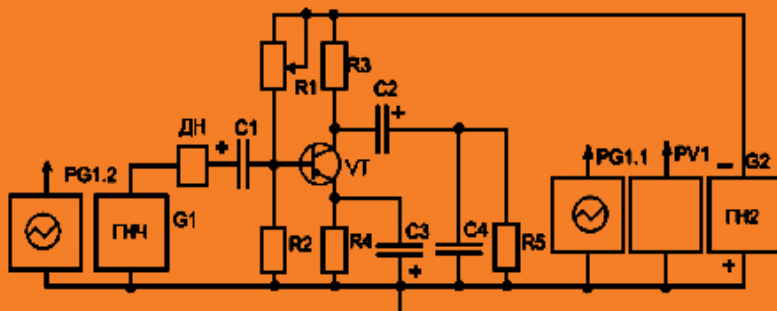


В.И. Чепелев, А.А. Шевцов, К.Х. Узбеков

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ И МИКРОСХЕМОТЕХНИКА

Практикум по лабораторным работам

Часть 1. Линейные цепи



Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Электротехнический факультет
Кафедра «Промышленная электроника»

В.И. Чепелев, А.А. Шевцов, К.Х. Узбеков

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ
И МИКРОСХЕМОТЕХНИКА**

Практикум по лабораторным работам

Часть 1. Линейные цепи

Тольятти
ТГУ
2010

УДК 621.317(075.8)

ББК 32.842

Ч44

Рецензенты:

д.т.н., профессор Поволжского государственного университета сервиса

А.А. Кувшинов;

к.т.н., доцент Тольяттинского государственного университета *В.П. Певчев.*

Ч44 Чепелев, В.И. Электронные цепи и микросхемотехника : практикум по лабораторным работам. В 2 ч. Ч. 1. Линейные цепи / В.И. Чепелев, А.А. Шевцов, К.Х. Узбеков. – Тольятти : ТГУ, 2010. – 40 с.

В практикуме приведены методические рекомендации для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электронные цепи и микросхемотехника». Часть 1 «Линейные цепи» содержит описание физических экспериментов и примеры моделирования работы схем с помощью программы Micro-Cap. Практикум входит в методическое обеспечение дисциплины «Электронные цепи и микросхемотехника» направления подготовки бакалавров 550700 «Электроника и микроэлектроника».

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ЕМКОСТНОЙ СВЯЗЬЮ

1.1. Цель работы

Целью работы является изучение схемы и исследование характеристик и свойств усилительного каскада, выполненного на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.

1.2. Перечень теоретических сведений для выполнения работы

Для выполнения работы необходимо предварительное изучение:

- способов задания режима по постоянному току;
- способов температурной стабилизации точки покоя;
- принципиальной схемы и назначения элементов усилительного каскада с емкостной связью на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером;
- амплитудной и амплитудно-частотной характеристик каскада;
- схем замещения каскада на средних, низких и высоких частотах;
- влияния параметров элементов на вид характеристики и основные показания усилительного каскада.

1.3. Программа работы

1.3.1. Исследовать работу усилительного каскада по постоянному току:

- 1) установить режим работы, соответствующий классу А, и измерить напряжения на элементах каскада относительно точки покоя;
- 2) рассчитать токи покоя и статический коэффициент усиления транзистора.

1.3.2. Исследовать усилительные свойства каскада в области средних частот:

- 1) снять амплитудную характеристику усилительного каскада;
- 2) оценить влияние сопротивления коллекторной нагрузки и емкости цепи температурной стабилизации на коэффициент усиления по напряжению;
- 3) рассчитать входное сопротивление каскада в области средних частот.

1.3.3. Исследовать частотные свойства усилительного каскада:

- 1) снять амплитудно-частотные характеристики каскада при различных величинах емкостей разделительного конденсатора, конденсаторов в цепях температурной стабилизации и нагрузки;

2) по полученным характеристикам определить полосу пропускания каскада, рассчитать частотные искажения на границах полосы пропускания и сравнить их с экспериментальными данными.

1.4. Описание исследуемой схемы

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 1.1. Полярность источника питания приведена для транзисторов типа р-п-р.

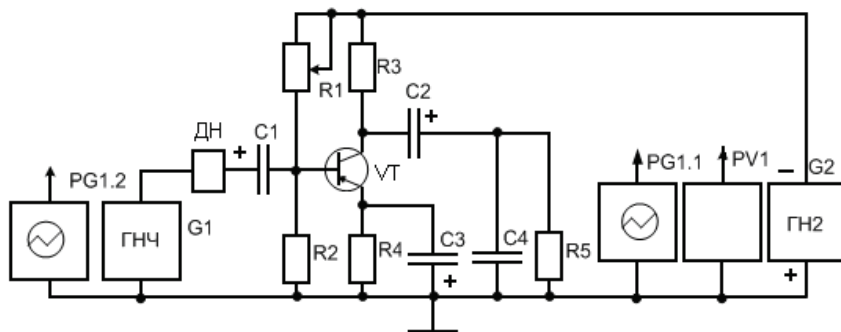


Рис. 1.1. Принципиальная схема лабораторной установки

Объектом исследования является усилительный каскад с емкостной связью, собранный на транзисторе VT типа р-п-р или п-р-п, выданном преподавателем. Цепь из переменного резистора R1 и постоянного R2 служит для задания транзистору режима по постоянному току, элементы R4, C3 обеспечивают температурную стабилизацию режима работы транзистора, резистор R3 является коллекторной нагрузкой, задающей режим работы по напряжению, конденсатор C1 осуществляет связь каскада с источником входных сигналов, снимаемых с выхода ГНЧ, а конденсатор C2 – с нагрузкой каскада, представленной в виде резистора R5 и конденсатора C4.

Режим работы усилительного каскада по постоянному току может изменяться с помощью переменного резистора R1.

Для питания каскада используется источник напряжения ГН2 на нижней панели стенда. Напряжение и частота входных сигналов задаются для генератора G1 в программе PC-Lab 2000. Измерения выходного напряжения каскада производятся с помощью канала 1 осциллографа PG стенда, измеренные кривые отображаются в окне осциллографа программы PC-Lab 2000. Измерение напряжений, определяющих режим по постоянному току, производится любым из двух цифровых мультиметров стенда.

Вход усилительного каскада подключается к выходу ГНЧ через делитель напряжения ДН «20 дБ» с помощью коаксиальных шнуров. Осциллограф подключается к исследуемой схеме шнурами, присоединенными к его входам.

1.5. Указания к выполнению работы

К пункту 1.3.1. На сменной панели установить элементы исследуемого каскада в соответствии с табл. 1.1.

Таблица 1.1

R1	R2	R3	R4	R5	C1	C2	C3	C4
кОм	кОм	кОм	Ом	кОм	мкФ	мкФ	мкФ	нФ
10-100	1,2	1	200	5,1	10	10	50	10

Подключить усилительный каскад к источнику питания G2. Установить напряжение источника питания равным примерно $E_k = -15$ В (или $+15$ В при транзисторах типа n-p-n) и, изменяя величину сопротивления переменного резистора R1 вращением его рукоятки, добиться, чтобы напряжение коллектора относительно общей точки схемы $U_{k0} = E_k/2 \approx (7,5$ В). Грубая установка режима на этом завершена.

Для точной установки необходимо подать синусоидальный сигнал от генератора ГНЧ. Установить частоту генерируемого напряжения 1000 Гц при минимальной амплитуде сигнала. Подключить осциллограф к коллектору транзистора. Плавно увеличивать амплитуду до появления видимых искажений синусоиды сверху или снизу в виде плоской «полочки». Резистором R1, изменяя положение рабочей точки транзистора, подкорректировать форму сигнала. Продолжить увеличение амплитуды до появления новых искажений. Произвести коррекцию. Установка рабочей точки завершена, если искажения сигнала на коллекторе проявляются одновременно снизу и сверху.

Отключить генератор от схемы. Перевести мультиметр в режим вольтметра постоянного тока с диапазоном до 20 В и измерить точные значения напряжений на коллекторе U_{k0} , на эмиттере $U_{э0}$ и на резисторе R2 — U_{R2} относительно общей точки. Перевести мультиметр в режим измерения сопротивления. Подключив резистор R1 к мультиметру, измерить величину его сопротивления. Переключив прибор в режим измерения коэффициента передачи тока базы, вставить транзистор в гнезда для соответствующего типа транзистора на правой части стенда и измерить коэффициент передачи для исследуемого транзистора.

По результатам измерений рассчитать:
ток покоя коллектора

$$I_{K0} = \frac{E_K - U_{K0}}{R3},$$

ток покоя базы

$$I_{B0} = \frac{I_{K0}}{\beta},$$

статический коэффициент усиления (коэффициент передачи тока базы)

$$\beta = \frac{I_{K0}}{\frac{E_K - U_{R2}}{R1} - \frac{U_{R2}}{R2}},$$

где U_{R2} – падение напряжения на резисторе R2.

Рассчитать статический коэффициент усиления β и сравнить его с измеренным значением.

К пункту 1.3.2. Подключить вход усилительного каскада к выходу ГНЧ. Установить частоту усиливаемых сигналов $f_c = 10$ кГц, выбрать синусоидальную форму выходного напряжения. Изменяя амплитуду напряжения сигнала генератора с помощью ползунков в программе PC-Lab 2000, снять амплитудную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ каскада, занести результаты измерений в табл. 1.2 и определить по ним величину коэффициента усиления по напряжению K_u .

Таблица 1.2

$U_{\text{ВХ}}, (\text{В})$						
$U_{\text{ВЫХ}}, (\text{В})$						
K_u						

Форма напряжения усиленных сигналов контролируется осциллографом. Входное напряжение изменяется от нуля до насыщения транзистора. Построить амплитудную характеристику каскада.

Установив входное напряжение, соответствующее середине линейного участка амплитудной характеристики, отключить конденсатор С3 и измерить коэффициент усиления по напряжению усилительного каскада. Сравнить коэффициенты усиления по напряжению каскада при наличии конденсатора С3 и без него.

Изменить сопротивление коллекторной нагрузки на $R_3 = 2 \text{ кОм}$, измерить коэффициент усиления по напряжению и сравнить его с коэффициентом усиления, полученным при $R_3 = 1 \text{ кОм}$. По величине коэффициента усиления, измеренной при $R_3 = 1 \text{ кОм}$, рассчитать полное входное сопротивление каскада:

$$R_{\text{вх.пол}} = \frac{\beta \cdot R_{\text{H}}}{K_{\text{U}}},$$

где $R_{\text{H}} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5}$.

К пункту 1.3.3. Установить входное напряжение каскада, соответствующее середине линейного участка амплитудной характеристики. Изменяя частоту входных сигналов от 20 Гц до 800 кГц, снять амплитудно-частотные характеристики $K_{\text{U}} = F(f_{\text{с}})$ в соответствии с данными табл. 1.3 при $R_3 = 1 \text{ кОм}$.

Фиксирование выходного напряжения при регулировании частоты производить по мере заметного изменения показаний вольтметра PV2 по сравнению с предыдущим измерением, обращая при этом внимание на начало и конец диапазона средних частот.

При построении амплитудно-частотных характеристик целесообразно по оси частот использовать логарифмический масштаб. По результатам измерений определить полосу пропускания при коэффициенте частотных искажений $M_{\text{H}} = M_{\text{B}} = 1,41$. Для нижней и верхней границ полосы пропускания f_{B} и f_{H} рассчитать коэффициенты частотных искажений:

$$M_{\text{H}} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{H}} \cdot \tau_{\text{H}}} \right)^2},$$

где $\frac{1}{\tau_{\text{H}}} = \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3}$,

$$\tau_1 = C1 \cdot R_{\text{вх.пол}};$$

$$\tau_2 = C2 \cdot (R_3 + R_5);$$

$$\tau_3 = C3 \cdot R_5;$$

$$R_5 = 0,026 / I_{\text{Э0}};$$

$$I_{\text{Э0}} = I_{\text{К0}} + I_{\text{Б0}};$$

$$M_{\text{B}} = \sqrt{1 + (2 \cdot \pi \cdot f_{\text{B}} \cdot \tau_{\text{B}})^2},$$

где $\tau_{\text{B}} = C4 \cdot R_{\text{H}}$, и сравнить их с числом $M = 1,41$.

Здесь τ_1 , τ_2 , τ_3 – постоянные времени для входной, выходной и эмиттерной цепей в области низких частот; τ_B – постоянная времени выходной цепи в области высоких частот.

Таблица 1.3

№	fc												
I	C2 = 10 мкФ C3 = 50 мкФ C4 = 10 нФ	$U_{\text{вых}}(B)$											
		$K(U)$											
II	C2 = 0,1 мкФ C3 = 50 мкФ C4 = 10 нФ	$U_{\text{вых}}(B)$											
		$K(U)$											
III	C2 = 10 мкФ C3 = 20 мкФ C4 = 10 нФ	$U_{\text{вых}}(B)$											
		$K(U)$											
IV	C2 = 10 мкФ C3 = 50 мкФ C4 = 1 нФ	$U_{\text{вых}}(B)$											
		$K(U)$											

1.6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- описание хода выполнения работы;
- табл. 1.2 и 1.3 с экспериментальными данными и результаты других измерений;
- графики амплитудной и амплитудно-частотных характеристик;
- результаты расчетов;
- анализ результатов, оформленный в виде кратких выводов.

1.7. Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается цель работы?
2. Какова программа исследований, какие характеристики необходимо снять?
3. Каково назначение измерительных приборов PV1, PV2, осциллографа?
4. Зарисовать принципиальную схему усилительного каскада.
5. Зарисовать схемы замещения каскада в области средних, высоких и низких частот.

6. Что является причиной нелинейности амплитудной характеристики?
7. Какие элементы схемы определяют уменьшение коэффициента усиления на НЧ и ВЧ?
8. Почему при отключенном СЗ в цепи эмиттера коэффициент усиления уменьшается?
9. Как задается режим постоянного тока (точка покоя)?
10. Объяснить назначение элементов исследуемой схемы.
11. Каким образом происходит термостабилизация точки покоя?
12. Что необходимо изменить в схеме, чтобы повысить коэффициент усиления на средних, низких и высоких частотах?
13. Что такое нагрузочная прямая и как она строится по постоянному и переменному токам?

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В УСИЛИТЕЛЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

2.1. Цель работы

Целью работы является исследование влияния обратных связей на характеристики и свойства усилителя низкой частоты.

2.2. Перечень теоретических сведений для выполнения работы

Для выполнения работы необходимо предварительное изучение следующих вопросов:

- классификация видов обратных связей;
- влияние отрицательной обратной связи (ООС) и положительной обратной связи (ПОС) на коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление и другие показатели усилителя;
- влияние обратных связей на вид амплитудной и амплитудно-частотной характеристик;
- схема двухкаскадного усилителя с емкостными связями, назначение элементов этой схемы и способы подачи сигналов ПОС и ООС.

2.3. Программа работы

2.3.1. Исследовать работу усилителя по постоянному току:

- 1) установить режимы работы по постоянному току для усиленных каскадов, соответствующие режиму класса А;
- 2) оценить влияние обратных связей на режим работы по постоянному току.

2.3.2. Исследовать влияние обратных связей на свойства усилителя в области средних частот:

- 1) определить возможные способы подачи ПОС и ООС;
- 2) снять амплитудные характеристики усилителя без обратной связи, при ПОС и ООС;
- 3) исследовать стабильность коэффициента усиления по напряжению при введении ООС.

2.3.3. Исследовать влияние обратных связей на частотные свойства усилителя:

- 1) снять амплитудно-частотные характеристики усилителя без обратной связи, при ПОС и ООС;
- 2) оценить влияние обратных связей на полосу пропускания усилителя.

2.4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 2.1.

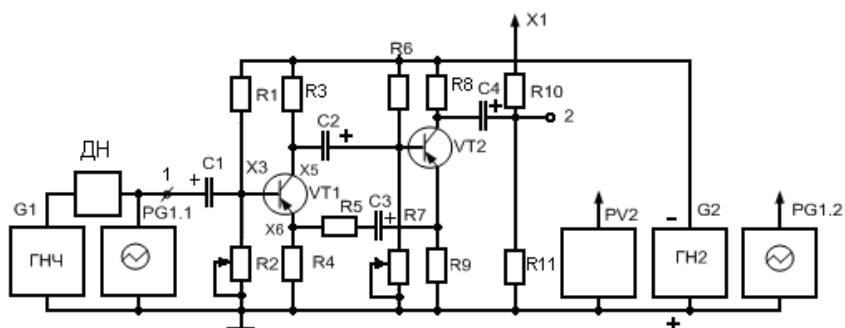


Рис. 2.1. Схема лабораторной установки

Исследуемое устройство состоит из двухкаскадного усилителя с емкостной связью, выполненного на транзисторах VT1 и VT2 p-n-p или n-p-n, выдаваемых преподавателем.

Первый и второй каскады имеют одинаковое исполнение. Резисторы R1, R2 и R6, R7 задают транзисторам режим работы по постоянному току. Резисторы R4, R9 – эмиттерная нагрузка транзисторов, эти сопротивления используются также для введения обратной связи между каскадами. Резистор R11 является нагрузкой усилителя.

Для выбора режима по постоянному току используются переменные резисторы R2, R7. Связь между источниками входных сигналов, усилительными каскадами и нагрузкой осуществляется с помощью конденсаторов C1, C2, C4.

Цепь из резистора R5 и конденсатора C3 служит для создания ПОС. Для отключения этой связи достаточно снять один из этих элементов. Кроме того, ПОС и ООС могут быть получены, если снимать сигнал обратной связи непосредственно с нагрузки R11 и подавать его через резистор R10 на вход или выход первого каскада. Для этого достаточно соединить проводником точку X1 с одной из точек X3, X5, X6.

Питание каскада осуществляется от источника напряжения GN2. Необходимо обратить внимание на полярность источника при применении транзисторов типа n-p-n. На схеме приведены соединения для транзистора типа p-n-p.

Измерение напряжений и токов производить одним из цифровых мультиметров (PV1 или PV2), размещенных на левой и правой панелях стенда.

Источником входных сигналов является генератор низкой частоты ГНЧ G1, управляемый в программе PCLab-2000 и установленный в режим генерации синусоидальных колебаний. Подключение генератора к схеме производить через делитель напряжения ДН «20 дБ». Контроль формы усиленных сигналов, измерение напряжений и частот входных и выходных сигналов производится с помощью первого и второго измерительных каналов осциллографа PG1.

2.5. Указания к выполнению работы

2.5.1. Теоретическое исследование схемы

Провести моделирование работы усилителя с помощью программы Micro-Cap.

Для этого необходимо на рабочем поле программы собрать схему двухкаскадного усилителя. В качестве рабочих транзисторов для каскадов взять модели транзисторов по указанию преподавателя из следующего списка: КТ315, КТ361, КТ363, КТ325, КТ3107, КТ630 или КТ3102. Рассчитать сопротивления резисторов, задающих точку покоя заданных транзисторов, резисторов в цепи термостабилизации и коллекторных резисторов. Емкости конденсаторов взять из табл. 2.1. Особо следует обратить внимание на полярность подключения источника питающего напряжения.

Точку покоя обоих транзисторов необходимо задавать путем подбора сопротивления резисторов R2 и R7 таким образом, чтобы потенциалы на коллекторах транзисторов равнялись половине напряжения питания.

Следующим этапом к входу схемы подключается генератор синусоидального напряжения с частотой изменения напряжения 10 кГц и амплитудой 0,3 В. Обратная связь в схеме создается по очереди сначала подключением резистора R10 последовательно к точкам X3, X5 и X6, а затем на схеме модели усилителя необходимо удалить резистор R10 и поставить цепочку из конденсатора C3 и резистора R5.

Для каждого типа обратной связи построить амплитудно-частотную характеристику в одном и том же масштабе по осям. Для этого в программе Micro-Cap в меню «Analysis» выбирается пункт анализа по переменному току «AC...». Следует учесть, что в результате анализа строится АЧХ, соответствующая подключению на вход схемы источника напряжения с амплитудой 1 В, и в результате получается кривая с уровнями, соответствующими непосредственно значениям коэффициента усиления.

После выбора пункта «AC...» на экране появляется окно задания параметров анализа, соответствующее рис. 2.2.

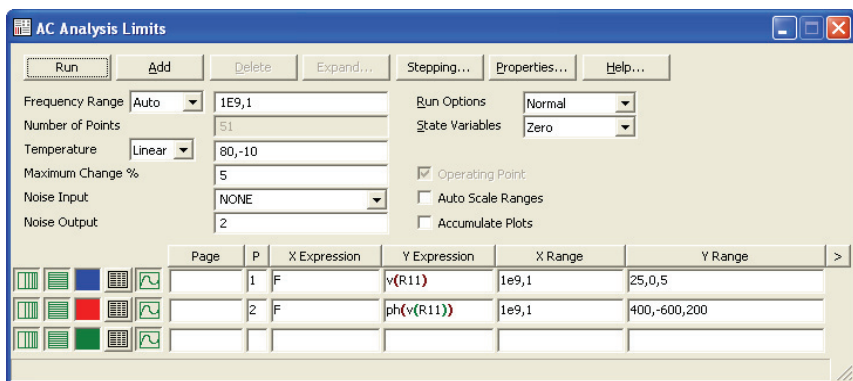


Рис. 2.2. Окно меню задания параметров анализа по переменному току «AC Analysis Limits»

В этом окне надо установить параметры анализа следующим образом. Частотный диапазон анализа задается в строке «Frequency Range» в формате «верхняя граница диапазона, нижняя граница диапазона». Единица измерения – Гц. Точки схемы, относительно которых снимается напряжение для анализа, указываются в таблице в нижней части окна в столбце «Y Expression», в рассматриваемом случае это напряжения на резисторе R11 ($v(R11)$). Физическая величина, откладываемая по оси абсцисс, указывается в столбце «X Expression». В нашем случае это частота, обозначаемая F . Диапазон частот, отображаемых на экране, вводится в столбце «X Range», для того чтобы на экране отображался весь диапазон анализа, значения в столбце «X Range» и в строке «Frequency Range» должны совпадать. В столбце «Y Range» указывается диапазон значений, отображаемых на координатной сетке по оси ординат. Значения в этом столбце надо варьировать таким образом, чтобы видеть полностью картину всей АЧХ. Следующей строкой в этой таблице надо задать отображение фазочастотной характеристики (ФЧХ), которая покажет сдвиг фаз на выходе усилителя относительно входного напряжения. Выбор отображения ФЧХ задается в столбце «Y Expression» путем занесения в него выражения $ph(v(R11))$, где ph – выбор собственно режима расчета ФЧХ, а в скобках указывается напряжение, сдвиг которого по фазе относительно входного и определяется. В рассматриваемом случае это напряжение на резисторе R11. Задания указанных параметров достаточно для начала расчета АЧХ усилителя, для чего надо нажать кнопку «RUN».

Средствами программы Micro-Cap можно на одном графике построить АЧХ и ФЧХ при различных значениях параметров элементов схемы для определения их влияния на работу усилителя. Для этого надо

в меню «AC Analysis Limits» нажать кнопку Stepping и в открывшемся окне, показанном на рис. 2.3, выбрать в строке «Step what» позиционное обозначение элемента, параметры которого требуется менять. После этого в поле «From» набрать начальное значение параметра, в поле «To» – конечное значение параметра, а в поле «Step Value» – шаг изменения величины. Для того чтобы при анализе изменялись выбранные параметры, надо в поле «Step It» выбрать «Yes», после чего нажать кнопку «OK».

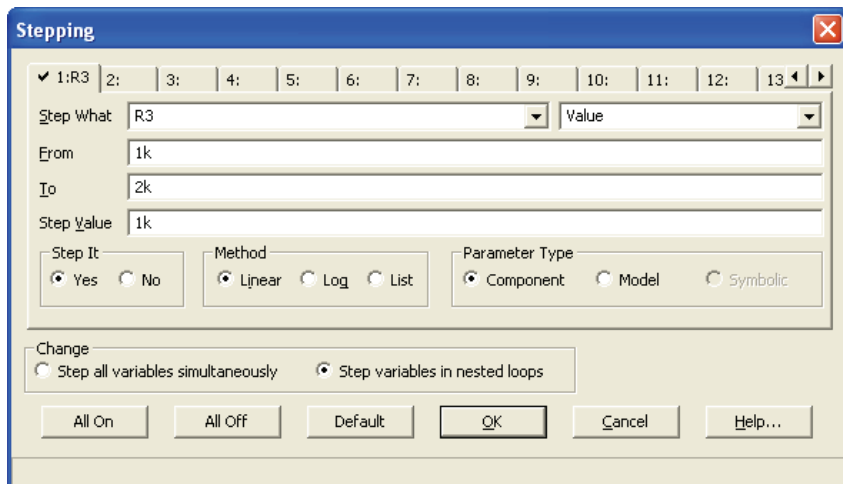


Рис. 2.3. Окно для задания изменяемого параметра модели

Для определения влияния обратной связи на ширину полосы пропускания построить АЧХ для каждого типа ОС: установив резистор R10 и подключая его поочередно к точкам X3, X5, X6, получить АЧХ для каждого случая ОС на одном графике попарно для значений резистора R10 10 кОм и 20 кОм.

Следующим этапом необходимо оценить стабильность коэффициента усиления при введении ОС и изменении коллекторной нагрузки транзисторов. Для этого проделать следующее. Изменить сопротивление коллекторной нагрузки первого каскада на $R3 = 1$ кОм и измерить выходное напряжение усилителя без ОС и при ООС для входного напряжения, соответствующего режиму усиления без искажения формы сигнала.

По результатам измерений оценить нестабильность коэффициента усиления по напряжению при введении ООС и без неё:

$$S_{\gamma} = \frac{\Delta K_{\gamma}}{K_{\gamma 1}}; \quad S = \frac{\Delta K}{K_1},$$

где $\Delta K\gamma = K\gamma_1 - K\gamma_2$; $\Delta K = K1 - K2$; $K\gamma_1$ и $K\gamma_2$ – коэффициенты при ООС, полученные экспериментально при $R3 = 2 \text{ кОм}$ и $R3 = 1 \text{ кОм}$; $K1$ и $K2$ – коэффициенты усиления без ОС, полученные при $R3 = 2 \text{ кОм}$ и $R3 = 1 \text{ кОм}$.

Сравнить полученную величину коэффициента S_{γ} с расчетной:

$$S_{\gamma} = \frac{S}{1 + \gamma K1},$$

где $\gamma = \frac{R3}{R3 + R10}$ – коэффициент ООС.

Включить в отчет по лабораторной работе все полученные в результате моделирования АЧХ для различных случаев ОС и коллекторной нагрузки. В выводах по работе указать причины различия АЧХ для всех вариантов.

2.5.2. Практическое исследование схемы усилителя

К пункту 2.3.1. На сменной панели установить элементы исследуемого усилителя в соответствии с табл. 2.1.

Таблица 2.1

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	C1	C2	C3	C4
кОм	кОм	кОм	Ом	кОм	кОм	кОм	кОм	Ом	кОм	кОм	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ
33	10	2	330	5,1	33	22	2	330	10	5,1	10	5	20	5

Установить напряжение питания, снимаемого с источника напряжения ГН2 $E_{\kappa} = 15 \text{ В}$. Подключить усилитель к источнику ГН2, соблюдая полярность, соответствующую типу примененных транзисторов. С помощью переменных резисторов R2, R7 установить первоначальное значение напряжения на коллекторах транзисторов VT1 и VT2 в режиме

покоя $U_{\kappa O} = \frac{E_{\kappa}}{2}$. Грубая установка режимов на этом завершена.

Для точной установки необходимо подать синусоидальный сигнал от генератора ГНЧ. Установить частоту генерируемого напряжения 1000 Гц при минимальной амплитуде сигнала. Подключить осциллограф к коллектору транзистора VT1. Плавно увеличивать амплитуду до появления видимых искажений синусоиды сверху или снизу. Резистором R2, изменяя положение рабочей точки транзистора, подкорректировать форму сигнала. Продолжить увеличение амплитуды до появления новых искажений. Произвести коррекцию. Установка рабочей точки завершена, если искажения сигнала на коллекторе проявляются одновременно снизу и сверху.

Провести точную настройку для транзистора VT2 по аналогичной методике, вновь убавив величину амплитуды входного сигнала до минимума.

Измерить постоянные напряжения $U_{к0}$, $U_{б0}$, $U_{э0}$, определяющие режим покоя усилительных каскадов, и с помощью цифрового мультиметра измерить статические коэффициенты (коэффициенты передачи тока базы) транзисторов β_1 и β_2 .

Рассчитать входные и выходные токи в режиме покоя для обоих усилительных каскадов:

$$I_{к0} = \frac{E_k - U_{к0}}{R_{3,8}}; \quad I_{б0} = \frac{I_{к0}}{\beta}; \quad I_{э0} = \frac{U_{э0}}{R_{4,9}}.$$

Убедиться, что подключение цепей обратной связи не изменяет режим работы по постоянному току. Для этого последовательно подсоединить резистор R10 проводником к точкам X3, X5, X6, наблюдая при этом с помощью мультиметра напряжения на базе, коллекторе и эмиттере транзисторов. Убедиться, что измеренные значения совпадают с полученными при отключенном R10.

К пункту 2.3.2. Подключить к входу усилителя ГНЧ и установить в программе PC-Lab 2000 частоту входных сигналов $f = 10$ кГц. К выходу усилителя подключить первый канал осциллографической приставки, выставив при этом соответствующий масштаб для осциллографа в программе PC-Lab 2000.

Соединяя последовательно точку X1 с точками X3, X5, X6, а также подключая и отключая резистор R5, определить для каждого случая вид обратной связи: положительная или отрицательная, последовательная или параллельная, по напряжению или по току. Отметить в отчете, для какого подключения какой тип обратной связи реализован.

Снять амплитудные характеристики усилителя при отключенных обратных связях, при ПОС (резистор R5 включен) и при ООС (точка X1 соединена с точкой X5). Результаты измерений занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

$U_{\text{вх}}$							
$U_{\text{вых}}$							
Без ОС							
ПОС							
ООС							

Изменить сопротивление коллекторной нагрузки первого каскада на $R_3 = 1$ кОм и измерить выходное напряжение усилителя без ОС

и при ООС для входного напряжения, соответствующего режиму усиления без искажения формы сигнала.

По результатам измерений оценить нестабильность коэффициента усиления по напряжению при введении ООС и без неё:

$$S\gamma = \frac{\Delta K\gamma}{K\gamma_1}; \quad S = \frac{\Delta K}{K_1},$$

где $\Delta K\gamma = K\gamma_1 - K\gamma_2$; $\Delta K = K_1 - K_2$; $K\gamma_1$ и $K\gamma_2$ – коэффициенты при ООС, полученные экспериментально при $R_3 = 2$ кОм и $R_3 = 1$ кОм; K_1 и K_2 – коэффициенты усиления без ОС, полученные при $R_3 = 2$ кОм и $R_3 = 1$ кОм.

Сравнить полученную величину коэффициента $S\gamma$ с расчетной:

$$S\gamma_p = \frac{S}{1 + \gamma K_1},$$

где $\gamma = \frac{R_3}{R_3 + R_{10}}$ – коэффициент ООС.

К пункту 2.3.3. Изменяя частоту входных сигналов от 20 Гц до 1МГц, в режиме Vode Plotter снять амплитудно-частотные характеристики усилителя последовательно без ОС, с ПОС (подключается цепь R5, C3) и с ООС (подключается резистор R10 к коллектору VT1). При подключении генератора и осциллографа учитывать рис. 2.19 пособия «Лабораторный компьютерный стенд. Описание и эксплуатация»¹.

Величина входного напряжения должна во всех случаях выбираться постоянной и соответствовать режиму усиления без искажения формы сигналов. Результаты измерений для восьми характерных точек занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

f_c							
U _{ВЫХ} без ОС							
U _{ВЫХ} с ПОС							
U _{ВЫХ} с ООС							

По амплитудно-частотным характеристикам определить границы полосы пропускания усилителя для коэффициента частотных искажений $M_n = M_v = 1,41$.

¹ Шевцов, А.А. Лабораторный компьютерный стенд. Описание и эксплуатация : метод. указания / А.А. Шевцов, В.И. Чепелев, К.Х. Узбеков. – Тольятти : ТГУ, 2010. – 40 с.

2.6. Анализ полученных результатов

Сравнить результаты моделирования схемы в Micro-Cap и результаты выполнения лабораторных работ. Объяснить расхождения в форме и величинах АЧХ, а также результаты оценки неустойчивости коэффициента усиления по результатам моделирования и реальных измерений.

2.7. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки с назначением элементов;
- описание хода работы;
- результаты измерений параметров и характеристик усилителя, в том числе табл. 2.2 и 2.3;
- графики амплитудно-частотных характеристик, полученных в результате моделирования и в результате выполнения физических измерений;
- результаты расчетов;
- анализ результатов работы, оформленный в виде кратких выводов.

2.8. Вопросы для самоконтроля

1. Что называется обратной связью?
2. Какие виды обратной связи используются в усилителях?
3. Какие виды обратной связи различают по способу снятия сигнала?
4. Какие виды обратной связи различают по способу подачи сигнала?
5. Как влияют ООС и ПОС на коэффициент усиления?
6. Назначение элементов исследуемой схемы усилителя с цепями ООС и ПОС.
7. Как изменяется неустойчивость коэффициента усиления при введении ООС?
8. Как изменяется входное сопротивление при введении ООС?
9. Как изменяется выходное сопротивление при введении ООС?
10. Как влияет ООС на частотные искажения и полосу пропускания усилителя?
11. Как влияет ООС на нелинейные искажения усилителя?
12. Почему цепь R_5 , C_3 создает ПОС?
13. Объяснить, какая ОС и почему получается при соединении точки X_1 с точками X_5 , X_6 и X_3 -ПОС?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

3.1. Цель работы

Целью работы является изучение схемы и исследование характеристик и свойств дифференциального усилительного каскада, выполненного на биполярных транзисторах.

3.2. Перечень теоретических сведений для выполнения работы

- Для выполнения работы необходимо предварительное изучение:
- принципиальной электрической схемы дифференциального усилительного каскада и назначение элементов этой схемы;
 - схемы замещения усилительного каскада для дифференциального и синфазного сигналов;
 - основных характеристик и параметров усилительного каскада;
 - влияния величин элементов усилительного каскада на свойства и характеристики каскада.

3.3. Программа работы

3.3.1. Исследовать работу усилительного каскада по постоянному току:

- 1) осуществить балансировку усилительного каскада;
- 2) измерить напряжение в режиме покоя, статические коэффициенты усиления транзисторов и рассчитать токи покоя.

3.3.2. Исследовать частотные свойства каскада при дифференциальном и синфазном сигналах:

- 1) снять амплитудно-частотные характеристики при дифференциальном и синфазном сигналах;
- 2) определить коэффициент подавления синфазного сигнала.

3.3.3. Исследовать свойства усилительного каскада при входных сигналах постоянного тока:

- 1) снять амплитудные характеристики каскада для различных величин сопротивлений коллекторных нагрузок при дифференциальном сигнале;
- 2) измерить входные ток и напряжения и рассчитать по ним входное сопротивление каскада при дифференциальном сигнале;
- 3) рассчитать коэффициент усиления каскада при синфазном сигнале и несимметричном выходе.

3.4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 3.1.

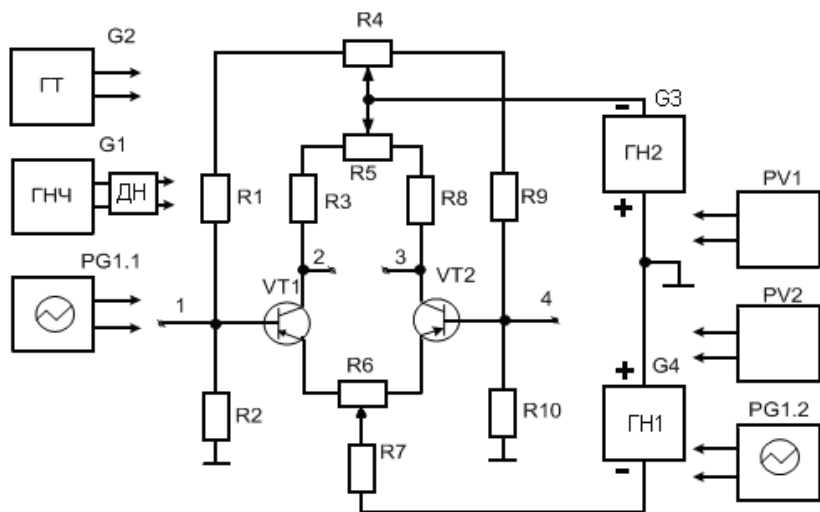


Рис. 3.1. Принципиальная схема установки

Дифференциальный усилительный каскад включает два транзистора VT1 и VT2 типа p-n-p, либо два согласованных транзистора в микросхеме КР159НТ1 типа n-p-n. Переменные резисторы R4, R5, R6 позволяют устранить несимметрию режимов для входных и выходных цепей, возникающую вследствие технологического разброса параметров элементов схемы.

Режим работы каскада по постоянному току задается с помощью резисторов R1, R2, R9, R10. Резисторы R3 и R8 являются коллекторной нагрузкой каскада, а резистор R7, выполняющий функции генератора стабильного тока, – общим сопротивлением обратной связи.

Входные сигналы подключаются непосредственно к входам 1 и 4 (дифференциальный вход) или на любой из входов относительно общей точки, второй в этом случае заземлен.

Если сигнал подается на оба входа одновременно – исследуется синфазный режим работы. Точки 2 и 3 являются симметричным выходом каскада. При несимметричном выходе напряжение снимается с одного из выходов 2 или 3 относительно общей точки.

Для питания каскада используются источники напряжения ГН1 и ГН2. В качестве источников входных сигналов применяются

генератор тока ГТ и генератор низкой частоты ГНЧ. Прибор РV1 – мультиметр, установленный в режим измерения постоянного тока. С его помощью измеряется выходной ток ГТ. Выходное напряжение и частота сигналов ГНЧ устанавливаются в программе РС-Lab 2000.

Измерение выходных напряжений при сигналах переменного и постоянного токов осуществляется осциллографической приставкой с помощью программы РС-Lab 2000. Измерения сопротивлений коллекторной нагрузки и измерения входного напряжения при сигнале постоянного тока осуществляются одним из мультиметров, настроенных в соответствующий режим – измерение сопротивления или постоянного напряжения.

3.5. Указания к выполнению работы

3.5.1. Теоретическое исследование схемы

Для теоретического исследования схемы в программе Micro-Cap собрать исследуемую схему в соответствии с рис. 3.1. Источниками питающего напряжения ГН1 и ГН2 должны выступать источники постоянного напряжения. Для построения дифференциального каскада использовать транзистор, указанный преподавателем из следующего списка: КТ315, КТ361, КТ363, КТ325, КТ3107, КТ 630 или КТ3102. Рассчитать сопротивления резисторов применительно к указанной модели транзистора.

В качестве источника входного сигнала использовать генератор синусоидального напряжения, амплитуду колебаний которого необходимо подобрать так, чтобы усиление происходило без искажений. Подключив генератор к входам 1 и 4 дифкаскада, снять АЧХ для случая дифференциального входного сигнала.

Снять АЧХ для синфазного сигнала. Для этого объединить входы 1 и 4, сигнал с генератора переменного напряжения подать на вход 1, а второй вывод генератора подключить к общей точке схемы. Изобразить АЧХ для синфазного и дифференциального сигнала в одном масштабе, сравнить полученные кривые и объяснить различие.

3.5.2. Практическое исследование схемы

К пункту 3.3.1. На сменной панели установить элементы исследуемого усилительного каскада в соответствии с табл. 3.1.

Таблица 3.1

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
кОм	кОм	кОм	кОм	кОм	Ом	кОм	кОм	кОм	кОм
12	1	3	2,2	1	470	20	3	12	1

Подключить усилительный каскад к источникам G3, G4 и установить выходное напряжение источника $G3 = -15$ В (или $+15$ В) в соответствии с типом примененного транзистора, а источника $G4 = +7$ (-7) В.

Снять с панели транзисторы VT1, VT2 и резистором R4 добиться равенства напряжений на входах 1 и 4. Подключая мультиметр в режиме измерения сопротивления к выходам 2 и 3 относительно среднего вывода резистора R5, получив, вращая рукоятку, одинаковые коллекторные сопротивления и измерить их величины. Установить на панели транзисторы VT1, VT2. Вращая рукоятку резистора R6, осуществить балансировку усилительного каскада, т. е. добиться равенства нулю напряжения между выходами 2 и 3.

После балансировки измерить напряжение на базах и коллекторах транзисторов U_{B0} и U_{K0} . Вставить поочередно транзисторы в гнезда для измерения коэффициента передачи тока базы транзистора на правой панели стенда, измерить статические коэффициенты усиления β_1 и β_2 транзисторов. Рассчитать токи покоя транзисторов по следующим выражениям:

$$I_{K0} = \frac{E_1 - U_{K0}}{R}; \quad I_{B0} = \frac{I_{K0}}{\beta},$$

где R — сопротивление в цепи коллектора, измеренное мультиметром.

К пункту 3.3.3. Подключить к входам 1 и 4 сигнал с ГНЧ, а к выходам 2 и 3 вход осциллографа. Установить в программе PC-Lab 2000 величину напряжения генератора, при котором сигналы усиливаются без искажения формы. Проконтролировать их с помощью осциллографа. Изменяя частоту входных сигналов от 100 Гц до 800 кГц, снять амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада для дифференциального сигнала, используя режим Vode Plotter. Результаты измерений для восьми характерных точек АЧХ занести в табл. 3.3. Контроль входного напряжения и частоты сигналов осуществлять с помощью осциллографа.

Подать на входы усилительного каскада синфазный сигнал. Для этого подключить информационный (красный) вывод ГНЧ к входу 1, а общий (черный) вывод — к общей точке схемы. Гнезда 1 и 4 соединить между собой с помощью провода. Снять амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада для синфазного сигнала относительно выходов 2 и 3 в режиме Vode Plotter. Результаты измерения для восьми характерных точек занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

fс												
U _{ВЫХ д}												
K _{и д}												
U _{ВЫХ с}												
K _{и с}												

Рассчитать коэффициент подавления синфазного сигнала:

$$K_{II} = 20 \lg \frac{K_{UD}}{K_{UC}} (\text{дБ}).$$

К выходам 1 и 4 усилительного каскада подключить дифференциальный сигнал от источника тока ГТ. Для контроля входного напряжения к этим же выводам подключить мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. Контроль входного тока выполняется вторым мультиметром, включенным последовательно с генератором тока ГТ и переведенным в режим измерения постоянного тока. К выходам 2 и 3 подключается осциллограф для контроля выходного напряжения.

Снять амплитудные характеристики усилительного каскада при $R3 = R8 = 3 \text{ кОм}$ и $R3 = R8 = 2 \text{ кОм}$. Результаты измерений занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

U _{ВХ} (В)											
R3 = R8 = 3 кОм	U _{ВЫХ} (В)										
	K _{и д}										
R3 = R8 = 2 кОм	U _{ВЫХ} (В)										
	K _{и д}										

Для участка характеристики с линейным режимом работы усиления измерить величины входного напряжения U_{ВХ} и входного тока I_{ВХ} при $R3 = R8 = 3 \text{ кОм}$ и рассчитать входное сопротивление каскада для дифференциального сигнала:

$$R_{BX} = \frac{U_{BX}}{I_{BX}}.$$

Подключить источник тока ГТ и мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения к входу 1 относительно общей точки схемы и соединить вход 1 с входом 4. Другой мультиметр в режиме измере-

ния постоянного напряжения подключить к несимметричному выходу и снять амплитудную характеристику. Результаты измерений занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

$U_{вхC}$ (В)							
$U_{выхC}$ (В)							
K_{CC}							

По результатам измерений рассчитать коэффициент усиления для синфазного сигнала при несимметричном выходе и сравнить его значение с величиной, определяемой аналитически по формуле

$$K_{CCP} = \frac{R_K}{2 \cdot R7}; \quad K_{CC} = \frac{\Delta U_{выхC}}{\Delta U_{вхC}}.$$

Значения коэффициента K_{CC} по результатам измерений находятся как отношения приращений напряжений для входных и выходных сигналов, взятых для рядом стоящих экспериментальных точек в табл. 3.4.

3.6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- результаты измерений параметров и характеристик, в том числе табл. 3.2, 3.3 и 3.4;
- графики амплитудно-частотных характеристик, снятых экспериментально и полученных в результате моделирования, а также амплитудные характеристики, снятые экспериментально;
- результаты расчетов;
- анализ результатов, оформленный в виде кратких выводов.

3.7. Вопросы для самоконтроля

1. Для чего предназначены дифференциальные каскады?
2. Что такое синфазный и дифференциальный сигнал?
3. Что такое дрейф нуля и за счет чего он уменьшается в дифференциальных каскадах?
4. Как устраняется несимметрия режимов работы, возникающая из-за технологического разброса параметров элементов схемы?

5. Зарисовать принципиальную электрическую схему дифференциального каскада.
6. Объяснить назначение элементов принципиальной электрической схемы.
7. Как составляется схема замещения каскада для дифференциального сигнала?
8. Как составляется схема замещения каскада для синфазного сигнала?
9. Что такое коэффициент подавления синфазного сигнала?
10. Как отличаются входные сопротивления каскада для дифференциального и синфазного сигналов?
11. Чем определяется коэффициент усиления для дифференциального сигнала?
12. Перечислить способы повышения коэффициента усиления и входного сопротивления для дифференциального сигнала.
13. Чем определяется коэффициент усиления для синфазного сигнала и каковы способы его уменьшения?
14. Привести вид амплитудно-частотной характеристики дифференциального каскада.
15. Как изменяются коэффициенты усиления каскада при несимметричном выходе?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХТАКТНОГО БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

4.1. Цель работы

Целью работы является изучение схемы и исследование характеристик и свойств двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности.

4.2. Перечень теоретических сведений для выполнения работы

Для выполнения работы необходимо предварительное изучение:

- основных показателей и характеристик усилителей мощности;
- способов построения схем усилителей мощностей;
- схемы бестрансформаторного усилителя мощности и назначения элементов этой схемы;
- влияния режима работы и сопротивления нагрузки на КПД и выходную мощность усилителя.

4.3. Программа работы

4.3.1. Исследовать работу усилителя мощности по постоянному току:

- 1) оценить влияние элементов предварительного усилителя на симметрию плеч выходного сигнала;
- 2) исследовать режимы работы выходного каскада по постоянному току.

4.3.2. Исследовать усилительные свойства по напряжению усилительного каскада:

- 1) снять амплитудные характеристики предварительного и выходного каскадов;
- 2) оценить влияние элементов схемы на коэффициент усиления по напряжению для предварительного и выходного каскадов.

4.3.3. Исследовать влияние сопротивления нагрузки на коэффициент полезного действия (КПД) и выходную мощность усилителя:

- 1) снять зависимость тока, потребляемого от источника питания, и выходного напряжения от сопротивления нагрузки;
- 2) рассчитать по экспериментальным данным зависимости выходной мощности и КПД выходного каскада от сопротивления нагрузки.

4.4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 4.1 в варианте с р-п-р транзистором в входном каскаде и комплиментарной парой транзисторов р-п-р и п-р-п в выходном каскаде.

Первый, предварительный каскад может быть выполнен также на транзисторе VT1 n-р-п типа, тогда выходные транзисторы меняются местами и изменяется полярность подключения источника питания. Предварительный усилитель представляет собой резистивный каскад с емкостной связью через C1 между источником входных сигналов ГНЧ и входом усилителя. При необходимости может использоваться делитель напряжения «ДН 20 дБ». Резисторы R1, R2 задают режим работы транзистора по постоянному току, цепь R3, C2 обеспечивает термостабилизацию режима работы, резистор R4 является коллекторной нагрузкой предварительного каскада.

Выходной каскад выполнен по двухтактной схеме на транзисторах VT2 и VT3 с разными типами проводимостей. Транзисторы включены по схеме с общим коллектором и работают на общую нагрузку R5, подключенную к выходу усилителя через разделительный конденсатор C3.

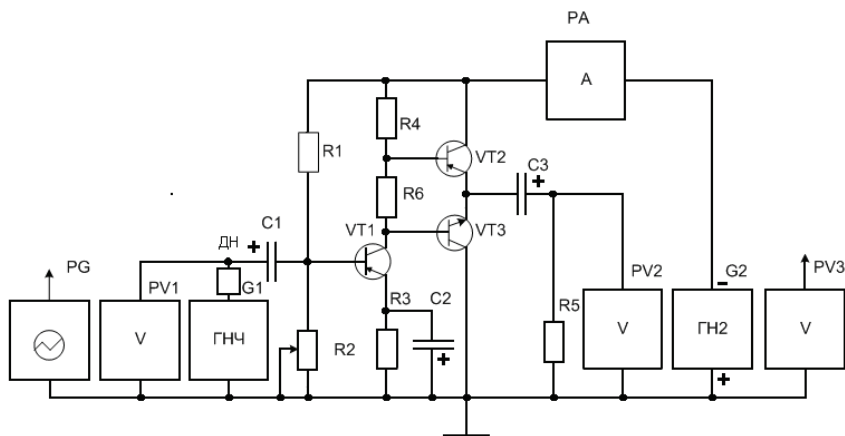


Рис. 4.1. Принципиальная схема лабораторной установки

С помощью резистора R6 создается начальное смещение на входах транзисторов VT2 и VT3 и, следовательно, задаются выходные токи в режиме покоя. При малой величине сопротивления R6 транзисторы практически заперты и выходной каскад работает в режиме класса В. С увеличением сопротивления R6 токи покоя транзисторов возрастают, что позволяет реализовать режим усиления класса АВ.

В схеме используется переменный резистор R2, с помощью которого можно изменять начальное смещение на базе транзистора первого каскада. Благодаря этому изменяется постоянное смещение на базах транзисторов VT2 и VT3 и постоянное напряжение на выходе второго каскада. Таким образом, резистором R2 можно установить требуемый режим работы выходного каскада по постоянному току, в частности, обеспечить симметрию напряжения между коллектором и эмиттером для транзисторов VT2 и VT3 каскада по постоянному току.

Для питания усилителя мощности используется источник напряжения ГН2, контроль за током, потребляемым от источника питания, осуществляется мультиметром в режиме измерения постоянного тока РА. Режим работы по постоянному току можно измерять либо вторым мультиметром в режиме измерения постоянного напряжения или осциллографом РГ. Последний также используется для контроля за формой выходного сигнала. Переменные напряжения на входе усилителя задаются универсальным функциональным генератором, амплитуда напряжения устанавливается в программе РС-Lab 2000. Напряжение на выходе измеряется осциллографической приставкой.

4.5. Указания к выполнению работы

4.5.1. Теоретическое исследование схемы

Провести моделирование работы усилителя с помощью программы Micro-Cap. Для этого собрать на поле программы исследуемую схему, подобрать режимы работы транзисторов по постоянному току. Снять зависимость тока I_{20} , потребляемого выходным каскадом, от величины сопротивления R6 при значениях, указанных в табл. 4.2, для этого использовать возможности режима «Stepping» анализа по переменному току. Подобрать величину сопротивления резистора R6, при котором транзисторы будут работать в режиме АВ. В режиме анализа по переменному току снять АЧХ усилителя и, используя возможность изменения параметров, определить характер изменения АЧХ при следующих парах значений параметров элементов: R4 = 1 кОм и R5 = 100 Ом, R4 = 2 кОм и R5 = 100 Ом, R4 = 1 кОм и R5 = 300 Ом, R4 = 2 кОм и R5 = 300 Ом. Построить полученные АЧХ в одном масштабе. Сделать выводы по различиям АЧХ.

4.5.2. Практическое исследование схемы усилителя

К пункту 4.3.1. На сменной панели установить элементы исследуемого усилителя в соответствии с табл. 4.1.

Таблица 4.1

R1	R2	R3	R4	R5	R6	C1	C2	C3	V1	V2	V3
кОм	кОм	Ом	кОм	Ом	Ом	мкФ	мкФ	мкФ	–	–	–
33	10	330	2	100	120	10	50	50	p-n-p	p-n-p	n-p-n

Установить напряжение источника питания ГН2 (G2 по схеме) $E_k = -15$ В при применении варианта с указанными на схеме транзисторами. Подключить усилитель мощности к источнику G2 и измерительным приборам согласно принципиальной схеме на рис. 4.1.

Убедиться в том, что величина сопротивления R2 влияет на постоянную составляющую выходного напряжения, снимаемого с эмиттеров транзисторов VT2 и VT3. Установить величину сопротивления R2, при котором напряжение на выходе выходного каскада $U_{20} \approx E_k/2$. Это предварительная, грубая настройка усилителя.

Для точной настройки необходимо на вход подать синусоидальный сигнал от генератора ГНЧ. Установить частоту генерируемого напряжения 1000 Гц при минимальной амплитуде сигнала. Подключить осциллограф к выходу усилителя – точке соединения эмиттеров транзисторов VT2 и VT3. Плавно увеличивать амплитуду до появления видимых искажений синусоиды сверху или снизу. Резистором R2, изменяя положение рабочей точки транзистора, подкорректировать форму сигнала. Продолжить увеличение амплитуды до появления новых искажений. Произвести коррекцию. Установка рабочей точки завершена, если искажения сигнала на выходе появляются одновременно снизу и сверху.

Снять зависимость тока I_{20} , потребляемого выходным каскадом, от величины сопротивления R6 при значениях, указанных в табл. 4.2.

Таблица 4.2

R6 (Ом)	51	100	120	200
I_0 (мА)				
I_{10} (мА)				
I_{20} (мА)				

Ток выходного каскада определяется так:

$$I_{20} = I_0 - I_{10},$$

где I_0 – ток, потребляемый усилителем мощности и измеряемый мультиметром в режиме измерения постоянного тока РА; I_{10} – ток, потребляемый предварительным каскадом и измеряемый амперметром РА при снятом с панели транзисторе VT2.

По результатам эксперимента определить величину сопротивления R_6 , при котором можно реализовать режим класса АВ. Установить это сопротивление на сменной панели.

К пункту 4.3.2. Подключить к входу усилителя мощности источник входных сигналов ГНЧ и установить частоту входного сигнала $f_c = 10$ кГц. Изменяя амплитуду выходного напряжения генератора, снять амплитудные характеристики предварительного и выходного каскадов. Результаты занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

U_{BX} (мВ)							
$U_{ВЫХ}1$ (В)							
$U_{ВЫХ}2$ (В)							

При входном напряжении, соответствующем середине линейного участка амплитудной характеристики, оценить влияние резисторов R_4 и R_5 на коэффициент усиления по напряжению предварительного и выходного каскадов. Для этого заполнить экспериментальными данными табл. 4.4.

Таблица 4.4

U_{BX} (мВ)	$R_4 = 1$ кОм $R_5 = 100$ Ом	$R_4 = 2$ кОм $R_5 = 100$ Ом	$R_4 = 1$ кОм $R_5 = 300$ Ом	$R_4 = 2$ кОм $R_5 = 300$ Ом
$U_{ВЫХ}1$ (В)				
$U_{ВЫХ}2$ (В)				

К пункту 4.3.3. Снять зависимости тока, потребляемого усилителем от источника питания и выходного напряжения от сопротивления нагрузки. Результаты занести в табл. 4.5.

Таблица 4.5

R_5 (Ом)	51	100	120	200	300
I_0 (мА)					
$U_{ВЫХ}$ (В)					
$P_{ВЫХ}$ (Вт)					
P_0 (Вт)					
η					

По экспериментальным данным находится выходная мощность усилителя:

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{2 \cdot R_5};$$

и мощность, потребляемая выходным каскадом от источника питания:

$$P_0 = E_K \cdot I_{20},$$

где $I_{20} = I_0 - I_{10}$, I_{10} – ток, потребляемый предварительным каскадом. Величину этого тока можно считать постоянной и равной току I_{10} из п. 4.3.1.

КПД выходного каскада находится как

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_0}.$$

4.6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- табл. 4.2, 4.3, 4.4 и 4.5 с экспериментальными данными и результатами расчетов;
- графики зависимостей, полученных в работе в процессе моделирования и реальных измерений;
- анализ результатов, оформленный в виде кратких выводов.

4.7. Вопросы для самоконтроля

1. Цель и программа работы.
2. Принципиальная схема лабораторной установки.
3. Назначение предварительного усилителя.
4. Назначение измерительных приборов измерительной установки.
5. Пояснить работу схемы выходного каскада.
6. Как обеспечивается симметричный режим работы транзисторов выходного каскада?
7. На что влияет величина сопротивления между базами транзисторов выходного каскада?
8. Каков коэффициент усиления по напряжению выходного каскада?

9. Как задается режим работы усилителя по постоянному току?
10. Как определяется коэффициент усиления по мощности выходного каскада?
11. Каким образом можно повысить коэффициент усиления по мощности выходного каскада?
12. Почему сопротивление нагрузки влияет на выходную мощность усилителя?
13. Объяснить зависимость выходной мощности от сопротивления нагрузки.
14. Почему в усилителях мощности чаще используют режим усиления класса АВ?
15. При каком условии бестрансформаторный усилитель мощности способен передать в нагрузку максимальную мощность?

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ

5.1. Цель работы

Целью работы является изучение схемы и исследование характеристик и свойств резонансного усилителя, выполненного на биполярном транзисторе.

5.2. Перечень теоретических сведений для выполнения работы

Для выполнения работы необходимо предварительное изучение следующих теоретических сведений, как то:

- способы построения избирательных усилителей;
- принципиальная схема резонансного усилителя и назначение элементов этой схемы;
- схемы замещения резонансного усилителя;
- работа резонансного усилителя.

5.3. Программа работы

5.3.1. Исследовать работу усилителя по постоянному току:

- 1) измерить напряжения на выводах транзистора в режиме покоя;
- 2) рассчитать токи, характеризующие режим покоя.

5.3.2. Исследовать избирательные свойства резонансного усилителя:

- 1) снять амплитудно-частотные характеристики усилителя при различных значениях элементов схемы: индуктивности и емкости избирательного контура, сопротивления и емкости нагрузки;
- 2) по экспериментальным данным рассчитать резонансную частоту, полосу пропускания усилителя и добротность колебательного контура.

5.4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 5.1 для варианта на транзисторе р-п-р типа.

Исследуемый усилитель выполнен на транзисторе VT1 марки КТ361 (р-п-р) с цепями задания точки покоя (резисторы R1 и R2) и термостабилизации точки покоя (резистор R3 и конденсатор C3). В качестве коллекторной нагрузки используется параллельный колебательный контур C2, L1. Разделительные конденсаторы C1 и C4 связывают соответственно вход усилителя с источником входных сигналов

ГНЧ и с нагрузкой, представленной в виде резистора R4 и конденсатора C5. При необходимости сигнал генератора может быть ослаблен с помощью делителя напряжения «ДН 20 дБ».

Входным напряжением усилителя является синусоидальный сигнал, снимаемый с универсального функционального генератора, амплитуда и частота которого задаются в программе PC-Lab 2000. Выходное напряжение измеряется с помощью одного из каналов осциллографа, с помощью которого также отслеживается и форма выходного напряжения усилителя. Напряжения на выводах транзистора в режимах покоя контролируются с помощью цифрового мультиметра, установленного в режиме измерения постоянного напряжения. Частота усиливаемых сигналов определяется с помощью осциллографа в программе PC-Lab 2000.

Для питания усилителя используется источник напряжения ГН2 (G2 на схеме).

5.5. Указания по выполнению работы

К пункту 5.3.1. На сменной панели установить элементы исследуемого усилителя в соответствии с табл. 5.1.

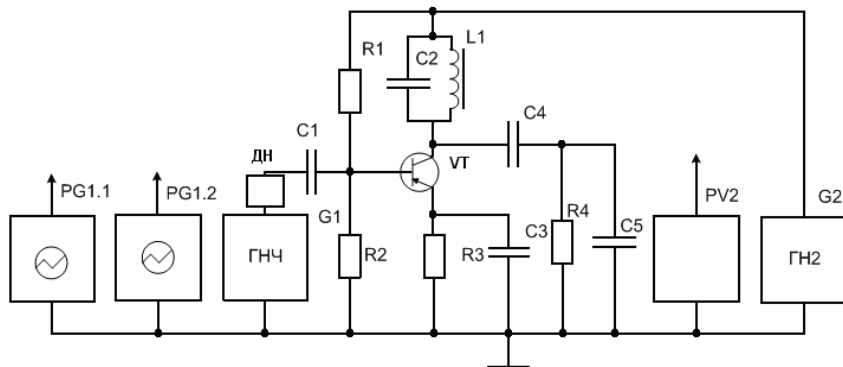


Рис. 5.1. Принципиальная схема установки

Таблица 5.1

R1	R2	R3	R4	C1	C2	C3	C4	C5	L1(Z4)
кОм	кОм	Ом	кОм	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мГн
33	10	100	5,1	0,1	0,033	10	0,1	0,01	1

Установить напряжение источника питания $E_K = -15$ В (для транзистора p-n-p). Подключить усилитель мощности к источнику G2 и измерительным приборам согласно принципиальной схеме рис. 5.1.

Измерить при отключенном ГНЧ напряжения на базе U_{R2} , на эмиттере U_{R3} и коллекторе U_{K2} . По полученным экспериментальным данным рассчитать ток покоя базы:

$$I_{BO} = \frac{E_K - U_{R2}}{R1} - \frac{U_{R2}}{R2}$$

и ток покоя коллектора

$$I_{KO} = \frac{U_{R3}}{R3} - I_{BO}$$

Используя величины U_{K0} и I_{K0} , оценить максимально возможную мощность, отдаваемую усилителем в нагрузку, и необходимое для этого сопротивление нагрузки:

$$P_{MAX} = 0,5 \cdot U_{K0} \cdot I_{K0}, \quad R_{ОПТ} = U_{K0} / I_{K0}$$

К пункту 5.3.2. Подключить к входу усилителя выход ГНЧ. Установить амплитуду входного напряжения, равную 0,5 В, и во всех последующих опытах поддерживать это напряжение постоянным. В режиме Vode Plotter снять амплитудно-частотную характеристику усилителя и занести значения восьми характерных точек в табл. 5.2 в соответствии со следующими условиями:

1) снять амплитудно-частотную характеристику усилителя при параметрах элементов, указанных в табл. 5.1. Результаты измерений занести в табл. 5.2;

2) установить на сменной панели емкость $C2 = 0,022$ мкФ и снять амплитудно-частотную характеристику, результаты занести в табл. 5.2;

3) установить на сменной панели емкость $C2 = 0,033$ мкФ, индуктивность $L1 = 160$ мкГн ($Z1$) и снять амплитудно-частотную характеристику, результаты занести в табл. 5.2;

4) установить на сменной панели индуктивность $L1 = 1$ мГн, сопротивление нагрузки $R4 = 2$ кОм и снять амплитудно-частотную характеристику, результаты занести в табл. 5.2;

5) установить на сменной панели сопротивление нагрузки $R4 = 5,1$ кОм, емкость $C5 = 0,022$ мкФ и снять амплитудно-частотную характеристику, результаты занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Пункт задания	Измеряемая величина	Значения							
а)	f_c , кГц								
	$U_{\text{вых}}$, В								
б)	f_c , кГц								
	$U_{\text{вых}}$, В								
в)	f_c , кГц								
	$U_{\text{вых}}$, В								
г)	f_c , кГц								
	$U_{\text{вых}}$, В								
д)	f_c , кГц								
	$U_{\text{вых}}$, В								

Для полученных характеристик определить полосу пропускания $2 \times \Delta f = 0,707$ от максимального значения выходного напряжения. Рассчитать по результатам опытов эквивалентную добротность коллекторного контура:

$$Q_{\text{э}} = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f},$$

где f_0 – резонансная частота.

Эквивалентное сопротивление потерь колебательного контура

$$R_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{э}}}{2\pi f_0 C_{\text{э}}},$$

где $C_{\text{э}} = C_2 + C_5$.

Сопротивление потерь и добротность контура без учета шунтирующих сопротивлений:

$$R_0 = \frac{R_{\text{э}} \cdot R_4}{R_4 - R_{\text{э}}};$$

$$Q_0 = \frac{Q_{\text{э}} \cdot R_0}{R_{\text{э}}}.$$

Результаты расчетов свести в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Номер пункта	$2 \cdot \Delta f$	Q_3	R_3	R_0	Q_0
а)					
б)					
в)					
г)					
д)					

Сделать выводы о влиянии на избирательные свойства резонансного усилителя индуктивности и емкости избирательного контура, сопротивления и емкости нагрузки.

5.6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- таблицы с экспериментальными данными и результатами расчетов;
- графики амплитудно-частотных характеристик;
- расчетные формулы;
- анализ результатов, оформленный в виде кратких выводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин. – М. : Высш. шк., 1982. – 496 с.
2. Гусев, В.Г. Электроника : учеб. пособие для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 622 с.
3. Цикина, А.В. Электронные усилители / А.В. Цикина. – М. : Радио и связь, 1982. – 288 с.
4. Быстров, Ю.А. Электронные цепи и устройства : учеб. пособие для вузов по спец. «Электронные приборы и устройства», «Промышленная электроника» / Ю.А. Быстров, И.Г. Мироненко. – М. : Высш. шк., 1989. – 287 с.
5. Белов, Г.А. Электроника и микроэлектроника : учеб. пособие для вузов / Г.А. Белов. – 2-е изд., испр. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. – 377 с.
6. Воробьев, Н.И. Проектирование электронных устройств : учеб. пособие / Н.И. Воробьев. – М. : Высш. шк., 1989. – 223 с.
7. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 4-е изд., доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 798 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лабораторная работа 1</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ЕМКОСТНОЙ СВЯЗЬЮ	3
<i>Лабораторная работа 2</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В УСИЛИТЕЛЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ	10
<i>Лабораторная работа 3</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА	19
<i>Лабораторная работа 4</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХТАКТНОГО БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ	26
<i>Лабораторная работа 5</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ	33
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	38

Учебное издание

Владимир Иванович ЧЕПЕЛЕВ
Александр Александрович ШЕВЦОВ
Камиль Харрясович УЗБЕКОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ
И МИКРОСХЕМОТЕХНИКА

Практикум по лабораторным работам

Часть 1. Линейные цепи

Технический редактор *З.М. Малявина*
Корректор *Г.В. Данилова*
Компьютерная верстка: *И.И. Шишкина*
Дизайн обложки: *И.И. Шишкина*

Подписано в печать 25.06.2010. Формат 60×84/16.
Печать оперативная. Усл. п. л. 2,3. Уч.-изд. л. 2.6.
Тираж 70 экз. Заказ № 1-22-10.

Тольяттинский государственный университет
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

