

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств»
для обучающихся очной и заочной форм обучения
направлений 11.03.01 Радиотехника,
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
и специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 621.396.1
И88

Р е ц е н з е н т:

И.Л. Афонин - доктор технических наук, профессор

Ответственный за выпуск:

И.Л. Афонин - заведующий кафедрой «Радиоэлектроника
и телекоммуникации», д.т.н., профессор

Составитель: А.В. Мельников

И88 Исследование каскада с общим коллектором : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств» для обучающихся очной и заочной форм обучения направлений 11.03.01 Радиотехника, 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы / Сост. А.В. Мельников ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет, Институт радиоэлектроники и информационной безопасности, Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации». - Севастополь: СевГУ, 2020. - 14 с. - Текст : электронный.

Цель пособия — оказать помощь обучающимся в подготовке и выполнении лабораторной работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств», а также в получении теоретических знаний по принципам построения каскадов с общим коллектором и экспериментальном изучении влияния элементов схемы на характеристики каскада.

УДК 621.396.1

Утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 11 от 23 марта 2020 г.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 9 от 24 апреля 2020 г.

© Мельников А.В., 2020
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ

1. Цель работы

Изучить основные параметры каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим коллектором, с учетом влияния элементов схемы на амплитудную характеристику, амплитудно-частотную характеристику и входное сопротивление каскада.

2. Краткие теоретические сведения

Принципиальная схема каскада с общим коллектором (ОК) (или эмиттерного повторителя) изображена на рис. 1.

Название схемы «с общим коллектором» означает, что вывод коллектора по переменному току является общим для входной и выходной цепей каскада. В схеме на рис. 1 коллектор транзистора по переменному току через малое внутреннее сопротивление источника питания E соединен с общим проводом.

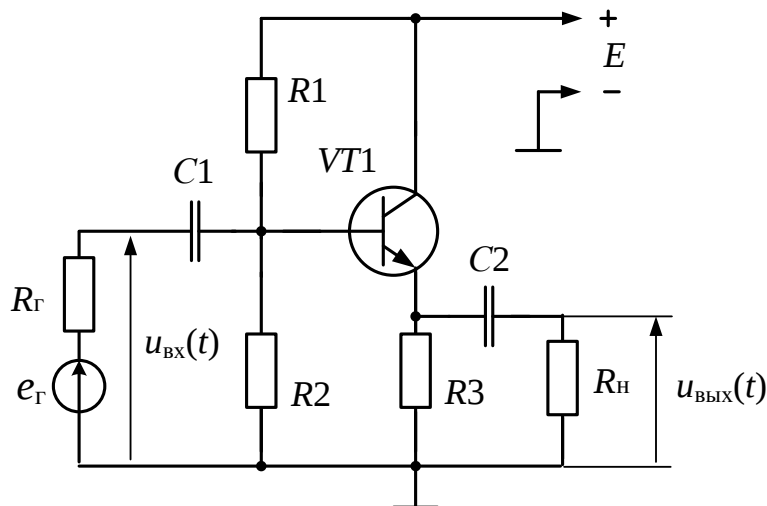


Рис. 1 — Схема каскада на биполярном транзисторе, включенном с общим коллектором

Конденсатор C_1 необходим для разделения переменной и постоянной составляющих напряжения сигнала, подаваемого на вход каскада. Величину емкости этого конденсатора выбирают такой, чтобы его

сопротивление переменному току в рабочей полосе частот было значительно меньше входного сопротивления каскада.

Резисторы R_1 и R_2 служат для подачи постоянного напряжения смещения на базу транзистора. Они задают величину постоянной составляющей тока базы, следовательно, тока коллектора и эмиттера, то есть определяют точку покоя транзистора. Точку покоя выбирают так, чтобы транзистор работал на линейном участке проходной характеристики. Тогда нелинейные искажения, вносимые каскадом, будут минимальны.

Резистор R_3 , стоящий в эмиттерной цепи, является нагрузкой каскада для постоянной составляющей. Он совместно с резисторами R_1 и R_2 определяет режим работы каскада.

Разделительный конденсатор C_2 выбирают достаточно большой емкости, чтобы его сопротивление в рабочей полосе частот было значительно меньше, чем сопротивление нагрузки R_n , подключаемой к выходу усилителя. С учетом этого, нагрузкой каскада для переменной составляющей являются параллельно соединенные сопротивления R_3 и R_n .

Коэффициент усиления эмиттерного повторителя K можно найти из выражения [1, 2]:

$$K = \frac{U_{кэ}}{U_{кэ} + U_{бэ}}, \quad (1)$$

где K — коэффициент усиления;

$U_{кэ}$ — действующее значение переменного напряжения между коллектором и эмиттером транзистора;

$U_{бэ}$ — действующее значение переменного напряжения между базой и эмиттером транзистора.

Из выражения (1) видно, что коэффициент усиления каскада меньше единицы. Обычно коэффициент усиления эмиттерного повторителя находится в пределах $K = 0,95—0,99$.

Коэффициент усиления каскада по току определяется коэффициентом передачи транзистора по току $h_{21э}$ и зависит от величины сопротивления нагрузки. При уменьшении величины сопротивления нагрузки коэффициент усиления по току увеличивается. Его предельно достижимое значение $K_{I\max}$ равно

$$K_{I\max} = h_{21э} + 1, \quad (2)$$

Обычно коэффициент усиления эмиттерного повторителя по току находится в пределах $K_I = 10—50$.

Входное сопротивление каскада $R_{вх}$ определяется сопротивлениями параллельно включенных резисторов R_1 , R_2 и сопротивлением входной цепи транзистора. Оно может быть найдено из выражения:

$$R_{\text{вх}} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\text{вх VT}} = \frac{R_1 R_2 r_{\text{вх VT}}}{R_1 R_2 + R_1 r_{\text{вх VT}} + R_2 r_{\text{вх VT}}}, \quad (3)$$

где R_1 и R_2 — сопротивления резисторов R_1 и R_2 , образующих делитель напряжения на входе;

$r_{\text{вх VT}}$ — сопротивление входной цепи транзистора.

Величину $r_{\text{вх VT}}$ определяют через суммарное сопротивление нагрузки по переменному току $R_{\text{н~}}$ по формуле [1]

$$r_{\text{вх VT}} \approx h_{21\text{Э}} R_{\text{н~}} = h_{21\text{Э}} \frac{R_3 R_{\text{н}}}{R_3 + R_{\text{н}}}, \quad (4)$$

$h_{21\text{Э}}$ — коэффициент передачи по току транзистора;

$R_{\text{н~}}$ — сопротивление нагрузки по переменному току;

$R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки, подключенной к выходу схемы.

Чтобы делитель напряжения R_1 , R_2 не снижал входное сопротивление каскада, стараются при проектировании каскада выполнить условие

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \gg r_{\text{вх VT}}.$$

При выполнении этого условия входное сопротивление каскада будет практически равно сопротивлению входной цепи транзистора

$$R_{\text{вх}} = h_{21\text{Э}} R_{\text{н~}}. \quad (5)$$

Обычно входное сопротивление эмиттерного повторителя находится в пределах 50—500 кОм.

Выходное сопротивление эмиттерного повторителя определяется сопротивлением выходной цепи транзистора и обычно находится в пределах $R_{\text{вых}} = 10—100$ Ом.

3. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят модули «Апериодический усилитель» (рис. 2), «Функциональный генератор» (рис. 3), «Мультимеры» (рис. 4), а также двухлучевой цифровой осциллограф типа «KEYSIGHT DSOX 1102G» (рис. 5). На лицевой панели модуля «Апериодический усилитель» находятся гнезда для подключения модуля «Функциональный генератор», двухлучевого осциллографа и других измерительных приборов.

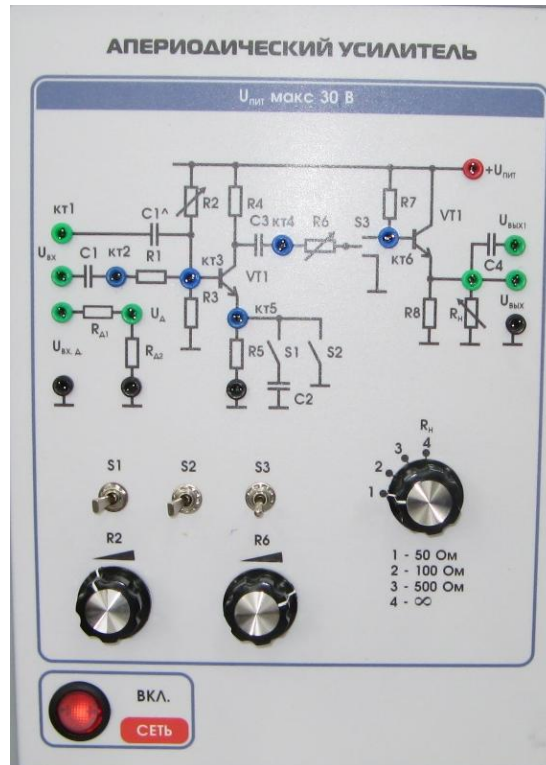


Рис. 2 — Внешний вид модуля «Апериодический усилитель»



Рис. 3 — Внешний вид модуля «Функциональный генератор»



Рис. 4 — Внешний вид модуля «Мультимеры»



Рис. 5 — Внешний вид лицевой панели осциллографа *KEYSIGHT DSOX 1102G*

Конструктивно исследуемый каскад с общим коллектором (эмиттерный повторитель) находится в модуле «Апериодический усилитель» (см. рис. 2). В этом модуле собрана также схема каскада с общим эмиттером (ОЭ), которая изучается отдельно.

Схема подключений эмиттерного повторителя изображена на рис. 6. Каскад собран на следующих элементах: $VT1$, $R7$, $R8$, R_H , $C4$. Резистор $R7$ задает положение точки покоя каскада. Резистор $R8$ является нагрузкой по постоянному току. Резистор нагрузки R_H выполнен ступенчато изменяемым с помощью переключателя « R_H », установленного на лицевой панели в средней части макета. Конденсатор $C4$ выполняет функцию разделительного конденсатора.

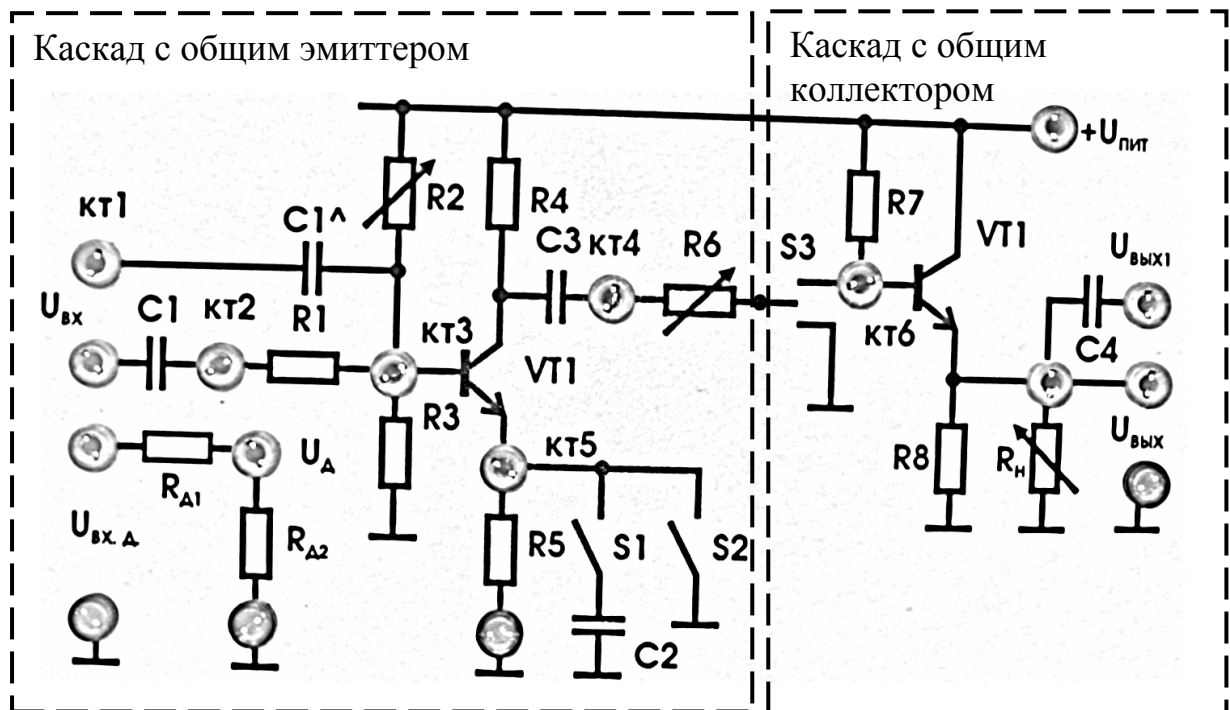


Рис. 6 — Изображение схемы подключений на лицевой панели лабораторного макета

Входом исследуемого каскада с ОК являются гнезда « $KT6$ » и «Общий». При помощи переключателя $S3$ вход каскада с ОК может быть подключен к выходу каскада с ОЭ.

Выходом каскада с общим коллектором являются гнезда « $U_{ВЫХ1}$ » или « $U_{ВЫХ}$ » и «Общий». Гнездо « $U_{ВЫХ1}$ » используют при снятии выходного напряжения по переменной составляющей, а гнездо « $U_{ВЫХ}$ » — при снятии выходного напряжения по постоянной и переменной составляющим.

Для установки точки покоя каскада с общим эмиттером в цепь базы транзистора VT1 подаётся напряжение смещения, снимаемое с регулируемого делителя напряжения R_2 — R_3 . Резистор R_2 выполнен переменным. Его сопротивление может изменяться с помощью ручки « R_2 », находящейся в левой нижней части модуля «Апериодический усилитель».

Питание цепей каскада производится от встроенного в модуль источника « $U_{\text{пит}}$ » напряжения 15 В. Выключатель напряжения питания («ВКЛ») находится в нижней части модуля.

4. Порядок выполнения работы

4.1. На модуле «Апериодический усилитель» установите переключатель «S3» в среднее положение, переключатель « R_H » установите в положение 1 ($R_H = 50 \text{ Ом}$).

4.2. Включите напряжение питания модулей «Апериодический усилитель» и «Мультимеры».

4.3. Используя модуль «Мультимеры» в режиме измерения постоянных напряжений измерьте относительно общего провода напряжение питания (гнездо « $U_{\text{пит}}$ »), а также постоянные напряжения на базе (гнездо «ктб») и эмиттере (гнездо « $U_{\text{бэ}}$ ») транзистора.

Рассчитайте напряжение база-эмиттер $U_{\text{вых}}$ в точке покоя.

4.4. Переключатель « R_H » установите в положение 2 ($R_H = 100 \text{ Ом}$) и определите напряжение база—эмиттер (см. п. 4.3).

4.5. Переключатель « R_H » установите в положение 3 ($R_H = 500 \text{ Ом}$) и определите напряжение база—эмиттер (см. п. 4.3).

4.6. Переключатель «S3» на модуле «Апериодический усилитель» установите в верхнее положение (подключите вход каскада с ОК к выходу каскада с ОЭ). Переключатель «S1» установите в левое положение («Отключено»), переключатель «S2» также установите в левое положение («Отключено»). Установите ручку потенциометра « R_6 » в крайнее правое положение ($R_6 = 0$). Установите переключатель « R_H » в положение 2 ($R_H = 100 \text{ Ом}$).

К входу каскада с ОЭ (гнезда «кт1» и «Общий») подключите выход модуля «Функциональный генератор». На модуле «Функциональный генератор» включите напряжение питания и установите частоту 1 кГц, форма выходного напряжения — синусоидальная. Ручкой «Амплитуда 0...10 В» установите $U_{\text{вых}} = 0$.

К выходу каскада с ОК подключите вход канала 1 цифрового осциллографа.

4.7. Изменяя сопротивление резистора R_2 и увеличивая напряжение на входе, установите на выходе каскада с ОК максимальное неискаженное напряжение сигнала.

4.8. Снимите амплитудную характеристику каскада с ОК на частоте 1 кГц. Для этого:

— вход канала 1 осциллографа подключите к входу каскада с общим коллектором (гнезда «ктб» и «Общий»), канал 2 осциллографа подключите к выходу каскада с ОК (гнезда « $U_{\text{ВЫХ1}}$ » и «Общий»). Нажмите кнопку «Mess» и установите на каналах 1 и 2 осциллографа режим измерения переменных напряжений (измерение «AC RMS (ПЭ)»);

— Установите напряжение на выходе модуля «Функциональный генератор» равным нулю. Затем увеличивайте выходное напряжение модуля «Функциональный генератор» и, наблюдая изменение выходного напряжения каскада с ОК (канал 2 осциллографа), определите максимальное выходное напряжение $U_{\text{ВЫХМАХ}}$, при котором форма усиливаемого сигнала остается синусоидальной (не наблюдаются нелинейные искажения формы сигнала). Определите, наблюдая измеренное значение на канале 1 осциллографа, величину $U_{\text{ВХМАХ}}$. Затем, изменяя напряжение на входе исследуемого каскада от нуля до $1,2U_{\text{ВХМАХ}}$, выполните измерения выходного напряжения не менее, чем в 10 точках;

— рассчитайте значение коэффициента усиления на частоте 1 кГц.

4.9. Исследуйте влияние элементов схемы на амплитудно-частотную характеристику каскада с ОК. Для этого выполните следующие действия:

— переключатель «S3» на модуле «Апериодический усилитель» установите в среднее положение («Отключено»);

— подключите к входу каскада с ОК (гнезда «ктб» и «Общий») выход осциллографа «Gen Out» и параллельно ему к этим же гнездам подключите вход канала 1 осциллографа;

— подключите канал 2 осциллографа к выходу исследуемой схемы (гнезда « $U_{\text{ВЫХ1}}$ » и «Общий»);

— установите на осциллографе режим анализа. Для этого нажмите кнопку «Analyze», затем нажмите кнопку «Функции FRA» и выберете режим «Анализ частотной характеристики». Нажмите кнопку «Настройки» и установите минимальную частоту анализа 20 Гц, максимальную — 20 МГц, амплитуду входного напряжения — 3 Vpp.

Установите переключатель « R_H » в положение 1 ($R_H = 50 \text{ Ом}$).

4.10. Измерение амплитудно-частотной характеристики и определение нижней и верхней граничных частот полосы пропускания произведите в следующей последовательности:

— нажмите кнопку «Пуск». После этого на экране осциллографа через некоторое время (50—60 с) появится изображение АЧХ исследуемого каскада;

— вращая ручку «Entry», установите курсор в положение, соответствующее частоте 1 кГц, и определите коэффициент усиления на

этой частоте. Сравните полученное значение с измеренным при исследовании амплитудной характеристики (см. п. 4.8);

— переместите курсор в сторону нижних частот, установите его в положение, соответствующее частоте 20 Гц, и определите коэффициент усиления на этой частоте. Рассчитайте коэффициент частотных искажений на частоте 20 Гц (коэффициент частотных искажений находят как разность выраженных в децибелах коэффициентов усиления на данной частоте и на частоте 1 кГц);

— переместите курсор в сторону верхних частот и установите его в положение, соответствующее частоте 20 МГц, определите коэффициент усиления на этой частоте и рассчитайте коэффициент частотных искажений на частоте 20 МГц;

— изменяя положение курсора от 20 Гц до 20 МГц снимите зависимость коэффициента усиления от частоты (используйте следующий шаг измерения частоты: 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, Гц и т.д.).

4.11. Установите переключатель « R_H » в положение 2 ($R_H = 100 \text{ Ом}$). Измерьте АЧХ усилителя и частотные искажения на частотах 20 Гц и 20 МГц в соответствии с методикой, изложенной в п. 4.10.

4.12. Установите переключатель « R_H » в положение 3 ($R_H = 500 \text{ Ом}$). Измерьте АЧХ усилителя и частотные искажения на частотах 20 Гц и 20 МГц в соответствии с методикой, изложенной в п. 4.10.

4.13. Измерьте АЧХ усилителя и частотные искажения на частотах 20 Гц и 20 МГц при установке разделительного конденсатора (C_4) на выходе каскада с ОК. Для этого канал 2 осциллографа подключите к гнездам « $U_{\text{ВЫХ}}$ » и «Общий», установите переключатель « R_H » в положение 2 ($R_H = 100 \text{ Ом}$) и повторите измерения в соответствии с п. 4.10.

4.14. Исследуйте влияние сопротивления нагрузки каскада с ОК на его входное сопротивление:

— подключите выход модуля «Функциональный генератор» к входу каскада с ОЭ (гнезда «к1» и «Общий»). Установите частоту 1 кГц, форма сигнала — синусоида, выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 0$;

— переключатель «S3» установите в верхнее положение (выход каскада с ОЭ подключен к входу каскада с ОК);

— канал 1 осциллографа подключите к входу каскада с ОК (гнезда «к6» и «Общий»), канал 2 — к выходу схемы (гнезда « $U_{\text{ВЫХ1}}$ » и «Общий»). Нажмите кнопку «Mess» и установите на каналах 1 и 2 осциллографа режим измерения переменных напряжений (измерение «AC RMS (ПЭ)»);

— установите переключатель « R_H » в положение 1 ($R_H = 50 \text{ Ом}$).

4.15. Измерение входного сопротивления каскада с общим коллектором проведите в следующей последовательности:

— вращая ручку « R_6 » по часовой стрелке установите его в крайнее положение ($R_6 = 0$);

— изменяя величину резистора R_2 модуля «Апериодический усилитель» и увеличивая напряжение на выходе модуля «Функциональный генератор» установите на выходе каскада с ОК максимальное неискаженное напряжение;

— вращая ручку «Амплитуда» модуля «Функциональный генератор» уменьшите напряжение на выходе каскада с ОК в 2 раза;

— измерьте напряжение U_1 на выходе каскада с ОК;

— вращая ручку « R_6 » против часовой стрелки установите его в крайнее положение ($R_6 = 1 \text{ кОм}$);

— измерьте напряжение U_2 на выходе каскада с ОК;

— рассчитайте входное сопротивление каскада с общим коллектором по формуле

$$R_{\text{вх}} = R_1 \frac{U_2}{U_1 - U_2}, \quad (6)$$

где $R_1 = 1 \text{ кОм}$;

U_1 — напряжение на выходе каскада с ОК при $R_1 = 0$;

U_2 — напряжение на выходе каскада с ОК при $R_1 = 1 \text{ кОм}$;

4.16. Установите переключатель « R_H » в положение 2 ($R_H = 100 \text{ Ом}$) и измерьте входное сопротивление каскада (см. п. 4.14).

4.17. Установите переключатель « R_H » в положение 3 ($R_H = 500 \text{ Ом}$) и измерьте входное сопротивление каскада (см. п. 4.14).

4.18. Сделайте выводы по работе, поясняющие влияние элементов схемы на АЧХ, частотные искажения на нижних и верхних частотах, входное сопротивление каскада.

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы и постановка задач исследования.

5.2. Принципиальная схема каскада с ОК.

5.3. Результаты измерений по п. 4.3—4.5 и значения напряжений база—эмиттер транзистора при различных сопротивлениях нагрузки.

5.4. Результаты измерений, проведенных в п. 4.8, и амплитудная характеристика, построенная по этим измерениям.

5.5. Результаты измерений, проведенных в п. 4.10—4.13, а также амплитудно-частотные характеристики, построенные по этим данным.

5.6. Результаты измерений и расчетов, проведенных в п. 4.15—4.17.

5.7. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

6.1. Поясните назначение элементов схемы каскада с общим коллектором.

6.2. Покажите на схеме каскада с общим коллектором пути прохождения постоянных и переменных токов.

6.3. Что называется динамическим диапазоном усилителя? Как его можно определить?

6.4. Что называется амплитудно-частотной характеристикой усилительного каскада?

6.5. Поясните методику измерения амплитудно-частотной характеристики.

6.6. Что называется нижней и верхней граничными частотами полосы пропускания? Как они определяются?

6.7. Как экспериментально определить полосу пропускания усилителя?

6.8. Что определяет (ограничивает) максимальную амплитуду выходного напряжения эмиттерного повторителя?

6.9. Как можно расширить полосу пропускания каскада в области нижних частот? В области верхних частот?

6.10. Поясните методику измерения входного сопротивления каскада.

6.11. Какие элементы схемы определяют входное сопротивление эмиттерного повторителя?

6.12. По какой формуле обычно рассчитывают входное сопротивление эмиттерного повторителя?

Библиографический список

1. Борисенко А.Л. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Функциональные узлы: учебн. пособие для вузов / А.Л. Борисенко.— М.: Издательство Юрайт, 2019.— 126 с. — Режим доступа: <https://bibliotonline.ru/viewer/shemotekhnika-analogovyh-elektronnyh-ustroystv-funkcionalnye-uzly-438274#page/1>
2. Проектирование функциональных узлов и модулей радиоэлектронных средств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.Ю. Муромцев [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 252 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/109513>
3. Шарыгина Л.И. Лекции по аналоговым электронным устройствам. Учебное пособие / Л.И. Шарыгина. — Томск: Томск. Гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2017, — 149 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/110213/#2>

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ

*Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы*

*Составитель: **Мельников** Анатолий Викторович*

Редактор: к. т. н., доцент В. Г. Слёзкин

Изд. № 196/2020. Объем 1 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»