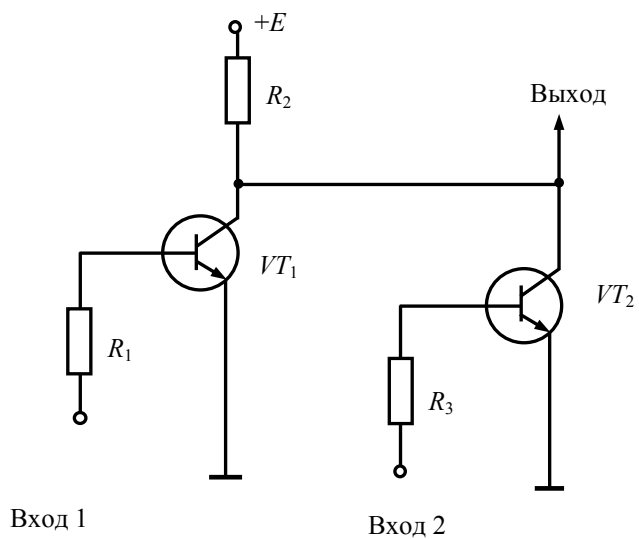


ЭЛЕКТРОНИКА



• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Тамбовский государственный технический университет"

ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания, программа и контрольные задания
для студентов заочного отделения специальности 2102010
"Проектирование и технология радиоэлектронных средств"



Тамбов
Издательство ТГТУ
2005

УДК 621.38(07)
ББК 385я73-5
С29

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор
М.М. Мордасов

С о с т а в и т е л ь

- C29 **Селиванова З.М.**
Электроника: Метод. указ. / Сост. З.М. Селиванова.
Тамбов:
Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 20 с.

Представлены методические указания, программа и контрольные задания по курсу электроники, в которых рассмотрены принципы функционирования элементов и устройств аналоговой электроники, основные методы их анализа и расчета, примеры решения задач из контрольного задания.

Предназначены для студентов заочного отделения специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств".

УДК 621.38(07)
ББК 385я73-5

© Тамбовский государствен-
ный
технический университет
(ТГТУ), 2005

Учебное издание

ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания

Составитель

С е л и в а н о в а Зоя Михайловна

Редактор З.Г. Чер н о в а

Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Р ы ж к о в а

Подписано к печати 15.04.2005.

Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,01 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С.253

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета

392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания написаны в соответствии с программой курса электроники дисциплины "Общая электротехника и электроника" по специальности 210201 "Проектирование и технология радио-электронных средств".

При изучении данного курса студенты должны усвоить принцип функционирования элементов и устройств аналоговой электроники, методы их расчета и анализа.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью контрольной работы является проверка усвоения студентами материала по курсу электроники по дисциплине "Общая электротехника и электроника". Перед выполнением контрольной работы следует изучить соответствующие разделы курса по рекомендуемой литературе и решить необходимое количество задач.

Контрольная работа состоит из шести задач по основным разделам курса и 25-и вариантов. Свой вариант студент определяет по двум последним цифрам номера зачетной книжки.

При решении каждой задачи необходимо привести условие задачи, начертить заданную схему или графики. В ходе решения давать пояснения и все используемые расчетные формулы.

В конце решения написать полученный ответ, а также список использованных источников.

Контрольная работа оформляется в тетради, на обложке которой должна быть этикетка с указанием наименования вуза, факультета, группы, дисциплины, фамилии и инициалов студента.

2 УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Т е м а 1 Основы электроники

Основные определения. Этапы развития электроники. Классификация электронных устройств. Аналоговые электронные устройства. Дискретные электронные устройства. Импульсные электронные устройства. Релейные электронные устройства. Цифровые электронные устройства. Режимы, характеристики и параметры электронных приборов. Модели электронных приборов.

Т е м а 2 Контактные явления

Электрофизические свойства полупроводников. Концентрация носителей заряда в равновесном состоянии. Неравновесное состояние полупроводника. Положение уровня Ферми в полупроводниках. Распределение носителей заряда по энергии. Плотность тока в полупроводнике.

Т е м а 3 Полупроводниковые диоды

Электронно-дырочный переход. Структура $p-n$ -перехода. Энергетическая диаграмма $p-n$ -перехода. Потенциальный барьер и толщина $p-n$ -перехода. Вольт-амперная характеристика $p-n$ -перехода. Учет сопротивления областей $p-n$ -перехода. Пробой $p-n$ -перехода. Дифференциальное сопротивление $p-n$ -перехода. Емкость $p-n$ -перехода. Малосигнальная модель $p-n$ -перехода. Частотные свойства $p-n$ -перехода. Импульсные свойства $p-n$ -перехода. Контакт металл-полупроводник, гетеропереходы. Разновидность полупроводников диодов. Классификация. Выпрямительные диоды. Стабилитроны и стабилитроны. Диоды Шоттки. Универсальные и импульсные диоды. Варикапы. Туннельные и обращенные диоды. Шумы полупроводников. СВЧ-диоды.

Т е м а 4 Биполярные транзисторы

Принцип действия. Режимы работы. Общие сведения. Физические процессы в бездрейфовом биполярном транзисторе (БТ). Влияние режимов работы БТ в статическом режиме (модель Эберса-Молла). Статические характеристики БТ. Схема с общей базой. Схема с общим эмиттером. Схема с общим коллектором. Влияние температуры на статические характеристики БТ. Зависимость коэффициента передачи тока от электрического режима работы БТ. Дифференциальные параметры БТ в статическом режиме. Квазистатический режим БТ в усилительном каскаде. БТ в квазистатическом режиме как линейный четырехполюсник. Нелинейная динамическая модель БТ. Линейная (малосигнальная) модель БТ. Частотные свойства БТ. Способы улучшения частотных свойств БТ. Переходные процессы в БТ и простейшем ключе на его основе. Шумы БТ.

Тема 5 Тиристоры

Транзисторная модель диодного тиристора (динистора). Вольт-амперная характеристика динистора. Тринистор. Симметричные тиристоры (симисторы). Переходные процессы и динамические параметры.

Тема 6 Полевые транзисторы

Общие сведения. Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом. Устройство, принцип действия и статические характеристики. Полевой транзистор с управляющим переходом типа металл-полупроводник. Идеализированная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Физические процессы в МДП-структуре. Полевой транзистор с изолированным затвором. Управление тока стока и статические характеристики МДП-транзистора с изолированным каналом. Электрические модели полевых транзисторов. Статическая модель полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом. Нелинейная динамическая модель полевого транзистора с управляющим переходом. Малосигнальная модель полевого транзистора с управляющим переходом. Нелинейная динамическая модель МДП-транзистора. Малосигнальная модель МДП-транзистора. Шумы полевых транзисторов.

Тема 7 Приборы с зарядовой связью

Структура прибора с зарядовой связью (ПЗС) и временные диаграммы изменения напряжения на его выходах. Характер изменения коэффициента потерь от частоты напряжения передачи. Основные параметры ПЗС. Основные сферы применения ПЗС.

Тема 8 Полупроводниковые элементы интегральных микросхем

Активные элементы интегральных микросхем (ИС). Особенности интегральных $n-p-n$ -транзисторов. Транзистор с тонкой базой (супербета-транзистор). Интегральный транзистор с барьером Шотки. Многоэмиттерные транзисторы. Многоколлекторные транзисторы. Интегральный $n-p-n$ -транзистор. Интегральные диоды особенности интегральных МДП-транзисторов.

Тема 9 Полупроводниковые лазеры

Инжекционный лазер. Принцип действия. Энергетическая диаграмма $p-n$ -перехода. Инжекционный лазер на основе арсенида галлия. Режим работы лазера. Основные параметры инжекционного лазера. Зависимость параметров лазера от температуры. Инжекционные лазеры на основе гетеропереходов. Особенности гетеролазеров. Достоинство и недостатки полупроводниковых лазеров. Лазеры в технике связи и системах обработки информации. Типа лазерных систем связи. Структурная схема оптического гетеродинного приемника. Структурная схема волоконно-оптической линии связи. Применение твердотельных лазеров в системах космической связи.

Тема 10 Термисторы, варисторы

Принцип действия термистора. Параметры и характеристики терморезисторов. Температурная чувствительность терморезисторов. Применение терморезисторов. Варисторы, принцип действия. Параметры, характеристики.

Тема 11 Приемники излучения

Фотоприборы с внутренним фотоэффектом. Фотопроводимость полупроводников, параметры, характеристики. Фоторезисторы, принцип действия, характеристики. Фотодиоды, принцип действия, характеристики. Фотоэлементы. *P-i-n*-фотодиоды и лавинные фотодиоды, принцип действия. Фототранзисторы. Полевые фототранзисторы. Фототиристоры.

Тема 12 Термоэлектрические приборы

Полупроводниковые терморезисторы, параметры. Зависимость сопротивления терморезистора от температуры. Измерение температуры с помощью полупроводниковых диодов. Характеристика изменения обратных токов диода от температуры. Температурный коэффициент напряжения диода. Применение биполярных транзисторов в качестве термопреобразователей. Использование схемы с общей базой для термопреобразования. Температурные зависимости коллекторного тока транзистора. Датчик температуры на двух идентичных *n-p-n*-транзисторах. Полупроводниковый датчик температуры на *p-n-p*-транзисторах с высоким коэффициентом преобразования.

Тема 13 Устройства питания

Назначение, основные параметры. Схемы, принцип действия, основные количественные соотношения одно- и двухполупериодных выпрямителей с различными фильтрами. Стабилизаторы напряжения и тока. Защита от перегрузки использования микросхем. Конструктивные особенности. Устройства согласования уровня напряжения. Управляемый выпрямитель.

3.1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ КУРСА И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

3.1 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

В этом разделе следует обратить особое внимание на расчет параметров наиболее распространенных полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов. Освоение методики расчета основных параметров приборов, нахождение их по справочным и экспериментальным данным, позволит подготовиться к решению схемотехнических задач.

Задача 1. Прямой ток полупроводникового диода равен 0,8 А при $U_{np} = 0,3$ В и $T = 35$ °С. Определить: обратный ток диода I_0 и дифференциальное сопротивление $r_{диф}$ при $U = 0,2$ В.

Решение

Температурный потенциал электрона при $T = 35$ °С

$$\varphi_T = (273 + 35) / 11\,600 \approx 26,5 \text{ мВ} .$$

Находим обратный ток диода

$$I_0 = I / (e^{U/\varphi_T} - 1) = 0,8 / (e^{300/26,5} - 1) = 8,895 \cdot 10^{-6} \text{ А} ;$$

$$I_0 \approx 8,9 \text{ мкА} .$$

Чтобы определить $r_{диф}$ при $U = 0,2$ В, надо найти, какой ток будет при этом течь через переход:

$$I = 8,9 \cdot 10^{-6} (e^{200/26,5} - 1) \approx 17,886 \text{ мА} .$$

Теперь находим

$$r_{\text{диф}} \approx \varphi_T / I \approx 0,0265 / (17,886 \cdot 10^{-3}) \approx 1,47 \text{ Ом}.$$

Задача 2. Каким будет показание вольтметра переменного напряжения в схеме на рис. 1, где $E = 10 \text{ В}$, $E_{\Gamma} = 50 \text{ мВ}$? Температура окружающей среды $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение

На диод действует прямое смещение $+10 \text{ В}$. Диод открыт, через него течет прямой ток

$$I = (E - U_{\text{д}}) / R \approx E / R = 10 / (1 \cdot 10^3) = 10 \text{ мА}.$$

Дифференциальное сопротивление диода при $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ равно:

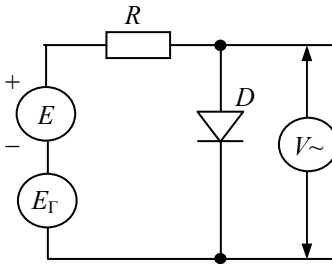


Рис. 1 Схема подключения вольтметра переменного напряжения

смещение $+10 \text{ В}$. Диод открыт, через

сопротивление диода при таком токе и

$$r_{\text{диф}} \approx \varphi_T / I = 0,025 / (10 \cdot 10^{-3}) = 2,5 \text{ Ом}.$$

Источник переменного напряжения создает в цепи переменный ток

$$I_{\sim} = E_{\Gamma} / (R + r_{\text{диф}}) = (50 \cdot 10^{-3}) / (1 \cdot 10^3 + 2,5) \approx 49,8 \cdot 10^{-6} \text{ А}.$$

Отсюда переменное напряжение на диоде составит

$$U_{\sim} = I_{\sim} r_{\text{диф}} = 49,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \approx 0,125 \text{ мВ}.$$

Следовательно, показание вольтметра переменного напряжения будет равно $0,125 \text{ мВ}$.

Задача 3. Прямой ток эмиттера $n-p-n$ -транзистора составляет $I_{\text{Э}} = 2 \text{ мА}$, коллекторная цепь разорвана. Определить напряжение на эмиттерном переходе, полагая $I_{\text{Э0}} = 1,6 \text{ мкА}$.

Решение

Через эмиттерный переход течет прямой ток, известен и его обратный ток. Прямое падение напряжения находим по известной формуле

$$U_{\text{Э}} \approx \varphi_T \ln \frac{I_{\text{Э}} + I_{\text{Э0}}}{I_{\text{Э0}}} = 0,025 \ln \frac{2 + 0,0016}{0,0016} = 0,185 \text{ В}.$$

Задача 4. По известным h -параметрам транзистора ОБ, представленного в виде четырехполюсника (рис. 2), найти дифференциальные параметры его Т-образной схемы замещения. Дано: $h_{11\text{Б}} = 30 \text{ Ом}$; $h_{21\text{Б}} = 0,97$; $h_{22\text{Б}} = 1 \text{ мкСм}$; $U_{\text{КБ}} = -5 \text{ В}$; $I_{\text{Э}} = 1 \text{ мА}$.

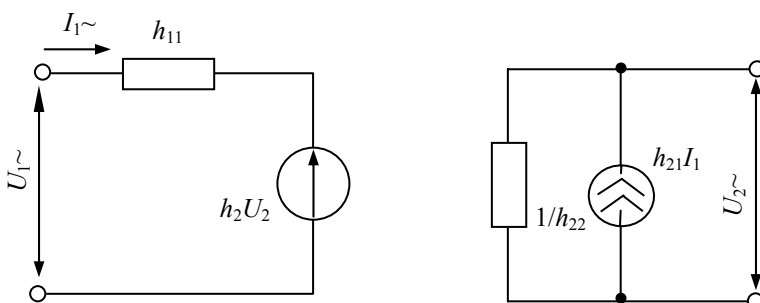


Рис. 2 Т-образная схема замещения транзистора с ОБ

Решение

Для транзистора ОБ связь между h -параметрами и параметрами Т-образной схемы замещения определяется выражениями

$$h_{11Б} \approx r_{Э} + r_{Б}(1 - \alpha) ;$$

$$h_{21Б} \approx \alpha ; h_{22Б} \approx 1 / r_{К} ;$$

$$h_{12Б} \approx r_{Б} / (r_{Б} + r_{К}) .$$

По току $I_{Э}$ находим

$$r_{Э} \approx \varphi_T / I_{Э} = 0,025 / (1 \cdot 10^{-3}) = 25 \text{ Ом} ,$$

поэтому

$$r_{Б} = (h_{11Б} - r_{Э}) / (1 - \alpha) = (30 - 25) / (1 - 0,97) \approx 166 \text{ Ом} .$$

Дифференциальное сопротивление коллекторного перехода есть обратная величина проводимости со стороны коллектора:

$$r_{К} \approx 1 / h_{22Б} = 1 / (1 \cdot 10^{-6}) = 10^6 \text{ Ом} .$$

Недостающий параметр $h_{12Б}$ находим следующим образом:

$$h_{12Б} \approx r_{Б} h_{22Б} = 166 \cdot 10^{-6} = 1,66 \cdot 10^{-4} .$$

Контрольные вопросы

- 1 Какие виды диодов Вы знаете и их условные обозначения?
- 2 Как определяют дифференциальное и статическое сопротивление полупроводниковых приборов?
- 3 Какие виды пробоя p - n -перехода существуют и в чем их отличие?
- 4 Поясните принцип действия биполярного транзистора.
- 5 Какие возможны схемы включения биполярных транзисторов и их основные параметры?
- 6 Поясните статические характеристики биполярного транзистора и их зависимость от температуры.
- 7 В чем различие принципа действия и основных характеристик полевого транзистора с p - n -переходом и МДП-транзистора?
- 8 Какими преимуществами обладают полевые транзисторы по сравнению с биполярными?
- 9 Какие режимы работы биполярного и полевого транзистора Вы знаете и в чем их особенности?
- 10 Какие эквивалентные схемы биполярного и полевого транзистора Вам известны?
- 11 В чем отличие работы транзистора от динистора?
- 12 Объясните условие образования лавинообразного тока через тиристор.

3.2 УСИЛИТЕЛИ НА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В данном разделе необходимо изучить методы расчета усилительных параметров усилителей на дискретных элементах при различных способах включения транзисторов. Следует рассмотреть примеры расчета амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик транзисторных усилителей.

Задача 5. В схеме на рис. 3 используется транзистор с коэффициентом передачи тока базы $\beta = 29$ и $I_{Э0} = I_{К0} = 10 \text{ мкА}$, источник питания $E_K = 15 \text{ В}$ и резисторы $R_Э = 1 \text{ кОм}$, $R_K = 2 \text{ кОм}$, $R_B = 75 \text{ кОм}$. В каком режиме работает транзистор?

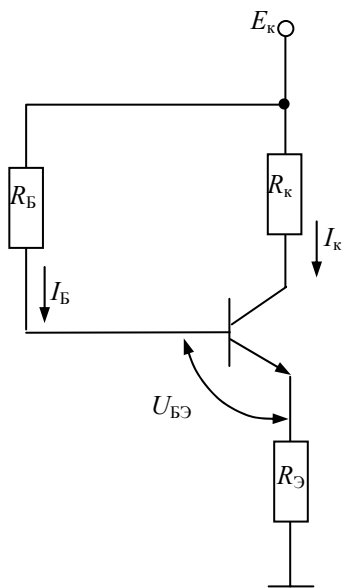


Рис. 3 Схема усилительного каскада

Решение

Запишем уравнение токов и напряжений во входной цепи:

$$E_K = I_B R_B + U_{БЭ} + I_Э R_Э = I_B [R_B + R_Э(1 + \beta)] + U_{БЭ}.$$

Последнее слагаемое есть падение напряжения на открытом переходе, которым в первом приближении можно пренебречь.

Тогда можно найти токи:

$$I_B = \frac{E_K}{R_B + R_Э(1 + \beta)} = \frac{15}{75 \cdot 10^3 + 10^3(1 + 29)} = 0,143 \text{ мА};$$

$$I_Э = I_B(1 + \beta) = 0,143 \cdot 10^{-3}(1 + 29) = 4,28 \text{ мА}.$$

Зная ток через переход $I_Э$, можно уточнить падение напряжения на эмиттерном переходе, а затем уточнить и ток базы:

$$U_{БЭ} \approx \varphi_T \ln \frac{I_Э + I_{Э0}}{I_{Э0}} \approx 0,025 \ln \frac{4,28 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-6}} = 0,025 \ln 428 \approx 0,15 \text{ В}.$$

С учетом $U_{БЭ}$ ток I_B несколько уменьшится:

$$I_B = \frac{E_K - U_{БЭ}}{R_B + R_Э(1 + \beta)} = \frac{15 - 0,15}{75 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3(1 + 29)} = 0,14 \text{ мА}.$$

Как видим, уточнение дало незначительную поправку.

Найдем ток коллектора

$$I_K = \beta I_B + I_{К0}^* = \beta I_B + I_{К0}(1 + \beta) = 29 \cdot 0,14 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-6}(1 + 29) = 4,06 \text{ мА}.$$

В дальнейшем будем считать, что $I_K \approx I_Э$.

Найдем напряжение $U_{КЭ}$ из уравнения:

$$E_K = I_K R_K + I_Э R_Э + U_{КЭ} \approx I_K (R_K + R_Э) + U_{КЭ};$$

$$U_{КЭ} \approx E_K - I_K (R_K + R_Э) = 15 - 4,06 \cdot 10^{-3}(2 + 1) \cdot 10^3 = 2,82 \text{ В}.$$

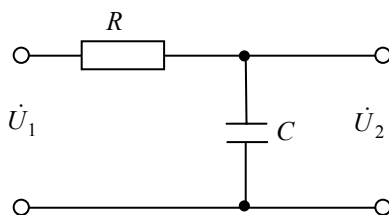
Этот результат означает, что транзистор работает в активном режиме, так как $U_{КЭ} > 1 \text{ В}$.

Задача 6. Найти комплексную передаточную функцию цепи (рис. 4) по напряжению. Построить АЧХ и ФЧХ. Дано: $\dot{U}_1 = 120 e^{j\omega t}$; $R = 20 \text{ Ом}$; $C = 100 \text{ мкФ}$.

Решение

Комплексная функция

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{\text{вх}} &= R + \frac{1}{j\omega C} = R \left(1 - \frac{j}{\omega CR} \right) = \\ &= 20 \left(1 - \frac{j}{\omega \cdot 20 \cdot 10^{-4}} \right) \text{ Ом.} \end{aligned}$$



входного сопротивления

Входной ток цепи равен

$$\dot{I}_{\text{вх}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_{\text{вх}}} = \frac{120 e^{j(\omega t)}}{20(1 - j/20 \cdot \omega \cdot 10^{-4})}$$

Напряжение \dot{U}_2 равно падению напряжения на сопротивлении X_C :

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_{\text{вх}} \cdot \dot{X}_C = \frac{120 e^{j\omega t}}{20[1 - j/(20\omega \cdot 10^{-4})]} \cdot \frac{1}{j\omega \cdot 10^{-4}}$$

Комплексная передаточная функция напряжения

$$\dot{K}_U = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{1}{1 + j\omega 20 \cdot 10^{-4}}$$

Откуда АЧХ равна

$$|\dot{K}_U| = K_U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (20\omega \cdot 10^{-4})^2}}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im} \dot{K}_U}{\text{Re} \dot{K}_U} = -\arctg(20\omega 10^{-4})$$

Графики АЧХ и ФЧХ приведены на рис. 5.

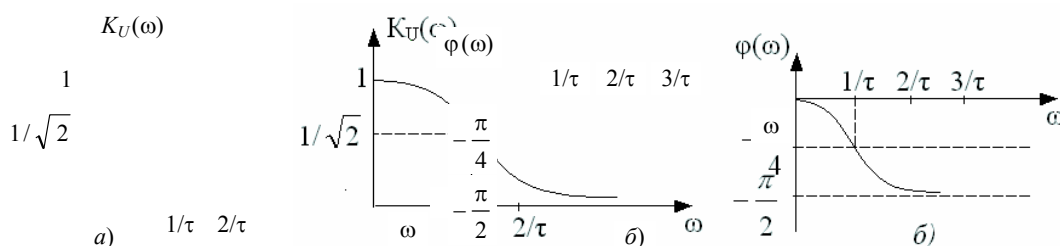


Рис. 5 АЧХ (а) и ФЧХ (б) RC-цепи

Контрольные вопросы

- 1 По каким признакам классифицируются усилительные устройства?
- 2 Что такое нормированная амплитудная частотная характеристика?
- 3 Как определить суммарный коэффициент усиления усилительного устройства, если коэффициенты отдельных каскадов выражены безразмерными величинами или в децибелах?
- 4 Чем отличаются амплитудные частотные характеристики усилителей постоянного и переменного токов?

- 5 Что такое передаточная функция усилительного устройства?
- 6 Поясните, почему ЛАЧХ и ФЧХ усилительного устройства могут быть построены суммированием соответствующих характеристик типовых звеньев?
- 7 Как по схеме усилительного устройства получить его ЛАЧХ и ФЧХ?
- 8 Что такое обратная связь в усилителе?
- 9 Какие виды обратной связи Вы знаете?
- 10 На какие параметры усилителя влияют обратные связи в усилителе?

4 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Задача 1. Задан обратный ток I_0 , мкА, полупроводникового диода при T , К. Определить сопротивление диода постоянному току и его дифференциальное сопротивление при известном прямом напряжении $U_{пр}$, мВ (табл. 1).

1 Исходные данные к задаче 1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
I_0 , мкА	1	5	3	4	2	1,5	1,3	1,2	1
T , К	300	310	330	280	290	273	315	309	310
$U_{пр}$, мВ	150	250	230	220	170	180	190	215	150
№ варианта	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I_0 , мкА	5	2	3	1,5	1,2	2	4	1	3
T , К	330	290	280	300	273	273	330	290	280
$U_{пр}$, мВ	160	230	210	220	250	160	200	210	230
№ варианта	18	19	20	21	22	23	24	25	
I_0 , мкА	1,2	1,3	1,5	1,4	2	4	1	3	
T , К	310	320	305	315	273	330	310	290	
$U_{пр}$, мВ	190	180	170	150	140	220	200	160	

Задача 2. Известен обратный ток насыщения некоторого диода I_0 с барьером Шоттки. Диод соединен последовательно с резистором и источником постоянного напряжения смещения $E_{см}$, так что на диод подается прямое напряжение. Определить сопротивление резистора, если задано падение напряжения на нем U_R , В (табл. 2).

2 Исходные данные к задаче 2

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
I_0 , мкА	2	1	1,2	1,5	1,3	1,4	2,2	2,5	3
$E_{см}$, В	0,2	0,6	0,8	0,3	0,4	0,5	0,3 5	0,2	0,6
U_R , В	0,1	0,3	0,4	0,1 5	0,2	0,2 5	0,1 7	0,1	0,3
№ вари- анта	9	10	11	12	13	14	15	16	17

анта									
I_0 , мкА	2,8	2,7	2,4	3,1	2,9	1,2	1,5	1,3	1,4
$E_{см}$, В	0,8	0,3	0,4	0,5	$0,3_5$	0,2	0,6	0,8	0,3
U_R , В	0,4	$0,1_5$	0,2	$0,2_5$	$0,1_7$	0,1	0,3	0,4	$0,1_5$
№ варианта	18	19	20	21	22	23	24	25	
I_0 , мкА	2,2	2,5	3	2,8	2,7	2,4	3,1	2,9	
$E_{см}$, В	0,4	0,5	$0,3_5$	0,2	0,6	0,8	0,3	0,4	
U_R , В	0,2	$0,2_5$	$0,1_7$	0,1	0,3	0,4	$0,1_5$	0,2	

Задача 3. В $n-p-n$ -транзисторе коллекторная цепь разорвана, задан прямой ток эмиттера $I_Э$, мА. Определить напряжение на коллекторном переходе U_K и напряжение эмиттер-коллектор $U_{КЭ}$, полагая известными обратный ток коллектора $I_{КО}$, мкА; коэффициент передачи тока эмиттера α , напряжение на эмиттере $U_Э$ (минус к эмиттеру).

3 Исходные данные к задаче 3

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_Э$, мА	2,0	2,2	2,1	1,9	2,5	2,4	3,0	2,0	3,5
$I_{КО}$, мкА	2,0	2,5	1,5	2,3	3,0	4,0	4,2	2,1	2,4
α	0,98	0,95	0,97	0,99	0,91	0,93	0,94	0,98	0,95
$U_Э$, В	0,18	0,19	0,20	0,17	0,25	0,24	0,18	0,22	0,23
№ варианта	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$I_Э$, мА	3,1	3,3	3,2	2,8	2,7	2,6	3,5	2,8	2,6
$I_{КО}$, мкА	3,2	2,8	1,7	2,2	1,6	3,4	2,2	3,7	3,3
α	0,94	0,93	0,97	0,91	0,99	0,98	0,94	0,99	0,97
$U_Э$, В	0,20	0,19	0,17	0,25	0,23	0,24	0,22	0,23	0,20
№ варианта	18	19	20	21	22	23	24	25	
$I_Э$, мА	2,1	2,0	2,2	1,9	3,0	2,9	3,1	3,3	
$I_{КО}$, мкА	1,7	1,5	2	3,1	3,0	1,6	3,4	3,5	
α	0,95	0,96	0,91	0,98	0,90	0,93	0,92	0,94	
$U_Э$, В	0,18	$0,17_0$	0,25	0,19	0,21	0,24	0,19	0,22	

Задача 4. Транзистор в имеет следующие эмиттера α ; сопротивление $r_{\text{Б}}$, Ом; сопротивление h -параметры для схемы с **4 Исходные данные к**

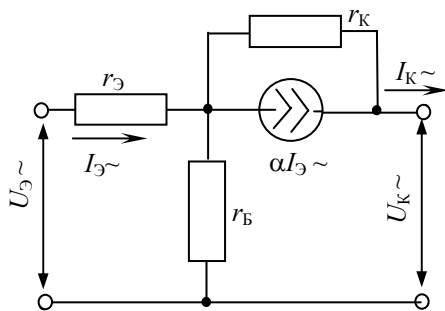


Рис. 6 Схема замещения транзистора с ОБ

Т-образной схеме замещения (рис. 6) параметры: коэффициент передачи тока коллектора $r_{\text{К}}$, Ом; сопротивление базы эмиттера $r_{\text{Э}}$, Ом (табл. 4). Определить ОБ.

задаче 4

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
α	0,99	0,98	0,91	0,95	0,94	0,93	0,97	0,96	0,98
$r_{\text{К}}$, МОм	1,5	1,9	1,8	1,1	1,3	1,2	1,4	1,5	1,6
$r_{\text{Б}}$, Ом	200	220	240	150	180	270	300	390	200
$r_{\text{Э}}$, Ом	20	22	13	15	18	24	27	30	39
№ варианта	9	10	11	12	13	14	15	16	17
α	0,95	0,94	0,92	0,97	0,96	0,93	0,99	0,96	0,91
$r_{\text{К}}$, МОм	1,7	1,9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,6	1,9	1,1
$r_{\text{Б}}$, Ом	240	150	180	220	390	240	220	200	150
$r_{\text{Э}}$, Ом	43	47	18	15	13	27	24	30	43
№ варианта	18	19	20	21	22	23	24	25	
α	0,94	0,92	0,95	0,98	0,97	0,96	0,91	0,93	
$r_{\text{К}}$, МОм	1,3	1,2	1,8	1,7	2,0	2,1	1,4	1,5	
$r_{\text{Б}}$, Ом	180	270	300	390	200	180	270	220	
$r_{\text{Э}}$, Ом	20	22	15	18	39	24	27	30	

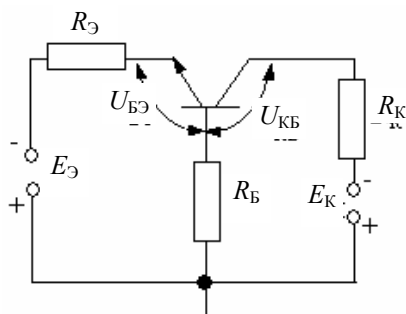


Рис. 7 Усилительный каскад с ОБ

Задача 5. В схеме на рис. 7 найти напряжение коллектор-база $U_{\text{КБ}}$, если известны следующие параметры: $R_{\text{Э}}$, кОм; $R_{\text{К}}$, кОм; $R_{\text{Б}}$, кОм; $E_{\text{Э}}$, В; $E_{\text{К}}$, В; коэффициент передачи тока эмиттера α ; обратный ток коллектора $I_{\text{КО}}$, мкА (табл. 5).

5 Исходные данные к задаче 5

№ вари-	0	1	2	3	4	5	6	7	8
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

анта									
$R_{Э}, \text{кОм}$	2	1,5	1,8	2,0	2,4	2,7	3,0	2,4	2,7
$R_{К}, \text{кОм}$	5,1	4,3	4,7	5,6	6,2	6,8	7,5	4,7	5,6
$R_{Б}, \text{кОм}$	51	47	56	62	68	75	56	68	62
$E_{Э}, \text{В}$	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
$E_{К}, \text{В}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20
α	0,98	0,93	0,94	0,06	0,97	0,99	0,95	0,99	0,98
$I_{КО}, \text{мкА}$	10	15	11	24	21	22	23	18	25
№ вари- анта	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$R_{Э}, \text{кОм}$	3,0	2,4	1,8	1,5	2,4	1,5	2,0	2	2,7
$R_{К}, \text{кОм}$	5,1	4,3	6,2	6,8	5,6	5,1	4,7	5,1	7,5
$R_{Б}, \text{кОм}$	47	51	56	75	62	68	47	51	47
$E_{Э}, \text{В}$	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
$E_{К}, \text{В}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20
α	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,93	0,95	98	0,95
$I_{КО}, \text{мкА}$	20	10	16	17	21	22	12	10	20
№ вари- анта	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$R_{Э}, \text{кОм}$	2,0	2,4	1,8	1,5	3,0	2,0	1,5	1,8	2,4
$R_{К}, \text{кОм}$	4,7	5,6	5,1	4,3	6,2	6,8	5,1	4,3	4,7
$R_{Б}, \text{кОм}$	68	62	75	43	47	51	68	62	75
$E_{Э}, \text{В}$	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
$E_{К}, \text{В}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20
α	0,97	0,96	0,99	0,9 4	0,9 3	0,9 9	0,9 8	0,9 7	0,9 6
$I_{КО}, \text{мкА}$	25	18	16	15	11	12	24	22	21

Задача 6. Найти цепи (рис. 8) по напряжению, напряжение $\dot{U}_1, \text{В}$; $R, \text{Ом}$;

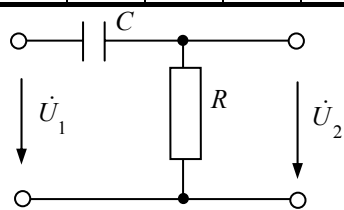


Рис. 8 Схема CR-цепи

комплексную передаточную функцию построить АЧХ и ФЧХ. Дано входное $C, \text{мкФ}$ (табл. 6).

6 Исходные данные к задаче

6

№ вари- анта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_1 \cdot e^{j\omega t}$	120	140	150	128	130	126	135	138	140
$R, \text{Ом}$	43	39	51	56	47	39	27	24	51
$C, \text{мкФ}$	200	50	100	500	100	50	500	200	100

№ варианта	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$U_1 \cdot e^{j\omega t}$	128	150	120	130	150	140	128	126	135
$R, \text{ Ом}$	39	43	47	39	43	51	56	47	39
$C, \text{ мкФ}$	50	500	200	200	500	100	50	100	500
№ варианта	18	19	20	21	22	23	24	25	
$U_1 \cdot e^{j\omega t}$	138	150	136	130	140	128	145	120	
$R, \text{ Ом}$	27	47	51	43	39	24	39	43	
$C, \text{ мкФ}$	200	50	100	200	500	50	100	200	

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Опадчий Ю.Ф.* и др Аналоговая и цифровая электроника: Учеб. для вузов / Под ред. Глудкина. М.: Радио и связь, 2000. 480 с.
- 2 *Каяцкас А.А.* Основы радиоэлектроники: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1988.
- 3 *Манаев Е.И.* Основы радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1990. 512 с.
- 4 *Головатенко-Абрамова Л.П., Латидес А.М.* Задачи по электронике. М.: Энергоатомиздат, 1988.
- 5 *Зайцев А.А.* Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник: 3-е изд./ Под ред. А.В. Голомедова. М.: КУБК-а, 1995. 640 с.
- 6 *Зайцев А.А.* Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник: 2-е изд. / Под ред. А.В. Голомедова. М.: Радио и связь, КУБК-а, 1995. 384 с.
- 7 *Аксенов А.И., Нефедов А.В.* Отечественные полупроводниковые приборы: Справочник: 3-е изд., перераб. и доп. М.: СОЛОН-Р, 2002. 544 с.
- 8 *Терехов В.А.* Задачник по электронным приборам: Учеб. пособие для вузов: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 280 с.