторе и позволяет получить амплитуду выходного напряжения необходимой величины;

– C_{P1}, C_{P2} – разделительные конденсаторы, служат для разделения (защиты) транзисторов по постоянному току;

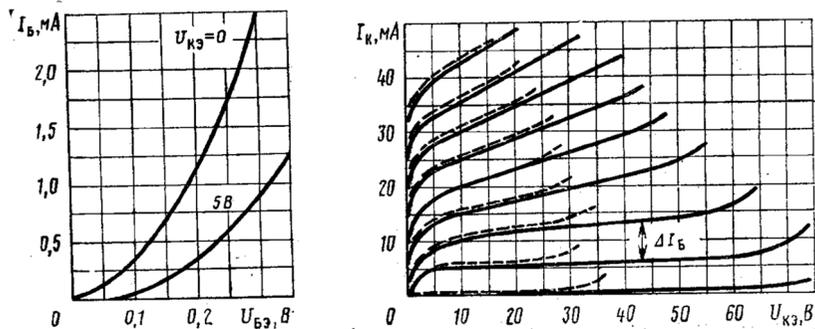
– C_3 – служит для уменьшения нижней границы частоты усилителя и увеличения коэффициента усиления по переменному току на низких частотах.

Выбираемые номинальные значения всех элементов по справочникам, при этом берем ближайшие номинальные значения для резисторов и конденсаторов.

7.2 Данный тип транзистора можно применять в каскадах предварительного усиления сигналов низкой и высокой частот, т. к. верхняя граница частоты превышает МГц, а нижняя граничная частота лежит в звуковом диапазоне. Выходная мощность каскада составляет _____ мВт.

Входные и выходные характеристики транзисторов к работе 2

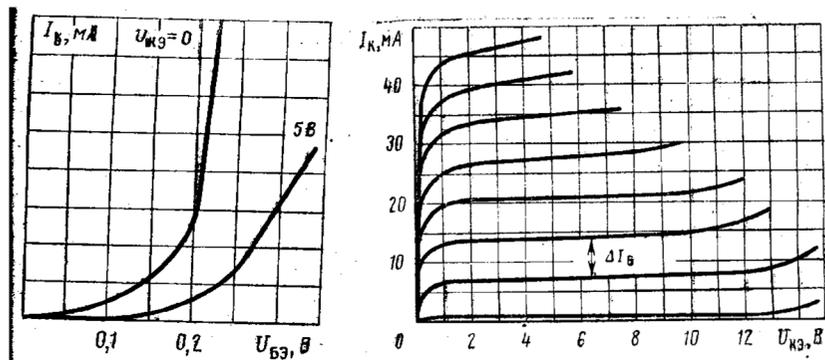
МП21Д, МП21Г



МП21Д - $\Delta I_{\sigma} = 40 \text{ мкА}$
 $U_{КЭ\text{max}} = 35 \text{ В}$
 $P_{к\text{max}} = 150 \text{ мВт}$

МП21Г - $\Delta I_{\sigma} = 100 \text{ мкА}$
 $I_{к\text{max}} = 50 \text{ мА}$
 $C_{к} = 30 \text{ нФ}$

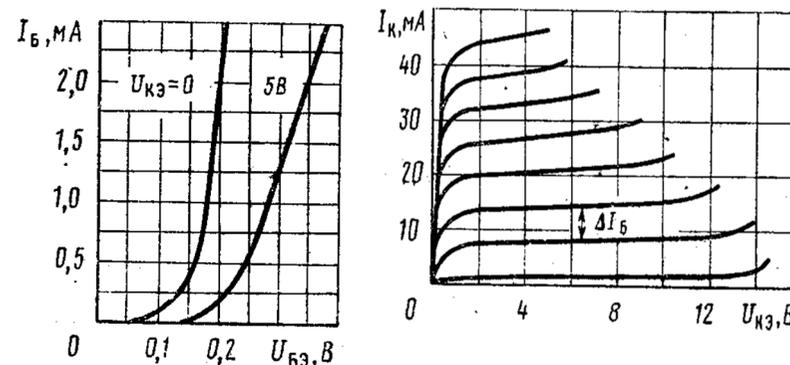
МП39, МП40, МП41А



МП39 - $\Delta I_{\sigma} = 400 \text{ мкА}$
 МП41А - $\Delta I_{\sigma} = 100 \text{ мкА}$
 $I_{к\text{max}} = 20 \text{ мА}$

МП40 - $\Delta I_{\sigma} = 200 \text{ мкА}$
 $U_{КЭ\text{max}} = 15 \text{ В}$
 $P_{к\text{max}} = 150 \text{ мВт}$ $C_{к} = 50 \text{ нФ}$

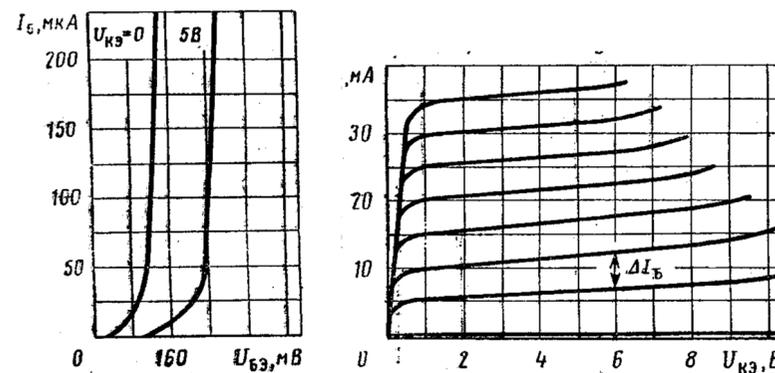
МП42А, МП42Б



МП42А - $\Delta I_{\sigma} = 100 \text{ мкА}$
 $U_{КЭ\text{max}} = 15 \text{ В}$
 $P_{к\text{max}} = 200 \text{ мВт}$

МП42Б - $\Delta I_{\sigma} = 150 \text{ мкА}$
 $I_{к\text{max}} = 150 \text{ мА}$
 $C_{к} = 50 \text{ нФ}$ $f_{ep} = 1 \text{ МГц}$

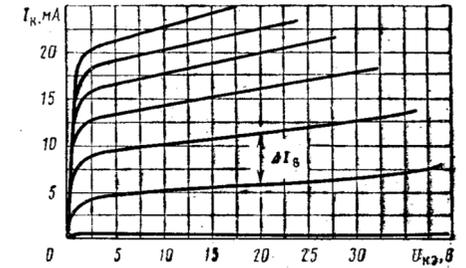
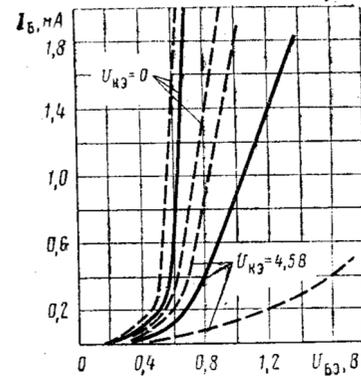
ГТ108Б, ГТ108Г



ГТ108Б - $\Delta I_{\sigma} = 100 \text{ мкА}$
 $U_{КЭ\text{max}} = 6 \text{ В}$
 $P_{к\text{max}} = 75 \text{ мВт}$

ГТ108Г - $\Delta I_{\sigma} = 50 \text{ мкА}$
 $I_{к\text{max}} = 50 \text{ мА}$
 $C_{к} = 50 \text{ нФ}$

МП114, МП115, МП116



МП114 $-\Delta I_{\sigma} = 0,3 \text{ mA}$

$I_{K \text{ max}} = 10 \text{ mA}$

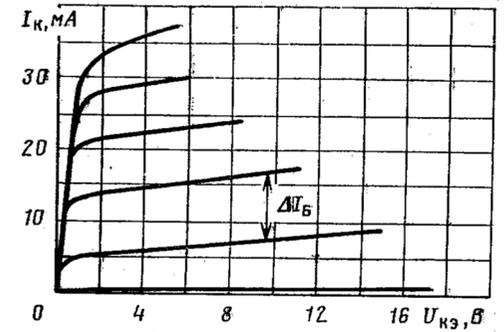
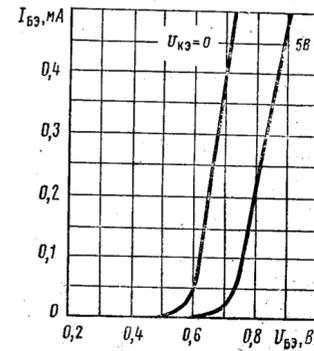
$C_{\kappa} = 50 \text{ nФ}$

МП114 $-U_{KЭ \text{ max}} = 60 \text{ B}$

$P_{\kappa \text{ max}} = 150 \text{ мВт}$

МП114 $-f_{cp} = 0,92 \text{ МГц}$

КТ201Г, КТ201Б



КТ201Б $-\Delta I_{\sigma} = 0,1 \text{ mA}$

КТ201Б $-U_{KЭ \text{ max}} = 20 \text{ B}$

$I_{K \text{ max}} = 30 \text{ mA}$

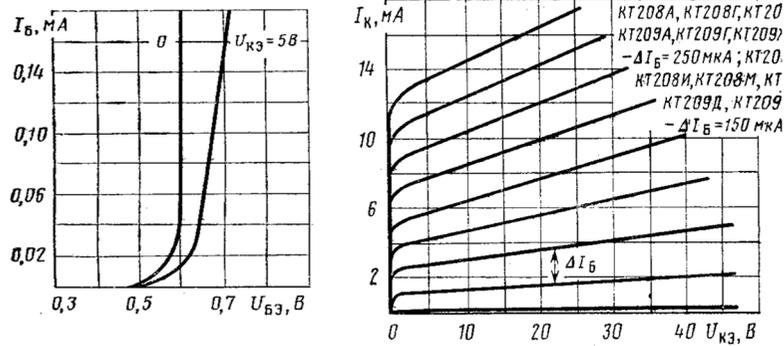
КТ201Г $-\Delta I_{\sigma} = 0,05 \text{ mA}$

КТ201Г $-U_{KЭ \text{ max}} = 10 \text{ B}$

$P_{\kappa \text{ max}} = 150 \text{ мВт}$

$C_{\kappa} = 20 \text{ nФ}$

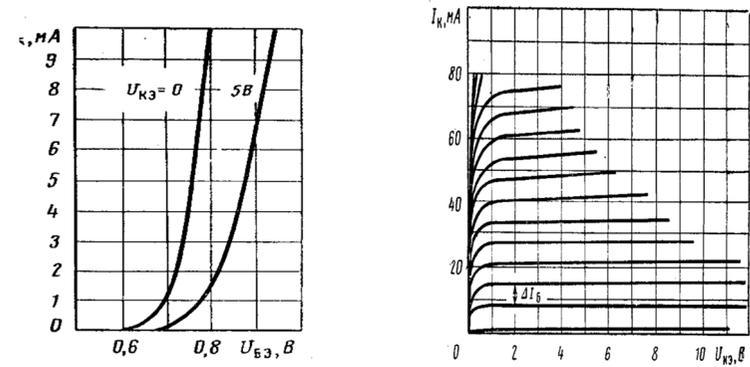
КТ208А, КТ209Б



КТ208А - $\Delta I_{\text{б}} = 150 \text{ мкА}$
 $U_{\text{кэ max}} = 15 \text{ В}$
 $P_{\text{к max}} = 200 \text{ мВт}$

КТ209Б - $\Delta I_{\text{б}} = 250 \text{ мкА}$
 $I_{\text{к max}} = 300 \text{ мА}$
 $C_{\text{к}} = 20 \text{ нФ}$

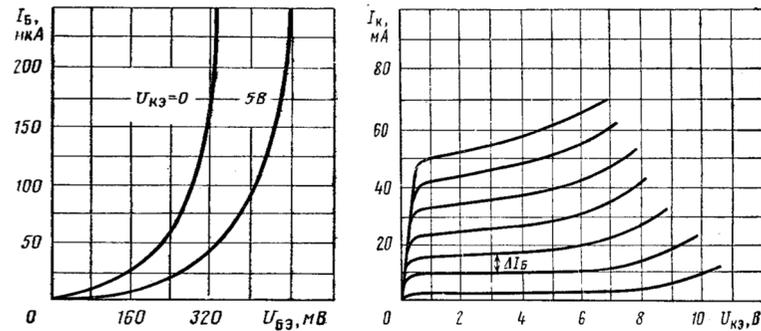
КТ313А, КТ313Б



КТ313А - $\Delta I_{\text{б}} = 0,1 \text{ мА}$
 $U_{\text{кэ max}} (\text{npu} \leq 1 \text{ кОм}) = 50 \text{ В}$
 $P_{\text{к max}} = 350 \text{ мВт}$

КТ313Б - $\Delta I_{\text{б}} = 0,05 \text{ мА}$
 $I_{\text{к max}} = 350 \text{ мА}$
 $C_{\text{к}} = 12 \text{ нФ}$

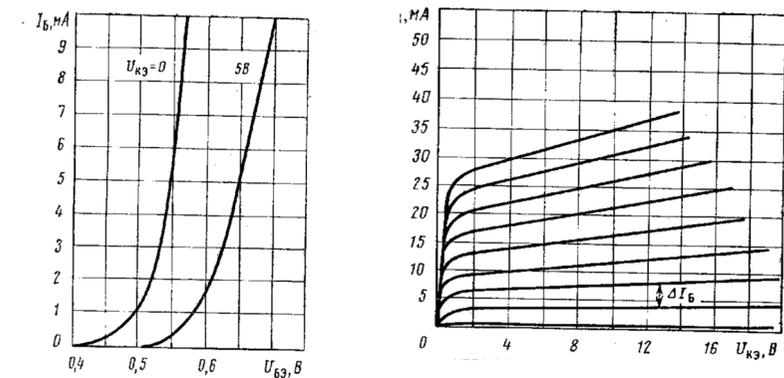
КТ3107А, КТ3107Б, КТ3107К



КТ3107А - $\Delta I_{\text{б}} = 0,2 \text{ мА}$
 КТ3107К - $\Delta I_{\text{б}} = 0,04 \text{ мА}$
 КТ3107Б - $U_{\text{кэ max}} = 45 \text{ В}$
 $I_{\text{к max}} = 100 \text{ мА}$
 $P_{\text{к max}} = 300 \text{ мВт}$
 $C_{\text{к}} = 12 \text{ нФ}$

КТ3107Б - $\Delta I_{\text{б}} = 0,1 \text{ мА}$
 КТ3107А - $U_{\text{кэ max}} = 15 \text{ В}$
 КТ3107К - $U_{\text{кэ max}} = 25 \text{ В}$

КТ345А, КТ345Б



КТ345А - $\Delta I_{\text{б}} = 0,075 \text{ мА}$
 $U_{\text{кэ max}} (\text{npu} \leq 10 \text{ кОм}) = 20 \text{ В}$
 $P_{\text{к max}} = 150 \text{ мВт}$

КТ345Б - $\Delta I_{\text{б}} = 0,05 \text{ мА}$
 $I_{\text{к max}} = 200 \text{ мА}$
 $C_{\text{к}} = 50 \text{ нФ}$

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электротехника и микропроцессорная техника: учебник. 5-е изд. М.: Высшая школа, 2013. 798 с.
2. Марченко А. Л. Основы электроники: учебное пособие для вузов. ДМК Пресс, 2009. 296 с.

Дополнительная:

3. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: справочник / под ред. Б. Л. Перельмана. М.: Радио и связь, 1985.
4. Справочник по электронным компонентам. Интернет ресурс KAZUS.RU.

Составители:

*И. А. Аккозиев, А. П. Балянов,
Д. В. Виноградов, О. П. Новиков*

ЭЛЕКТРОНИКА

Учебно-методическое пособие
для практических занятий

Редактор *А. И. Шевченко*
Компьютерная верстка *Д. В. Шевченко*

Подписано в печать 4.01.16
Формат 60x84¹/₁₆
Офсетная печать. Объем 4,75 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ 150

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2