

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

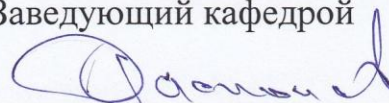
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева

Кафедра «Приборы управления»

Утверждено на заседании кафедры
«Приборы управления»
« 19 » января 2022 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой



В.Я. Распопов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Электроника-1»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
12.03.02 – Оптотехника

с направленностью (профилем)
Опτικο-электронные приборы и системы

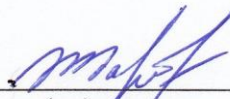
Форма(ы) обучения: *очная*

Идентификационный номер образовательной программы: 120302-01-2022

Тула 2022 год

Разработчик(и) методических указаний

Иванов Ю.В., профессор кафедры ПУ, д. т.н.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Содержание

С.

Практическое занятие №1 Расчет параметров вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов	
Практическое занятие №2 Расчет параметров вольт-амперных характеристик стабилитронов и стабисторов	
Практическое занятие №3 Расчет h -параметров биполярных транзисторов по вольт-амперным характеристикам	
Практическое занятие № 4 Однокаскадный усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Расчет по постоянному току	4
Практическое занятие № 5 Однокаскадный усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Расчет по переменному току.	8
Практическое занятие № 6 Однокаскадный усилитель на биполярном транзисторе с общим коллектором. Расчет по переменному току.	10
Практическое занятие № 7 Расчет усилителей мощности	14
Практическое занятие № 8 Расчет бестрансформаторного усилителя мощности	

Практическое занятие №1

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета параметров вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов

Задачи работы: изучить краткие теоретические сведения, изучить основные расчетные формулы, решить задачи.

2. Общие положения (теоретические сведения)

ВАХ p - n перехода — это зависимость тока через p - n переход от величины и полярности приложенного напряжения. Аналитически ВАХ представляется выражением

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

где I_0 — обратный ток насыщения p - n перехода (при неизменной температуре определяется физическим свойством полупроводникового материала);

U — напряжение, приложенное к p - n -переходу;

φ_T — температурный потенциал $\varphi_T = \frac{kT}{q}$, где q — заряд электрона.

Графически ВАХ показана на рис. 1.1. Она отражает процессы в p - n переходе, рассмотренные выше. При прямом включении p - n переход имеет малое сопротивление и через него протекает значительный прямой ток. Начиная с точки 1 потенциальный барьер исчезает и характеристика p - n перехода представляет собой прямую линию, наклон которой зависит от сопротивления базовой области. При обратном включении сопротивление p - n перехода очень велико и через него протекает лишь небольшой ток I_0 — обратный ток насыщения. В точке 2 при $U_{обр} = U_{проб}$ наступает пробой p - n перехода. Анализ ВАХ p - n перехода позволяет сделать вывод о нелинейности свойств p - n перехода, а также отметить главное свойство p - n перехода — свойство односторонней проводимости.

Различают электрический (обратимый) и неэлектрический (необратимый) пробой p - n перехода.

Электрический пробой p - n перехода бывает двух типов: лавинный и туннельный.

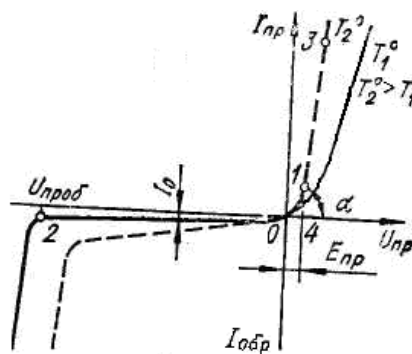


Рис. 1.1

Электрический лавинный пробой возникает в результате внутренней электрической эмиссии электронов под действием ударной ионизации атомов полупроводника.

Туннельный пробой возникает за счет туннельного эффекта, при котором длина свободного пробега носителей заряда становится больше ширины p - n перехода и ударная ионизация при этом невозможна.

Электрический пробой называют обратимым, так как p - n переход может находиться в режиме пробоя значительное число раз, сохраняя при этом свои свойства при уменьшении обратного напряжения.

Необратимый пробой бывает двух видов: тепловой и поверхностный.

Тепловой пробой происходит за счет нагрева p - n перехода. Нагрев может происходить либо за счет протекания большого обратного тока через p - n переход, либо от внешнего источника тепла. В обоих случаях p - n переход нагревается, происходит дополнительная генерация пар электрон-дырка, что, в свою очередь, увеличивает обратный ток. Проводимость p - n перехода резко падает. Наступает тепловой (необратимый) пробой p - n перехода, который выводит его из строя.

Следует отметить, что электрический пробой может также перейти в необратимый тепловой пробой, если не ограничить величину обратного тока через p - n переход. Поверхностный пробой может происходить за счет скопления значительного количества зарядов на поверхности полупроводников. Для защиты от поверхностного пробоя применяют специальные покрытия.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры ВАХ полупроводниковых диодов.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

Задача 1. В результате измерений было установлено, что при температуре окружающей среды 17°C ток через p - n переход при напряжении $U_1 = -10$ В составляет 100 мкА. Определить ток через p - n переход при напряжении $U_2 = -0,1$ В, если известно, что $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К и $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$|I_0| = \frac{I}{\left(e^{\frac{qU_1}{kT}} - 1\right)} = 100 \text{ мкА.} \quad I = I_0 \left(e^{\frac{qU_2}{kT}} - 1\right) = -33 \text{ мкА.}$$

Задача 2. Найти напряжение, при котором ток через p - n переход составляет 1А, если известно, что обратный ток насыщения p - n перехода составляет 3 мкА, температура окружающей среды 17°C , $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К и $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) = 0,32 \text{ В.}$$

Задача 3. По вольт-амперным характеристикам диода КД103А (рис.1.9) определить изменения прямого тока при изменении температуры от -60 до $+120^\circ\text{C}$ для значения $U_{пр} = 0,4$ В.

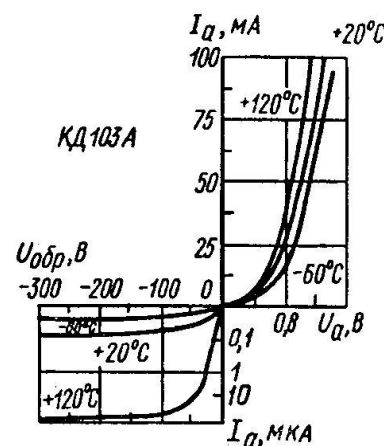


Рис. 1.

Задача 4. По вольт-амперным характеристикам диода КД103А определить изменения прямого тока при изменении температуры от -60 до $+120^\circ\text{C}$ для значения $U_{\text{пр}} = 0,6\text{ В}$.

Задача 5. Во сколько раз изменится прямой ток диода КД103А при увеличении температуры от -60 до 120°C для $U_{\text{пр}} = 0,6\text{ В}$?

Задача 6. К p - n переходу, зависимость барьерной емкости от обратного напряжения которого, приведена на рис.1.10, приложено обратное напряжение 23 В . Какую емкость необходимо подключить параллельно барьерной, чтобы их общая емкость составила 150 пФ ?

$C = 100\text{ пФ}$.

Задача 7. По ВАХ p - n перехода (рис. 1.8) определить величину напряжения пробоя. $U_{\text{проб}} = 8\text{ В}$.

Задача 8. Если к p - n переходу приложить напряжение $U = 0,1\text{ В}$, то через него протекает ток $I = 0,2\text{ мА}$ при температуре окружающей среды $t = 25^\circ\text{C}$. Какое напряжение необходимо приложить к p - n переходу, чтобы через него протекал ток 10 А , учитывая, что $k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Дж/К}$ и $q = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}$.

$$|I_0| = \frac{I}{\left(e^{\frac{qU_{\text{пр}}}{kT}} - 1 \right)} = 4,16\text{ мкА.}$$

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) = 0,377\text{ В.}$$

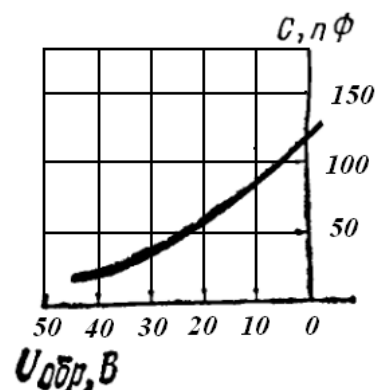


Рис. 2

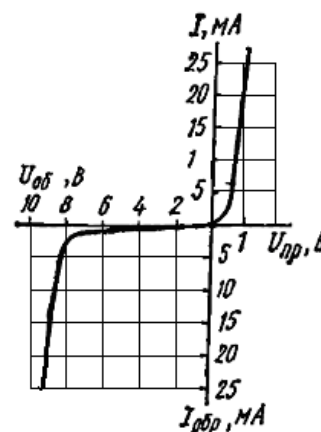


Рис. 3

5. Контрольные вопросы

1. Какие основные полупроводниковые диоды вы знаете?
2. Где применяют выпрямительные диоды?
3. Каковы особенности импульсных, точечных и плоскостных диодов?
4. Сравните германиевый и кремниевый диоды, пользуясь их ВАХ.
5. Каковы основные параметры выпрямительных диодов?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.

Практическое занятие № 2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИТРОНОВ И СТАБИСТОРОВ

Цель работы: получение практических навыков расчета параметров вольт-амперных характеристик полупроводниковых стабилитронов и стабисторов

Задачи работы: изучить краткие теоретические сведения, изучить основные расчетные формулы, решить задачи.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Полупроводниковым стабилитроном (ПС) называют полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя слабо зависит от тока. Рабочим участком ВАХ ПС является область пробоя $I_{ст\ max} - I_{ст\ min}$ (рис. 2.1,а). При ограничении величины обратного тока состояние пробоя в стабилитроне может поддерживаться и воспроизводиться в течение десятков тысяч часов.

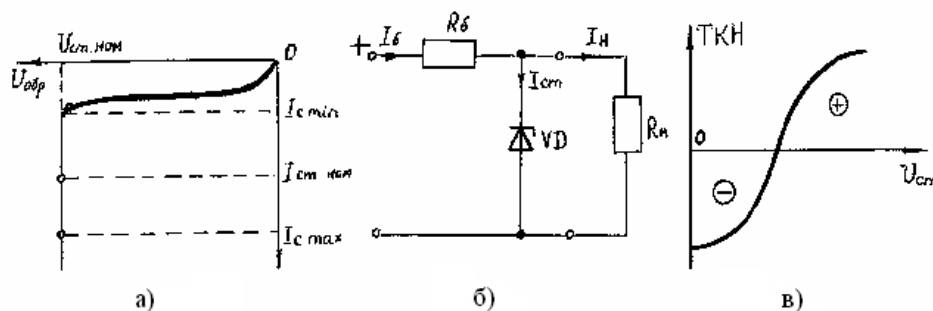


Рис. 2.1.

Полупроводниковые стабилитроны поменяются в основном в стабилизаторах напряжения компенсационного и параметрического типа. Типовая схема включения стабилитрона показана на рис. 2.1, б.

Значение напряжения стабилизации $U_{ст}$ зависит от полупроводникового материала и технологии его обработки. В качестве исходного материала при изготовлении стабилитронов используется кремний. Это вызвано тем, что обратные токи $p-n$ переходов на основе кремния невелики, следовательно, в них меньше вероятность необратимого теплового пробоя за счет протекания обратного тока.

В качестве стабилитронов с $U_{ст}$ порядка 3...4 В применяются сплавные диоды из низкоомного (высоколегированного примесью) материала. В этом случае образуется узкий плоскостной переход с четкими границами, в котором при сравнительно низких обратных напряжениях возникает туннельный электрический пробой.

У стабилитронов с $U_{ст} > 7В$ (изготавливаются из более высокоомных материалов) возникает лавинный электрический пробой. В диапазоне $U_{ст} = 3 - 7 В$ пробой вызван взаимодействием туннельного и лавинного механизмов. Основные электрические параметры ПС:

$U_{ст\ ном}$ - номинальное напряжение стабилизации (падение напряжения на стабилитроне в области стабилизации при номинальном значении тока $I_{ст\ ном}$);

$I_{ст\ max} - I_{ст\ min}$ — область стабилизации;

$I_{ст\ min}$ - минимально допустимый постоянный ток стабилизации (минимальное значение тока стабилизации ограничено нестабильностью обратного тока в предпробойный период);

$I_{ст\ max}$ - максимально допустимый постоянный ток стабилизации (максимальное значение тока стабилизации ограничивается допустимой мощностью рассеивания P_{max} , выделяемой на стабилитроне при прохождении обратного тока);

$I_{ст\ ном}$ - номинальный ток стабилизации $I_{стном} \approx \frac{I_{ст\ max} - I_{ст\ min}}{2}$;

$r_{ст}$ - дифференциальное сопротивление стабилитрона (дифференциальное сопротивление в рабочей точке на участке стабилизации $r_{ст} = \frac{dU_{ст}}{dI_{ст}}$)

характеризует постоянство напряжения стабилизации при изменении тока стабилизации и составляет единицы - десятки Ом;

$\alpha_{ст}$ - средний температурный коэффициент напряжения стабилизации (ТНК)

$$\alpha_{ст} = \frac{dU_{ст}}{U_{ст}} \frac{1}{dT} \times 100\% \quad \text{при} \quad I_{ст} = \text{const.}$$

ТНК является одним из наиболее важных параметров ПС. При туннельном характере пробоя $\alpha_{ст}$ имеет положительный знак, а при лавинном - отрицательный знак (рис.2.1, в).

Для уменьшения ТНК последовательно со стабилитроном включают полупроводниковые диоды, имеющие ТНК противоположного знака.

По значению допустимой мощности рассеивания P_{max} стабилитроны подразделяются на стабилитроны малой ($P_{max} < 0,3\text{Вт}$), средней ($0,3 < P_{max} \leq 5\text{Вт}$) мощности и большой ($P_{max} > 5\text{Вт}$) мощности

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры полупроводниковых стабилитронов и стабисторов.

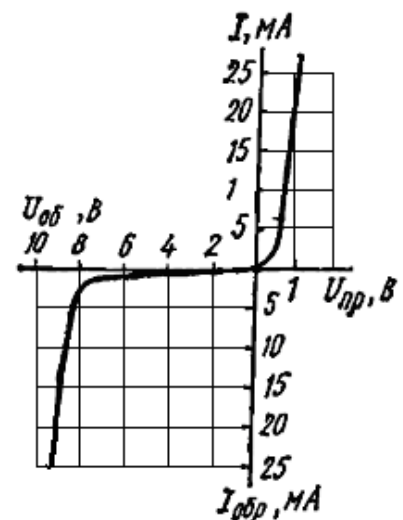
4. Ход работы (порядок выполнения работы)

Задача 1. По вольт-амперной характеристике стабилитрона определить его дифференциальное сопротивление. $r_{диф} = 50\text{ Ом}$.

Задача 2. По ВАХ стабилитрона, показанной на рис.1.2, определить величину напряжения пробоя. $U_{пр} = 8\text{ В}$.

Задача 3. По вольт-амперной характеристике стабилитрона (рис.1.2) определить его минимальное и максимальное напряжение стабилизации, если допустимая рассеиваемая мощность $P_{доп} = 200\text{ мВт}$. $U_{стmin} = 8\text{ В}$. $U_{стmax} = 9,2\text{ В}$ ($21,5 \cdot 9,2 = 197,8\text{ мВт}$).

Задача 4. По вольт-амперной характеристике стабилитрона (рис.1.2) определить его минимальный и максимальный ток стабилизации, если допустимая рассеиваемая мощность $P_{доп} = 200\text{ мВт}$. $I_{стmin} = 2,5\text{ мА}$. $I_{стmax} = 21,5\text{ мА}$. ($200/9,2 = 21,7$)



Задача 5. Стабилитрон имеет номинальное напряжение стабилизации $U_{\text{ст.ном}} = 9 \text{ В}$ при номинальном токе стабилизации $I_{\text{ст.ном}} = 15 \text{ мА}$. Найти максимальное напряжение и ток стабилизации, если дифференциальное сопротивление стабилитрона $r_{\text{диф}} = 12 \text{ Ом}$, допустимая рассеиваемая мощность $P_{\text{доп}} = 280 \text{ мВт}$.
 $(9 + 12\Delta I)(0.015 + \Delta I) = 0.28 \quad \Delta I = 15,5 \text{ мА}$. $U_{\text{ст.мах}} = 9,186 \text{ В}$. $I_{\text{ст.мах}} = 30,5 \text{ мА}$.

Задача 6. Какое напряжение можно стабилизировать на нагрузке при последовательном включении двух стабилитронов Д814Г, каждый из которых имеет напряжение стабилизации $U_{\text{ст}} = 10 \dots 12 \text{ В}$?
 $U_{\text{ст}} = 20 \dots 24 \text{ В}$.

Задача 7. Начертите схему в которой с помощью стабилитрона, имеющего напряжение стабилизации $U_{\text{ст}} = 6 \text{ В}$ и прямое напряжение $U_{\text{пр}} = 1 \text{ В}$, можно стабилизировать напряжение 7 В . **Один стабилитрон включить в обратном направлении, а второй – в прямом.**

Контрольные вопросы

1. Какие участки ВАХ стабилитрона и стабилитора называются рабочими?
2. Как изменяется напряжение стабилитрона при изменении протекающего через него тока?
3. Какие свойства стабилитрона оцениваются дифференциальным сопротивлением?
4. Почему стабилитрон и стабилитор плохо работают при токах, меньших минимальных токов стабилизации?
5. Каковы основные параметры стабилитрона?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.

Практическое занятие № 3

РАСЧЕТ h -ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета h -параметров биполярных транзисторов по их вольт-амперным характеристикам.

Задачи работы: изучить краткие теоретические сведения, изучить основные расчетные формулы, решить задачи.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Связь между напряжениями и токами на входе и выходе четырехполюсника можно выразить в форме двух линейных уравнений с параметрами h , связывающими токи и напряжения на входе и выходе четырехполюсника:

$$\begin{cases} U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \end{cases}$$

Параметры h_{22} и h_{12} измеряются в режиме холостого хода на входе, а параметры h_{11} и h_{21} – в режиме короткого замыкания на выходе.

В системе h -параметров за независимые переменные приняты ток на входе I_1 и напряжение на выходе U_2 транзистора, а в качестве зависимых – входное напряжение U_1 и выходной ток I_2 .

При этом

$$h_{11} = \frac{U_1}{I_1} \Big|_{U_2 = 0}$$

– входное сопротивление, определяемое в режиме короткого замыкания по переменному току на выходе транзистора ($U_2 = 0$);

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_1 = 0}$$

– коэффициент обратной связи по напряжению, определяемый в режиме холостого хода на входных зажимах ($I_1 = 0$);

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{U_2 = 0}$$

– коэффициент передачи (усиления) по току, определяемый в режиме короткого замыкания по переменному току на выходе ($U_2 = 0$);

$$h_{22} = \frac{I_2}{U_2} \Big|_{I_1 = 0}$$

– выходная проводимость, определяемая в режиме холостого хода на входе ($I_1 = 0$).

Для реализации режима холостого хода на входе и короткого замыкания на выходе достаточно включить большую индуктивность на входе транзистора и большую емкость — на выходе, не изменяя при этом выбранного режима работы по постоянному току.

Эквивалентная схема, соответствующая системе h -параметров, изображена на рис. 2.11, а.

Значения h -параметров зависят от выбора рабочей точки, температуры, частоты и схемы включения транзистора. Для определенной схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК) добавляются соответствующие индексы (Э, Б, К) при обозначении параметров, например, $h_{12Б}$; $h_{22К}$ и т. д.

Приближенные значения h -параметров можно определить графоаналитическим способом по статическим входным и выходным характеристикам. Для определения всех h -параметров необходимо иметь не менее двух характеристик каждого семейства (входных и выходных). Параметры рассчитываются по величинам конечных приращений токов и напряжений вблизи рабочей точки транзистора.

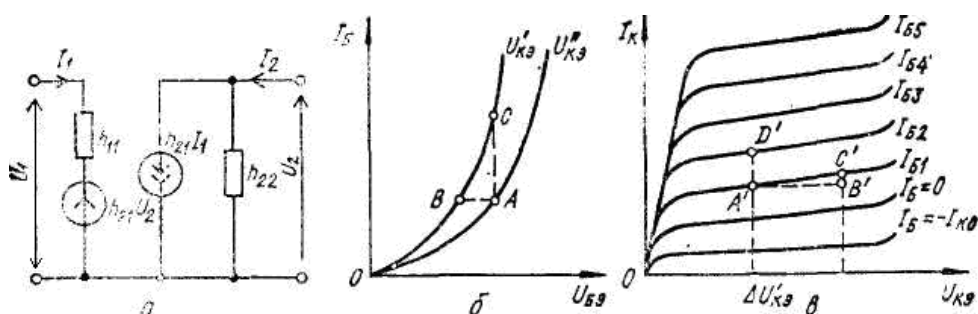


Рис.2.11

Для схемы с ОЭ на семействе входных характеристик в рабочей точке A строят треугольник (из A проводят прямые, параллельные оси абсцисс и оси ординат до пересечения со второй характеристикой в точках B и C , (рис. 2.11, б). Из характеристического треугольника ABC получают все необходимые величины для определения $h_{11э}$ и $h_{12э}$:

$$h_{11э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_б} = \frac{AB}{AC}; \quad h_{12э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}} = \frac{AB}{\Delta U_{кэ}'' - \Delta U_{кэ}'}$$

В рабочей точке A' по выходным характеристикам (рис. 2.11, в) определяют параметры $h_{22э}$ и $h_{21э}$:

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} = \frac{A'D'}{\Delta I_{б2} - \Delta I_{б1}}; \quad h_{22э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}'} = \frac{B'C'}{A'B'}$$

Аналогично можно определить h -параметры для схемы с ОБ.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать h -параметры полупроводниковых биполярных транзисторов.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

4.1. Для транзистора КТ312А обратный ток коллектора $I_к = 10$ мкА при напряжении $U_к = 15$ В. Определить по вольт-амперным характеристикам транзистора (рис. 2.1) обратное сопротивление коллекторного перехода постоянному току. $R_{обр} = 1,5$ МОм.

4.2. Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А (рис. 2.1) определить его коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$.

$$h_{21э} = 50$$

4.3. Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А (рис. 2.1) определить его выходную проводимость в схеме с общим эмиттером $h_{22э}$. $h_{22э} = 0,2$ мСм.

4.4. Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (рис. 2.1),

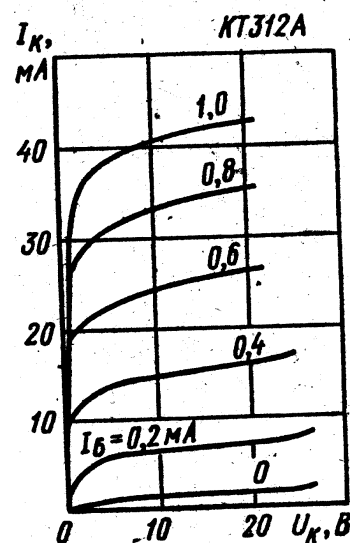


Рис. 2.1

определить значение обратного тока коллектора при напряжении коллектор-эмиттер 15 В. $I_{к0} = 0,04$ мА.

4.5. Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (рис. 2.1), определить значение сопротивления коллекторной цепи транзистора в схеме с общей базой при токе базы 0,4 мА. $r_{к(б)} = 255$ кОм.

4.6. Допустимая рассеиваемая мощность на коллекторе транзистора КТ312А $P_{\text{доп}} = 225$ мВт. По семейству выходных характеристик в схеме с общим эмиттером (рис. 2.1) определить превышает ли допустимая мощность при токе коллектора $I_k = 32,5$ мА, и токе базы $I_b = 0,8$ мА и на сколько процентов? **Превышается более 10%.**

4.7. По входной характеристике транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (рис. 2.2) определить входное сопротивление переменному току при напряжении на коллекторе 5 В и напряжении на базе 0,8 В.
 $R_{\text{вх}} = 0,125$ кОм.

4.8. У транзистора КТ339А, включенного по схеме с общей базой, при изменении тока эмиттера на 10 мА ток коллектора изменяется на 9,7 мА. Определить коэффициент усиления по току транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

$h_{21э} = 32$.

4.9. По выходным характеристикам транзистора ГТ403А в схеме с общей базой (рис. 2.3) определить коэффициент передачи тока базы $h_{21э}$ для напряжения на коллекторе $U_{кб} = 8$ В тока эмиттера $I_э = 0,2$ А.

$h_{21э} = 19$

4.10. По входной характеристике транзистора ГТ403А в схеме с общей базой (рис. 2.3), снятой при $U_{кб} = 0$ В, определить сопротивление переменному току, если известно, что ток эмиттера изменяется в пределах от 0,15 до 0,35 А. **1 Ом.**

4.11. Используя входную характеристику транзистора ГТ403А, включенного в схеме с общей базой (рис. 2.3) определить входное сопротивление переменному току при напряжениях $U_{эб} = 0,2$ В и $U_{кб} = 0$ В. **$R_{\text{вх}} = 2$ Ом.**

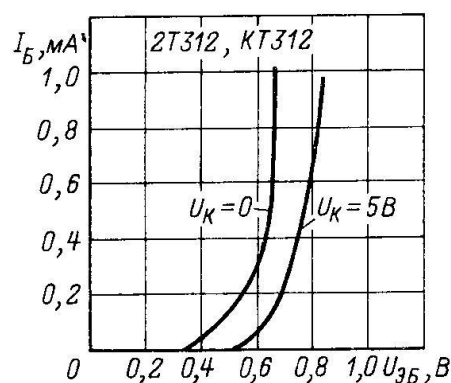


Рис.2.2

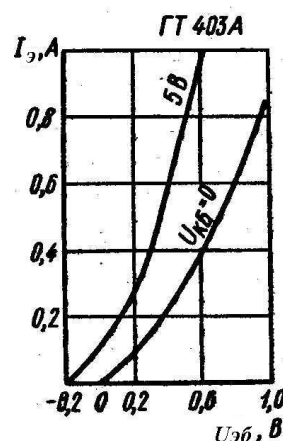
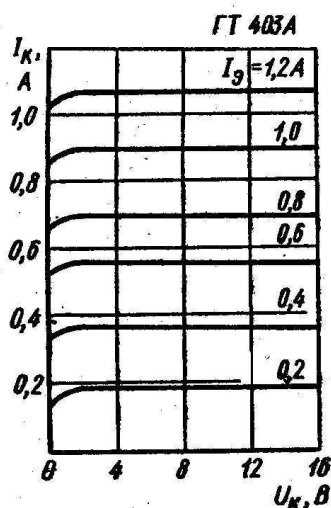


Рис.2.3

4.12. Для транзистора ГТ403А, включенного по схеме с общей базой (рис. 2.3), ток коллектора изменяется на 140 мА, а ток эмиттера – на 145 мА. Определить коэффициент усиления тока базы. **$h_{21э} = 28$.**

Контрольные вопросы

1. Почему $h_{21Э}$ значительно больше 1?
2. Почему входное сопротивление транзистора в схеме с ОЭ больше, чем в схеме с ОБ?
3. Какие параметры транзистора, включенного с ОЭ, характеризуют его рабочую точку?
4. Каков физический смысл h -параметров и при каких условиях их определяют?
5. Почему схема включения транзистора с ОЭ наиболее распространена?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.

Практическое занятие № 4

ОДНОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ. РАСЧЕТ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета по постоянному току однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

Задачи работы: получение практических навыков расчета элементов схемы однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером при расчете по постоянному току.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Каскад на базе биполярного транзистора (БТ) с общим эмиттером (ОЭ) относится к усилителям низкой частоты. Он состоит из основных и вспомогательных элементов.

Основные элементы:

1. Транзистор VT – активный элемент, предназначенный для усиления входного тока $I_{\text{вх}}$.
2. Транзистор R_k – сопротивление коллекторной нагрузки, предназначен для преобразования тока коллектора транзистора VT в выходное напряжение.
3. Источник питания E_k , за счет энергии которого обеспечивается увеличение выходной мощности в усилителе.

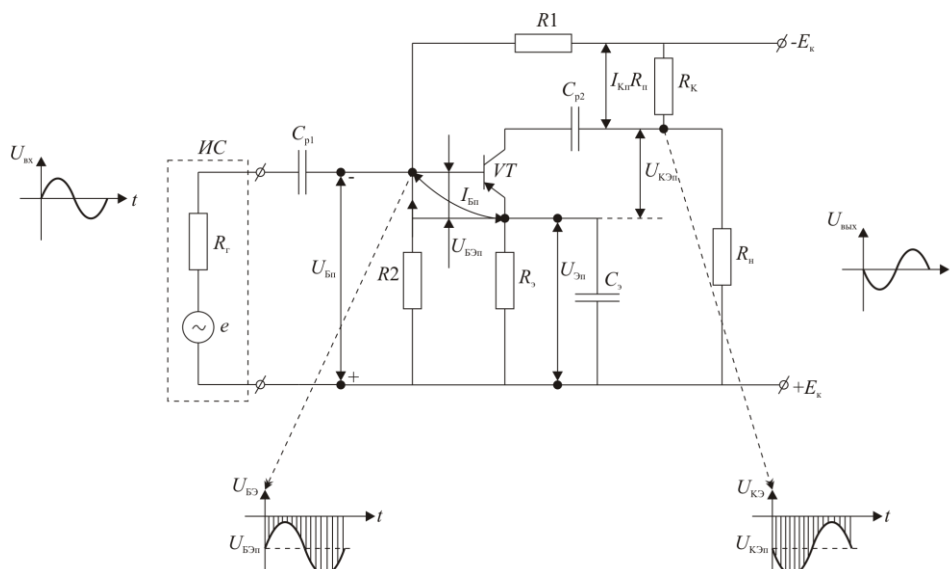


Рисунок 1 – Электрическая схема усилителя на биполярном транзисторе схема с ОЭ

Вспомогательные элементы:

1. Разделительные конденсаторы C_{p1} , C_{p2} предназначены для отделения входа и выхода схемы от источника сигнала и нагрузки по постоянному току.

2. Резисторы R_1 , R_2 образуют входной делитель напряжения, который предназначен для создания начального смещения напряжения на базе транзистора VT с целью выведения рабочей точки на линейный участок характеристики.

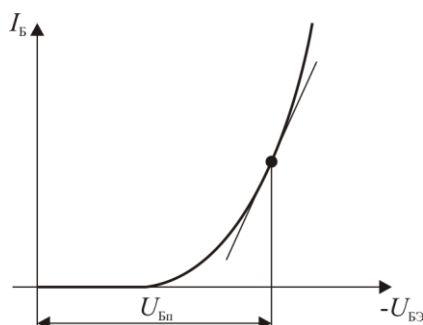


Рисунок 2 – Зависимость тока базы от напряжения база-эмиттер

3. $R_э$ и $C_э$ - элементы схемы температурной стабилизации каскада, которые предназначены для создания отрицательной обратной связи по напряжению с целью стабилизации постоянной составляющей тока коллектора при изменении температуры окружающей среды.

Усилитель работает в 2-ух основных режимах: режиме покоя и режиме отсечки. В режиме покоя на усилитель подано напряжение питания E_k , а входной сигнал отсутствует. В режиме усиления сигнала на усилитель подано напряжение питания E_k и подключен входной сигнал.

Работа схемы температурной стабилизации каскада

$$U_{Бн} = U_{БЭн} + U_{Эн} \Rightarrow U_{БЭн} = U_{Бн} - U_{Эн}.$$

$$U_{БЭн} = U_{Бн} - I_{Эн} R_э. \quad (1)$$

$$I_{Кн} = \beta I_{Бн}. \quad (2)$$

При увеличении температуры окружающей среды самопроизвольно увеличивается коэффициент усиления транзистора β . Это приводит к увеличению тока коллектора покоя (2). Увеличение тока коллектора покоя I_{Kn} вызывает увеличение $I_{Эн}$. При этом, падение напряжения на $R_Э$ увеличивается, следовательно, уменьшается напряжение $U_{БЭн}$ (1), т.к. напряжение $U_{Бн}$ практически не зависит от температуры окружающей среды. В соответствии со входной характеристикой уменьшение $U_{БЭ}$ приводит к уменьшению тока $I_{Бн}$. Следовательно, в соответствии с (2) дальнейший рост I_{Kn} прекращается.

Конденсор $C_Э$, включенный параллельно $R_Э$, обеспечивает протекание переменной составляющей тока эмиттера, вызванной изменением сигнала на входе в обход схемы температурной стабилизации. При этом, не возникает отрицательной обратной связи по переменному току и не происходит резкого увеличения коэффициента усиления каскада.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

Расчет ведется с помощью *графоаналитического метода*. Различают расчет каскада по постоянному и переменному току. Целью расчета по постоянному току является определение номиналов элементов, входящих в схему (резисторов, конденсаторов), расчет напряжения питания и выбор транзистора. Расчет по переменному току сводится к получению основных параметров усилителя: R_{ex} , $R_{вх}$, K_I , K_U , K_P .

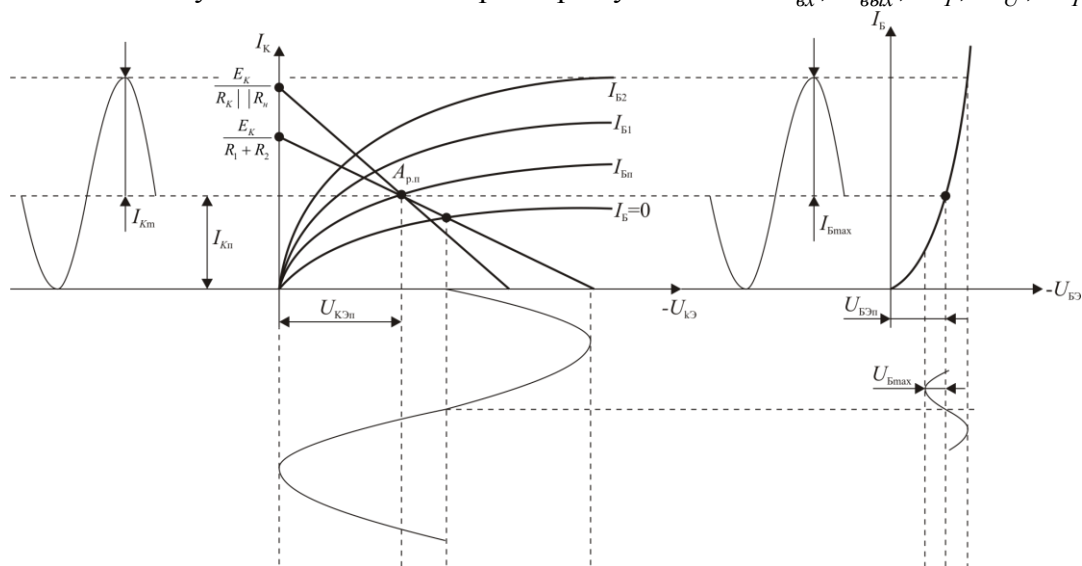


Рисунок 3 – К расчету параметров усилителя

Исходные данные к расчету по постоянному току.

Составим уравнение баланса напряжений в выходной цепи усилителя:

$$E_{П} = U_{Kn} + U_{КЭн} + U_{Эн},$$

где $U_{Эн} = I_{Эн} R_Э$ и $I_{Эн} \approx I_{Kn}$.

Тогда, получим

$$E_{П} = U_{КЭн} + I_{Kn} (R_Э + R_K). \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой *уравнение нагрузочной прямой по постоянному току*. Оно показывает как связаны между собой в каждый момент времени ток

коллектора, протекающий через транзистор, и падение напряжения на коллекторе-эмиттере.

$$I_{Kn} = \frac{E_K}{R_{\varepsilon} + R_K}.$$

$$U_{\varepsilon n} \approx (0,1 \dots 0,3) E_K.$$

R_K выбирается из условия:

$$R_K \approx (3 \dots 5) R_n.$$

$R_K > R_n$ с целью увеличения коэффициента усиления по току и напряжению.

$$E_K = \frac{U_{K\varepsilon n} + I_{Kn} R_K}{(0,7 \dots 0,9)}.$$

Расчет входного делителя (сопротивления R_1, R_2).

Для улучшения температурной стабилизации схемы необходимо выбирать ток делителя большим

$$I_{\partial} > I_{Bn}.$$

С другой стороны, если $I_{\partial} \gg I_{Bn}$, сопротивления R_1, R_2 получаются маленькими, что приводит к изменению входного сопротивления каскада. Поэтому, ток делителя выбирают следующим образом:

$$I_{\partial} = (2 \dots 5) I_{Bn}.$$

$$R_2 = \frac{U_{Bn}}{I_{\partial}} = \frac{U_{B\varepsilon n} + U_{\varepsilon n}}{I_{\partial}}.$$

$$R_1 = \frac{E_K - U_{Bn}}{I_{\partial} + I_{Bn}}.$$

Выбор транзистора.

Транзистор выбирают по следующим параметрам:

- максимально допустимый ток коллектора
- максимально допустимое напряжение $U_{K\varepsilon}$
- максимально допустимая рассеиваемая мощность на коллекторе
- частотный диапазон транзистора.

3.3.1. $I_{K(\partial on)} > I_{Kn} + I_{Km}$ (максимум в 2 раза).

3.3.2. $U_{K\varepsilon(\partial on)} > U_{K\varepsilon n} + U_{Km} > E_K$.

3.3.3. $P_{K(\partial on)} > I_{Kn} \cdot U_{K\varepsilon n}$.

3.3.4. Допустимая граничная частота.

$$f_{\Gamma(\partial on)} > f_{\varepsilon}.$$

$$f_{\Gamma(B\varepsilon)} = \frac{f_{\Gamma(OB)}}{\beta}.$$

5. Контрольные вопросы

1. Каково назначение эмиттерных повторителей?
2. Что происходит с рабочей точкой каскада с общим эмиттером при увеличении сопротивления резистора R_2 ?
3. Какие элементы схемы влияют на АЧХ усилителя с общим эмиттером в области верхних частот сигнала?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.

Практическое занятие № 5

ОДНОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ. РАСЧЕТ ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета по постоянному току однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

Задачи работы: получение практических навыков расчета элементов схемы однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером при расчете по переменному току.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Аналогичны рассмотренным в Практическом занятии 5.1 «Однокаскадный усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером. расчет по постоянному току»

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

Исходные данные к расчету по переменному току.

При расчете по переменному току будем считать, что

$$X_{Cp1} = X_{Cp2} = X_{C3} = 0.$$

Таким образом,

$$R_3 \gg X_C = \frac{1}{\omega_n C}.$$

Будем считать, что внутреннее сопротивление источника питания для переменного тока равно нулю, т.е. $R_{E_{П}} = 0$. В результате допущений будем считать, что $R_3 = 0$, а вместо R_K будет $R_K \parallel R_H$.

$$R_K \parallel R_H = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}.$$

Уравнение нагрузочной прямой для переменного тока примет вид:

$$I_K = \beta I_B.$$

Расчет входного сопротивления каскада

Входное сопротивление каскада.

$$R_{\text{вх}} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\text{вх}},$$

где $R_{\text{вх}}$ – сопротивление входной цепи транзистора ($R_{\text{вх}} \approx 1...3 \text{ кОм}$). В случае выбора высокоомного входного делителя, каскад с ОЭ имеет

$$R_{\text{вх}} \approx 1...3 \text{ кОм}.$$

Таким образом, усилительный каскад с общим эмиттером имеет относительно малое входное сопротивление.

Определение коэффициента усиления по току

Коэффициент усиления по току определяется выражением

$$K_I = \frac{I_H}{I_{\text{вх}}},$$

$$K_I = \beta \frac{R_{\text{вх}}}{r_{\text{вх}}} \cdot \frac{r_{\text{к(э)}} \parallel R_K \parallel R_H}{R_H}, \quad (1)$$

где $r_{\text{к(э)}}$ – сопротивление коллекторной цепи транзистора в схеме с общим эмиттером.

Таким образом, из формулы (1) следует, что

- 1) коэффициент усиления по току каскада пропорционален коэффициенту усиления транзистора β ;
- 2) коэффициент усиления по току зависит от шунтирующего действия $R_K \parallel R_H$ и $R_1 \parallel R_2$.

Для приближенных расчетов для упрощения формулы (1) используются следующие допущения: $R_{\text{вх}} \approx r_{\text{вх}}$ и $r_{\text{к(э)}} \gg R_K \parallel R_H$. В этом случае, формула (1) принимает следующий вид:

$$K_I \approx \beta \frac{R_K \parallel R_H}{R_H} \approx (20...50).$$

Таким образом, каскад с общим эмиттером является усилителем тока.

Определение коэффициента усиления по напряжению

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{U_H}{U_{\text{вх}}}; \quad U_H = I_H R_H; \quad U_{\text{вх}} = I_{\text{вх}} (R_{\Gamma} + R_{\text{вх}});$$

$$K_U = \frac{I_H}{I_{\text{вх}}} \cdot \frac{R_H}{R_{\Gamma} + R_{\text{вх}}};$$

$$K_U \approx \beta \frac{R_K \parallel R_n}{R_{\Gamma} + R_{\text{вх}}} \approx (20 \dots 50).$$

Для увеличения коэффициента усиления по напряжению K_U необходимо выбирать транзистор с большим коэффициентом усиления β , выбирать $R_K > R_n$ и применять источник сигнала с меньшим внутренним сопротивлением.

Определение коэффициента усиления по мощности

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = K_I \cdot K_U \approx (400 \dots 2500).$$

Каскад с общим эмиттером является усилителем мощности.

Расчет выходного сопротивления

Выходное сопротивление:

$$R_{\text{вых}} = R_K \parallel r_{\kappa(\text{э})};$$

$$R_{\text{вых}} \approx R_K \approx (3 \dots 5) \text{ кОм}.$$

Каскад с общим эмиттером обладает высоким выходным сопротивлением, поэтому его нельзя использовать в качестве выходного. Таким образом, *каскад с общим эмиттером используется в качестве предварительного усилителя по напряжению*.

5. Контрольные вопросы

1. В каком режиме окажется схема эмиттерной стабилизации при отключении резистора R2?
2. В каком из режимов возможно эффективное управление коллекторным током биполярного транзистора?
3. В какой из схем смещения режим каскада с общим эмиттером по постоянному току мало зависит от параметров транзистора?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
4. Токхейм Р. Основы цифровой электроники / Р. Токхейм; пер. с англ. В.А. Курочкина, В.М. Матвеева; под ред. Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1988. – 392 с.

Практическое занятие № 6

ОДНОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ. РАСЧЕТ ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета по постоянному току однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим коллектором.

Задачи работы: получение практических навыков расчета элементов схемы однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим коллектором при расчете по переменному току.

2. Общие положения (теоретические сведения)

В отличие от каскада с $ОЭ$, нагрузка в схеме однокаскадного усилителя с общим коллектором ($ОК$) подключена к эмиттеру транзистора. Сопротивление $R_э$ является сопротивлением эмиттерной нагрузки предназначен для преобразования выходного тока эмиттера в выходное напряжение (по величине оно такое же как сопротивление R_K в схеме с $ОЭ$). $R_э = 3...5 \text{ кОм}$. Сопротивление R_2 в схеме может отсутствовать для увеличения входного сопротивления каскада.

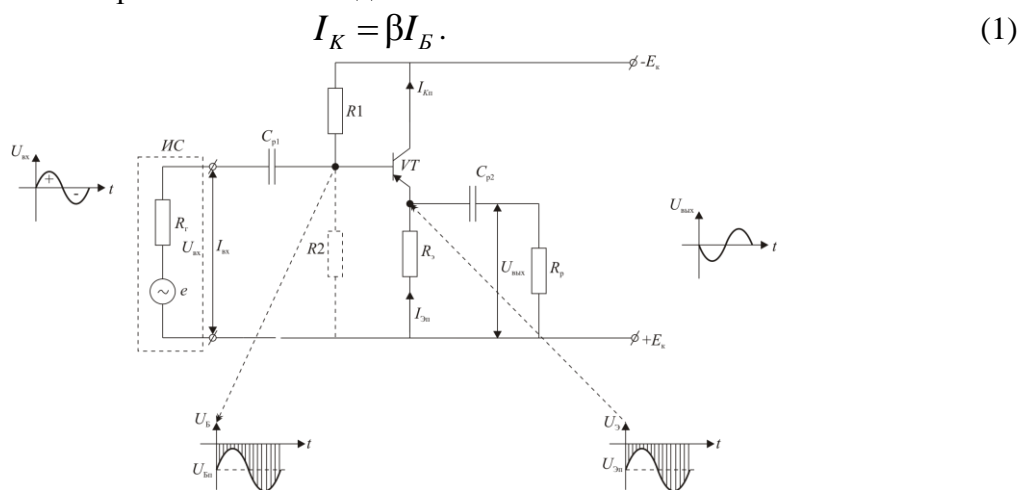


Рисунок 1 – Электрическая принципиальная схема
Принцип действия каскада с общим коллектором

При положительном полупериоде напряжения на входе, отрицательное напряжение на базе транзистора уменьшается, следовательно, уменьшается ток базы. В соответствии с (1) уменьшение тока базы приводит к уменьшению тока коллектора, а следовательно уменьшается также ток эмиттера. При этом, падение напряжения на $R_э$ уменьшается и $U_э$ становится менее отрицательным.

Во второй полупериод входного напряжения отрицательное напряжение на базе увеличивается. Следовательно, увеличивается ток базы, поэтому в соответствии с (1) увеличивается ток коллектора. Падение напряжения на $R_э$ увеличивается и потенциал эмиттера становится более отрицательный.

Конденсатор C_{p2} не пропускает постоянной составляющей напряжения. Поэтому, выходное напряжение симметрично относительно нуля. Таким образом, каскад с общим коллектором ($ОК$) не является инвертирующим, т.к. напряжение на выходе по форме повторяет входное напряжение. Расчет по постоянному току аналогичен расчету каскада с общим эмиттером.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

При расчете каскада по переменному току делается следующее допущение:

$$X_{Cp1} = X_{Cp2} = 0, R_{E_k} = 0.$$

Расчет каскада ведется на основании эквивалентной схемы замещения физических параметров.

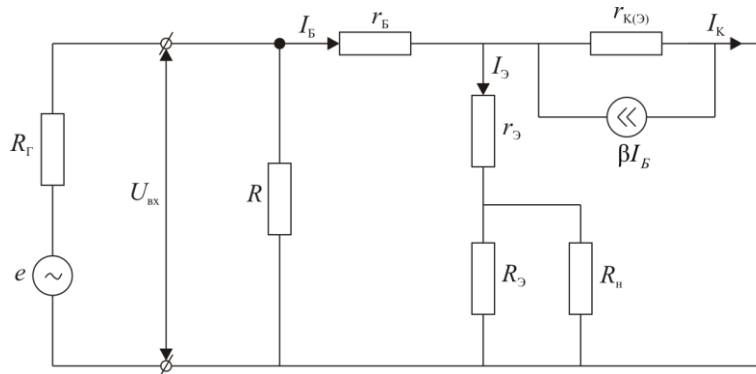


Рисунок 1 – Расчетная схема

На приведенном рисунке $R = R_1 \parallel R_2$.

Расчет входного сопротивления

Входное сопротивление:

$$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх}.$$

Выразим входное напряжение через ток базы:

$$U_{вх} = I_B r_B + I_E (r_E + R_E \parallel R_n) \Rightarrow I_E = I_B (1 + \beta).$$

Тогда, получим:

$$U_{вх} = I_B [r_B + (1 + \beta)(r_E + R_E \parallel R_n)]. \quad (1)$$

Поделим правую и левую часть уравнения (1) на I_B , получим:

$$\frac{U_{вх}}{I_B} = r_B + (1 + \beta)(r_E + R_E \parallel R_n).$$

Учитывая, что $R_E \ll R_E \parallel R_n$ и $r_B \ll (1 + \beta)(R_E \parallel R_n)$, получим:

$$r_{вх} \approx (1 + \beta)(R_E \parallel R_n).$$

$$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 (1 + \beta)(R_E \parallel R_n).$$

Пример. Пусть $\beta=50$, $R_E \parallel R_n = 1 \text{ кОм}$, а делитель $R_1 \parallel R_2$ - высокоомный. Тогда,

$$R_{вх} \approx (1 + \beta)(R_E \parallel R_n) \approx 51 \text{ кОм}.$$

Таким образом, каскад с общим коллектором имеет высокое входное сопротивление и может применяться в качестве согласующего звена при работе с источником сигнала, имеющим большое внутренне сопротивление.

Расчет коэффициента усиления по току

Коэффициент усиления по току:

$$K_I = \frac{I_n}{I_{вх}}.$$

Выразим ток нагрузки через ток эмиттера:

$$I_H = I_E \frac{R_E \parallel R_H}{R_H}; \quad I_E = (1 + \beta) I_B.$$

$$I_H = (1 + \beta) I_B \frac{R_E \parallel R_H}{R_H}.$$

$$U_{ex} = I_{ex} \cdot R_{ex}.$$

$$U_{ex} = I_B \cdot r_{ex} \Rightarrow I_B = I_{ex} \frac{R_{ex}}{r_{ex}}.$$

Тогда, получим:

$$I_H = (1 + \beta) I_{ex} \frac{R_{ex}}{r_{ex}} \cdot \frac{R_E \parallel R_H}{R_H}. \quad (2)$$

Разделим обе части уравнения (7) на I_{ex} , получим:

$$\frac{I_H}{I_{ex}} = (1 + \beta) \frac{R_{ex}}{r_{ex}} \cdot \frac{R_E \parallel R_H}{R_H}.$$

Тогда, получим:

$$K_I = (1 + \beta) \frac{R_{ex}}{r_{ex}} \cdot \frac{R_E \parallel R_H}{R_H}.$$

Как было ранее получено, $R_{ex} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{ex}$. При $R_{ex} \approx r_{ex}$, получим

$$K_I \approx (1 + \beta) \frac{R_E \parallel R_H}{R_H}.$$

Если $R_E \approx R_K$, то $K_{I(OK)} \approx K_{I(OE)}$. Таким образом, каскад с общим коллектором, также как и каскад с общим эмиттером является усилителем тока. Коэффициент усиления по току пропорционален β и R_E .

Расчет коэффициента усиления по напряжению

Коэффициент усиления по напряжению.

$$K_U = K_I \frac{R_E \parallel R_H}{R_H + R_{ex}}.$$

Пусть $R_{ex} \gg R_H$, тогда получим

$$R_{ex} = (1 + \beta)(R_E \parallel R_H).$$

$$K_U = (1 + \beta) \frac{R_E \parallel R_H}{R_{ex}} \Rightarrow K_U = 1.$$

На практике $K_U \approx 0,9...0,95$. Таким образом, каскад с общим коллектором не усиливает напряжение, а повторяет на выходе входное напряжение.

$$K_P = K_I \cdot K_U = K_I.$$

Следовательно, каскад с общим коллектором является усилителем мощности.

Расчет выходного напряжения

Выходное напряжение.

$$R_{\text{вых}} \approx R_{\text{э}} \parallel r_{\text{э}} \approx 10...50 \text{ Ом.}$$

Поэтому,

$$R_{\text{вых}} \approx r_{\text{э}} \approx 10...50 \text{ Ом.}$$

Следовательно, каскад с общим коллектором может отдавать большой ток в нагрузку, его можно использовать в качестве выходного каскада.

5. Контрольные вопросы

1. Каковы особенности включения транзистора с ОК?
2. Каково назначение эмиттерных повторителей?
3. Что происходит с рабочей точкой каскада с общим эмиттером при увеличении сопротивления резистора R_2 ?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
4. Токхейм Р. Основы цифровой электроники / Р. Токхейм; пер. с англ. В.А. Курочкина, В.М. Матвеева; под ред. Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1988. – 392 с.

Практическое занятие № 7

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета усилителей мощности.

Задачи работы: получение практических навыков расчета элементов схемы усилителей мощности.

2. Общие положения (теоретические сведения)

Двухтактные усилители мощности

В первый полупериод входного напряжения на базе транзистора $VT1$ через входной трансформатор $T1$ наводится положительное напряжение, а на базе транзистора $VT2$ – отрицательное. В результате ток базы $VT1$ увеличивается, а ток базы $VT2$ уменьшается. Следовательно, увеличивается ток коллектора $VT1$ и уменьшается ток коллектора $VT2$. В результате в нижней половине первичной обмотки выходного трансформатора $T2$ увеличивается ток, а в верхней половине – уменьшается. Поэтому, во вторичной обмотке образуется отрицательное напряжение.

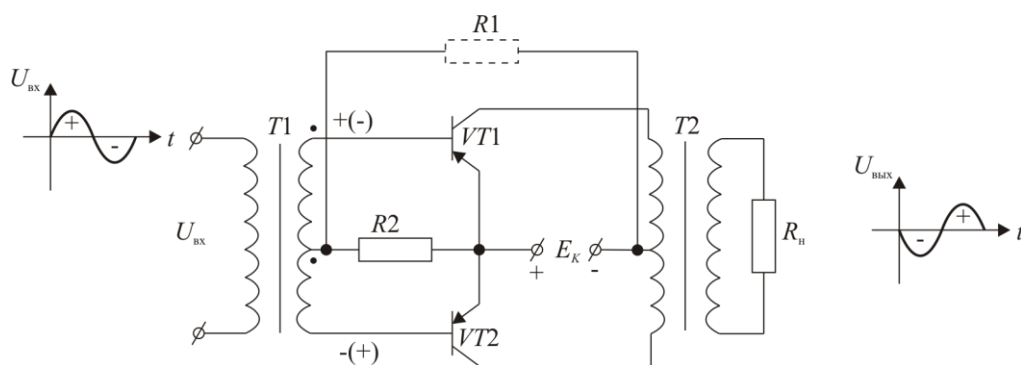


Рис. 3.12.

В отрицательный полупериод входного напряжения знаки напряжения на базах транзисторов меняются. В результате увеличивается коллекторный ток транзистора $VT1$, а коллекторный ток транзистора $VT2$ – уменьшается. Поэтому, в первичной обмотке выходного трансформатора ток протекает в противоположном направлении, в нагрузке наводится положительный полупериод напряжения.

$R1, R2$ образуют входной делитель напряжений, который предназначен для создания отрицательного напряжения смещения на базах транзистора для вывода их рабочих точек на линейный участок характеристики; он используется в режиме AB . В режиме B вместо $R1$ – разрыв цепи, вместо $R2$ – короткое замыкание.

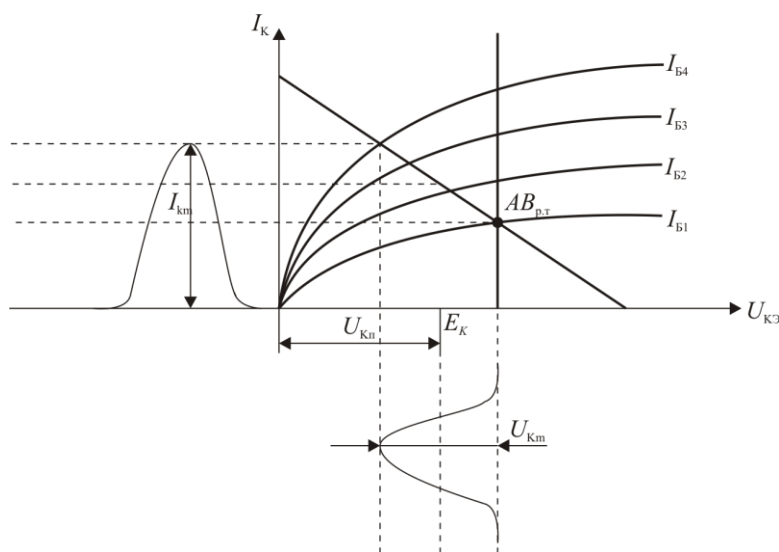


Рис. 3.13.

Коэффициент полезного действия двухтактного усилителя мощности в режиме B определяется по формуле:

$$\eta = \eta_{mp} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{Km}}{E_K} \cdot 100\%.$$

При $U_{Km} \approx E_K$, получим

$$\eta_{mp} \approx 1 \Rightarrow \eta \approx \frac{\pi}{4} = 0,78.$$

Значения η , которые реально достигаются на практике, равны

$$\eta_B = (60 \dots 70)\%.$$

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры усилителей мощности.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Определить мощность в нагрузке однотактного усилителя мощности, если КПД усилителя $\eta = 0,4$, мощность, потребляемая от источника питания, $P_0 = 1$ Вт, а КПД выходного трансформатора $\eta_T = 0,75$.

$P_n = 0,3$ Вт.

1) $P_{\text{вых}} = \eta \cdot P_0 = 0,4$ Вт. 2) $P_n = \eta_T \cdot P_{\text{вых}} = 0,3$ Вт.

2. Определить мощность, потребляемую от источника питания P_0 в однотактном усилителе мощности, если КПД усилителя $\eta = 0,45$, мощность в нагрузке $P_n = 2$ Вт, а КПД выходного трансформатора $\eta_T = 0,8$. **$P_0 = 5,5$ Вт.**

1) $P_{\text{вых}} = P_n / \eta_T = 2,5$ Вт. 2) $P_0 = P_{\text{вых}} / \eta = 5,5$ Вт.

3. Найти сопротивление нагрузки по переменному току однотактного усилителя мощности, если коэффициент трансформации выходного трансформатора $n = 10$, а сопротивление нагрузки $R_n = 4$ Ом. **$R_{n\sim} = 400$ Ом.**

4. Найти коэффициент трансформации выходного трансформатора однотактного усилителя мощности, если сопротивление нагрузки $R_n = 3$ Ом, а сопротивление нагрузки переменному току $R_{n\sim} = 470$ Ом. **$n = 12,5$.**

5. Какое максимальное напряжение можно получить на выходе усилителя при напряжении питания $E_K = 10$ В в схеме, приведенной на рис. 3.6. Напряжением насыщения открытого транзистора пренебречь.

$U_{\text{вых}} = 10$ В.

6. Какое напряжение необходимо подать на вход усилителя мощности (рис. 3.6), чтобы получить на нагрузке $9,5$ Ом мощность $9,5$ Вт. Максимальное падение напряжения на открытом эмиттерном переходе транзистора $U_{\text{бэмах}}$ принять равным $0,5$ В.

$$U_{\text{вых}} = \sqrt{P_{\text{вых}} \cdot R_n} = 9,5 \text{ В}; \quad U_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} + U_{\text{бэмах}} = 10 \text{ В}.$$

7. Определить минимальное напряжение источника питания, при котором усилитель мощности (рис. 3.6) отдает в нагрузку $R_n = 19,2$ Ом ток 1 А, если максимальное напряжение насыщения открытого транзистора $U_{\text{кэнас}} = 0,8$ В.

$$U_{\text{вых}} = R_n \cdot I_n = 19,2 \text{ В}. \quad E_K > U_{\text{вых}} + U_{\text{кэнас}} = 20 \text{ В}.$$

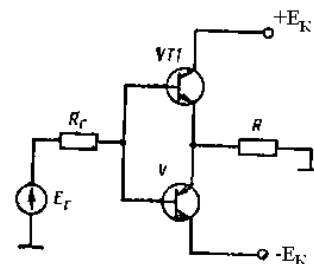


Рис.3.6

5. Контрольные вопросы

1. Почему однотактные усилители мощности используют редко? Чем объясняется экономичность двухтактных усилителей мощности, работающих в режиме В?

2. Какие параметры выходного сигнала зависят от емкости конденсатора $C3$?
 3. Почему при уменьшении емкости конденсатора $C2$ увеличиваются частотные искажения в области нижних частот?
- Как влияет режим работы усилителя на нелинейные искажения?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.

Практическое занятие № 8

РАСЧЕТ БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

1. Цель и задачи работы

Цель работы: получение практических навыков расчета усилителей мощности.

Задачи работы: получение практических навыков расчета элементов схемы усилителей мощности.

Бестрансформаторные усилители мощности

Предварительный усилитель по напряжению собран по микросхеме DA представляющий собой операционный усилитель (OU), который является усилителем постоянного тока.

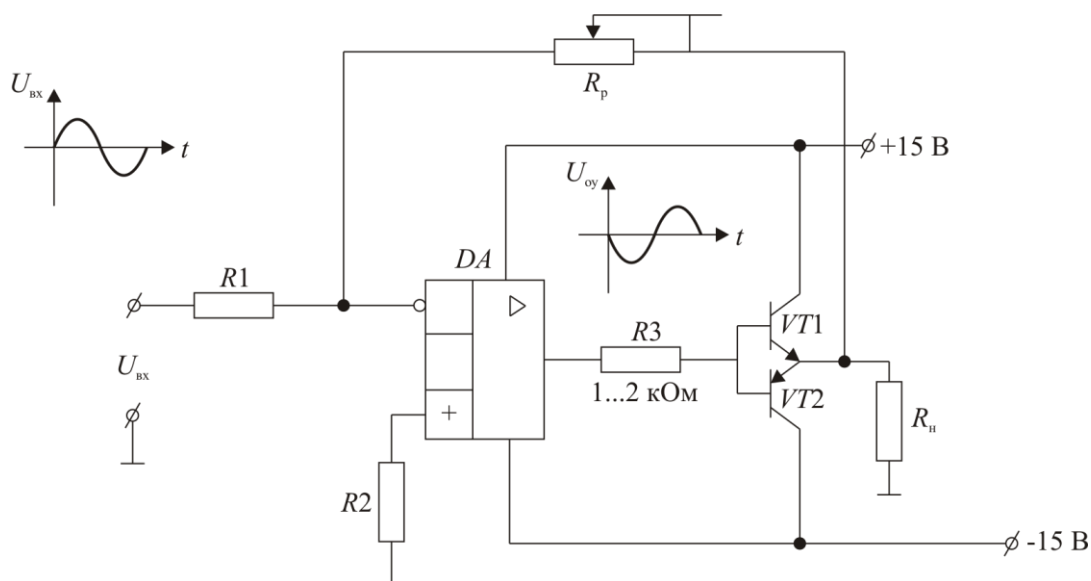


Рис. 3.15.

Для увеличения нагрузочной способности операционного усилителя используется усилитель мощности на транзисторах VT1, VT2, включенные по схеме двухтактного эмиттерного повторителя. Сопротивления R_1 и R_p определяют коэффициент усиления схемы по напряжению:

$$K_U = -\frac{R_p}{R_1}.$$

Знак «-» в формуле (8) говорит о том, что схема является инвертирующей. Сопротивление R_p является элементом отрицательной обратной связи, охватывающей ОУ, и служит для поддержания в режиме покоя нулевого потенциала на эмиттерах транзистора. Сопротивление $R3$ служит для ограничения выходного тока операционного усилителя. Сопротивление $R2$ предназначено для выравнивания входных токов операционного усилителя.

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}^2}{R_n}.$$

Таким образом, выходная мощность усилителя ограничена величиной напряжения питания.

3. Задание на работу (рабочее задание)

Рассчитать параметры усилителей мощности.

4. Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Какое максимальное напряжение можно получить на выходе усилителя при напряжении питания $E_k = 10$ В в схеме, приведенной на рис. 3.7. Напряжением насыщения открытого транзистора пренебречь.

$U_{\text{вых}} = 5$ В.

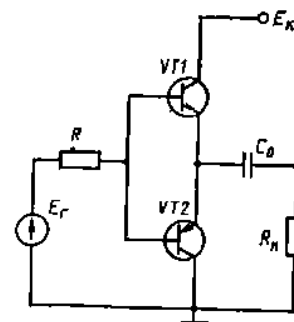


Рис. 3.7

2. Определить ток базы покоя каждого транзистора в усилителе мощности (рис. 3.8) при $U_{\text{вх}} = 0$, если падение напряжения на диодах VD1 и VD2 $U_d = 0,5$ В. На вольтамперной характеристике диода напряжению 0,5 В соответствует ток через диод $I_d = 3,2$ мА. Напряжение источника питания $\pm E_k = 9$ В. Сопротивление резисторов $R = 2,5$ кОм.

$$I_{\text{бп}} = \frac{E_k - U_d - I_d \cdot R}{R} = 0,2 \text{ мА}.$$

3. Определить величину напряжения на нагрузке в схеме усилителя мощности (рис. 3.8), если на вход поступает

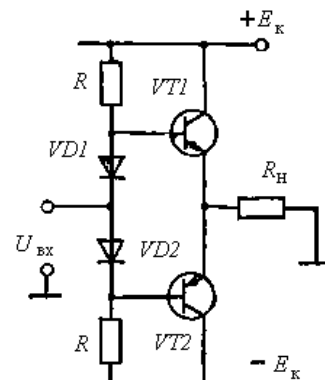


Рис. 3.8

напряжение $U_{вх} = 2$ В. При этом падения напряжения на диоде $VD1$ и переходе база-эмиттер транзистора составляют $U_d = 0,3$ В, $U_{бэ} = 0,6$ В.
 $U_n = U_{вх} + U_d - U_{бэ} = 1,8$ В.

4. Найти допустимый ток транзистора в схеме усилителя мощности (рис. 3.8) при подаче на вход напряжения $U_{вх} = 6$ В. Сопротивление нагрузки $R_n = 10$ Ом. Падением напряжения на диоде $VD1$ и переходе база-эмиттер транзистора пренебречь.
 $I_k > 60$ мА.

5. Какое напряжение необходимо подать на вход бестрансформаторного усилителя мощности на операционном усилителе и двухтактном эмиттерном повторителе, чтобы на сопротивлении нагрузки $R_n = 3,6$ Ом получить выходную мощность $P_{вых} = 10$ Вт, если коэффициент усиления схемы по напряжению $K_U = 10$.

$U_{вх} = 0,6$ В.

5. Контрольные вопросы

1. Что означает знак « \leftrightarrow » в формуле для определения коэффициента усиления?
2. От каких элементов схемы зависит величина коэффициента усиления бестрансформаторного усилителя мощности?
3. Для чего служит сопротивление R_3 ?
4. По какой схеме включены транзисторы в бестрансформаторном усилителе мощности?
5. Для чего предназначено сопротивление R_2 ?

Список использованных источников

1. Максина Е.Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Максина Е.Л.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Научная книга, 2012.— 159 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.