

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение
высшего образования
«Южный федеральный университет»**

ИНЭП Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по курсам**

Электроника

Электроника и микропроцессорная техника

Электротехника и электроника

Для студентов всех форм обучения
по направлениям:

12.03.01 – Приборостроение

12.03.04 – Биотехнические системы и технологии

11.03.04 – Электроника и наноэлектроника

27.03.01 – Стандартизация и метрология

Ростов–на–Дону
Издательство Южного федерального университета
2014

УДК: 615.471: 616 – (07.07)

Составители: Максимов В.Н., Снесарев С.С.

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсам «Электроника», «Электроника и микропроцессорная техника», «Электротехника и электроника». – Ростов–на–Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 34с.

В методических указаниях к выполнению лабораторных работ по учебным курсам, изучающим электронику, изложены основные теоретические положения, методические указания по выполнению лабораторных работ, домашние задания, содержание отчета, контрольные вопросы и список литературы. Лабораторные работы направлены на изучение основных параметров и характеристик и закрепление теоретического материала по полупроводниковым приборам, электронным усилителям и источникам питания, которые наиболее широко применяются в электронных приборах, измерительных, гидроакустических и медицинских приборах и аппаратах. Для проведения лабораторной работы приведены описания лабораторных макетов и подробная методика выполнения работ.

При проведении лабораторной работы студент получает практические навыки по сборке наиболее широко применяемых схем усилителей и осваивает методики измерения основных характеристик электронных усилителей.

Рецензент:

Ил. 13. Библиогр.: 5 назв.

Содержание

Введение	4
1. Измерения электрических параметров лабораторного стенда.....	6
2. Исследование основных характеристик однокаскадного транзисторного усилителя».....	14
3. Обратные связи в усилителях.....	23
Библиографический список	33

Общие требования к подготовке, выполнению и защите лабораторных работ

Перед выполнением лабораторных работ по курсу «Электроника» каждый студент должен:

- ознакомиться с конструкцией и основными характеристиками лабораторного стенда;
- проработать теоретический материал, требуемый для выполнения текущей лабораторной работы;

– выполнить необходимые домашние расчеты в соответствии с требованиями, изложенными в описании:

- по каждой работе составить отчет, который должен содержать титульный лист, цель выполняемой работы, краткие теоретические сведения, описание лабораторного макета, расчетные формулы, принципиальные схемы исследуемого устройства и эпюры получаемых сигналов, ход работы с описанием проводимых экспериментальных измерений, выводы и заключения. Отчет выполняется на отдельных листах или в тетради, сдаваемой после окончания цикла лабораторных работ.

В лаборатории перед выполнением первой лабораторной работы студент должен ознакомиться с инструкцией по технике безопасности (ТБ), после чего расписывается в журнале инструктажа по ТБ.

Для получения допуска к выполнению работы каждый студент должен ознакомиться с теоретическим материалом к данной работе, подготовить форму отчета с заранее подготовленными таблицами и графиками, результаты домашнего задания, рассказать о методике проведения лабораторной работы.

Студенты, не допущенные к выполнению работы или пропустившие занятие, выполняют её в специально отведенные часы, получив разрешение и допуск у преподавателя.

После получения допуска студенты, разбившись на подгруппы, собирают исследуемую схему и подключают к ней необходимую аппаратуру, проверяют правильность всех соединений. Получив разрешение преподавателя, включают лабораторный макет и приступают к выполнению в соответствии с описанием.

Возникающие при исследовании вопросы необходимо сразу выяснять у преподавателя.

После окончания экспериментальных измерений полученные результаты и построенные на их основе черновые графики заносятся в отчет и представляются на проверку преподавателю.

Работа считается законченной после проверки преподавателем полученных результатов измерений, сдачи рабочего места лаборанту и получения в отчете подписи преподавателя.

После окончания лабораторной работы студент проводит окончательное оформление отчета, включающее в себя краткие теоретические сведения о работе, ход выполненной работы, сравнение экспериментальных и теоретических зависимостей, составление графиков, обработку осциллограмм, выполнение необходимых расчетов, составление выводов по работе. Отчеты по работе оформляются не группой, а каждым студентом.

Защита лабораторной работы проводится в определенное время, отведенное преподавателем. При этом проверяются правильность оформления и содержание отчета, знание методики проведения измерений, умение объяснить полученные результаты и дать ответы на контрольные вопросы.

Цель работы: ознакомиться с конструкцией и основными характеристиками лабораторного стенда; изучить устройство и принцип работы измерительных приборов. Освоить методики измерения напряжений с помощью встроенных приборов стенда – вольтметров и амперметров и стандартных электронных вольтметров и осциллографов.

Провести измерения электрических параметров ГТ, ГН1, ГН2, ГН3, ГНЧ и ГПИ, сравнить с паспортными данными и дать заключение об их соответствии.

Краткие сведения об электрических измерениях и измерительных приборах

Измерение электрической величины заключается в сравнении рассматриваемой величины с некоторым ее эталонным значением. Методы электрических измерений подразделяются на методы непосредственной оценки и методы сравнения. Методы непосредственной оценки могут быть прямыми или косвенными и заключаются в том, что об измеряемой величине судят по показаниям одного или нескольких приборов.

Примеры прямого метода: измерение тока амперметром, напряжения – вольтметром и т. д., косвенного – измерение сопротивления амперметром и вольтметром, мощности – амперметром и вольтметром с дальнейшим расчетом требуемой величины.

Основными характеристиками электроизмерительных приборов являются: система, измеряемая величина и ее предел, класс точности, рабочее положение прибора.

Принцип действия прибора магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с током, протекающим по обмотке подвижной катушки, находящейся в этом поле. Прибор имеет равномерную шкалу, чувствителен к перегрузкам. Используется в цепях постоянного тока для измерения тока и напряжений.

Принцип действия прибора электромагнитной системы основан на взаимодействии магнитного поля, созданного током, протекающим по неподвижной катушке с подвижным несимметричным ферромагнитным сердечником.

Приборы имеют неравномерную шкалу и применяются для измерения токов, напряжений и мощностей в цепях постоянного и переменного напряжения. Приборы чувствительны к перегрузкам, на их показания влияют внешние магнитные поля. Чтобы уменьшить это влияние, приборы экранируют.

Классы точности

Класс точности – это относительная приведенная погрешности измерения к концу шкалы. Например, для прибора кл.1,5 при шкале 100 мВ, $\delta = 1,5 \%$. Таким образом, абсолютная погрешность составит $\Delta = 1,5$ мВ, а результат измерения $U = (65 \pm 1,5)$ мВ (при показаниях на шкале прибора 65 мВ).

Наиболее широко применяемые в практических измерениях классы точности – 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0.

Измерение тока

Для измерения тока используются амперметры рассмотренных выше систем. Амперметр включается последовательно в ветвь, ток которой необходимо измерить. Сопротивление амперметра должно быть малым по сравнению с сопротивлением цепи. При частотах свыше 400 Гц обычные амперметры дают большую погрешность, поэтому измерение тока можно заменить измерением напряжения на калиброванном сопротивлении, включенном последовательно.

Измерение напряжения

Напряжение между двумя любыми точками цепи измеряется с помощью вольтметра, подключенного к этим точкам. Для цепей с маломощными источниками звуковой и сверхзвуковой частоты используются электронные вольтметры, с помощью которых косвенно измеряют токи. Сопротивление вольтметра должно быть на порядок выше по сравнению с сопротивлением измеряемой цепи.

Электронный милливольтметр

Электронный милливольтметр представляет собой совокупность измерительной электронной схемы и стрелочного или цифрового измерительного прибора. Электронные вольтметры позволяют проводить измерения напряжения от единиц милливольт до сотен вольт в широком диапазоне частот (от десятков Герц до единиц МГц) практически без отбора мощности из цепи, в которой проводятся измерения.

ИЗМЕРЯТЬ НАПРЯЖЕНИЕ В СЕТИ ЭЛЕКТРОННЫМ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОМ ЗАПРЕЩЕНО

Электронный осциллограф

Электронный осциллограф предназначен для исследования формы электрических колебаний, а также измерения напряжений постоянного и переменного тока и периода сигнала в цепях низких и высоких частот. Принцип действия электронного осциллографа основан на взаимодействии электронного луча с электрическим и магнитным полем.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд многофункциональный и предназначен для исследования различных электронных приборов и схем при проведении лабораторных работ по курсу «Электроника». Внешний вид и расположение блоков стенда приведены на (рис. 1.1). Он состоит из наборного поля, на котором устанавливаются трафареты исследуемых схем, блока питания (БП), генератора прямоугольных импульсов (ГПИ), генератора низкой частоты (ГНЧ), генератора высокой частоты (ГВЧ) и измерительной стойки, включающей в себя АВМ1 (ампервольтметр), АВО (авометр), АВМ2, МВ (милливольтметр), ЧМ (частотомер) и ИВ (измеритель выхода).

Блок питания вырабатывает напряжение для питания лабораторного стенда и исследуемой схемы. Его включение в сеть 220 В, 50 Гц, производится тумблером S35. Тумблеры S21-S23, S32-S34 предназначены для подачи питания напряжения на те блоки стенда, которые используются при выполнении конкретной лабораторной работы. Параметры питающих напряжений и токов, подаваемых на исследуемые схемы и устанавливаемые регуляторами S24-S31 имеют следующие значения:

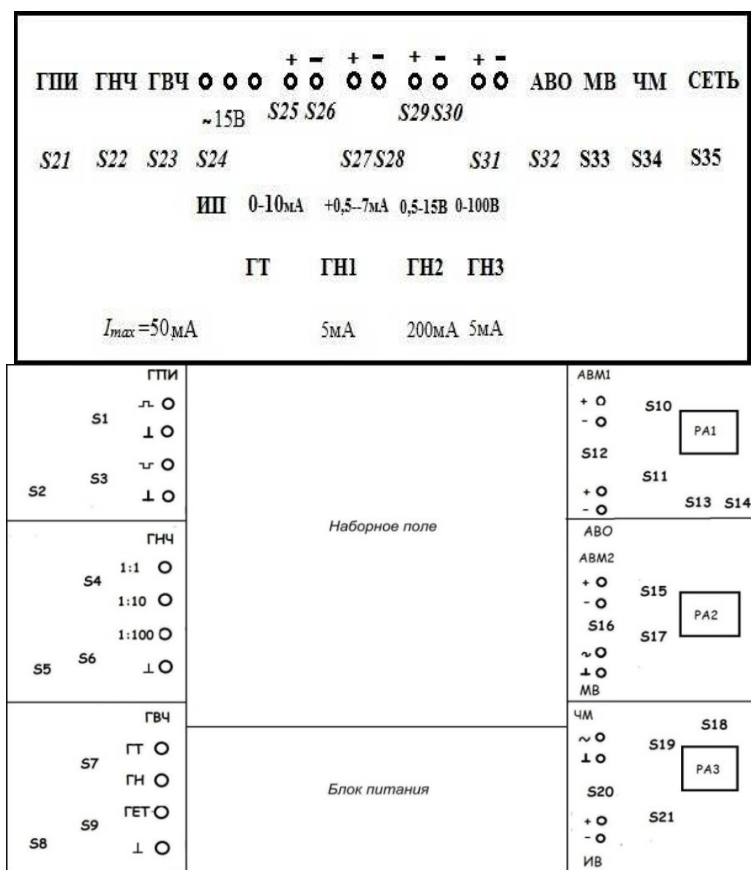


Рисунок 3.1. – Схема расположения блоков экспериментального стенда
 Рис. 1.1. Схема расположения блоков экспериментального стенда

- ИП – переменное напряжение 50 Гц, 15 В+15%;
- ГТ – постоянный стабилизированный ток 0 – 10 мА;
- ГН1 – постоянное стабилизированное напряжение от 0,5 до минус 7 В, $I_{max} – 5$ мА;
- ГН2 – постоянное напряжение 0,5 – 15 В, $I_{max} – 200$ мА;
- ГН3 – постоянное напряжение 0 – 100 В, $I_{max} = 5$ мА.

Генератор низкой частоты (ГНЧ) вырабатывает синусоидальное напряжение с частотой 20 Гц – 100 кГц и амплитудой не менее 0,5 В – эффективного значения.

Имеет регулировки – S4, S5 – изменяют частоту грубо и плавно, S6 – изменяет амплитуду.

Генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) вырабатывает видеоимпульсы с прямоугольной огибающей амплитудой не менее 3 В, длительностью 0,2 с – 1 мкс и с частотой повторения, задаваемой синусоидальным сигналом ГНЧ. Регулировки S1, S2 – обеспечивают изменение длительности (грубо и плавно) и S3 – амплитуды.

Генератор высокой частоты (ГВЧ) вырабатывает два высокочастотных сигнала с частотой 30 ± 30 кГц с нерегулируемой амплитудой не менее 0,3 В эфф. (выход ГЕТ) и с частотой 465 ± 30 кГц с амплитудой не менее 0,3 В эфф. (выход ГТ – генератор тока и ГН – генератор напряжения). Частоты обоих сигналов изменяются регулятором S6, так что разность между ними остается постоянной и равной 465 кГц. **Ампервольтметр (АВМ1) и авометр (АВО)** имеют общий стрелочный прибор PA1, переключаемый при работе с выхода АВМ1 и АВО тумблером S12. Переключатели S10 и S11 изменяют пределы измерений АВМ1 и АВО.

Ампервольтметр (АВМ2) и милливольтметр (МВ) имеют также общий стрелочный прибор PA2, переключаемый тумблером S16. АВМ2 используется для измерения постоянных токов и напряжений, а МВ для измерения переменных напряжений (на пределах от 5 мВ до 1 В с частотой до 40 кГц и на остальных пределах – до 200 кГц). Переключатели S15 и S17 изменяют предел

измерений.

Частотомер (ЧМ) и измеритель выхода (ИВ) подключается к общему измерительному прибору РА 3 тумблером *S20*. Напряжение, подаваемое на вход ЧМ, не менее 0,05 В. При измерении частоты в пределах 20 Гц – 100 кГц тумблер *S18* устанавливается в положение f_x , при измерении частоты высокочастотного сигнала, снимаемого с ГВЧ (ГТ И ГН), *S18* устанавливают в положение ($f_x - 465$ кГц). ИВ используются для измерения уровней сигналов, вырабатываемых ГНЧ и ГВЧ в относительных единицах.

Точность измерения приборами лабораторного стенда не хуже 10 % и достаточна для определения величины большинства параметров.

Порядок выполнения работы

1. Подготовка к измерениям.

Изучить описания на стенд и технические описания на измерительные приборы: электронный вольтметр и осциллограф.

Установить регуляторы всех источников питания в левое положение. Включить стенд и дать ему прогреться в течение 5 мин. С помощью переключателя *S16* проверить напряжения на источниках питания.

2. Провести измерения параметров стабилизированных источников питания ГТ, ГН-1, ГН-2.

Перед проведением измерений пределы приборов АВМ1 или АВМ2 необходимо установить на максимальное значение измеряемой величины. Подключить с помощью соединительных проводов исследуемый источник тока или напряжения к миллиамперметру, соблюдая полярность: плюс – к плюсу, минус – к минусу.

Плавно вращая регуляторы «грубо» и «точно» измерить ток или напряжение от источника. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

Таблица 1

Источник питания	Паспортные данные	Результаты измерений	Заключение о соответствии
ГТ	0 - 10 мА		
ГН1	0,5 – (-7) В		
ГН2	0,5 – 15 В		
ГН3	0 – 100 В		

2. Измерить параметры ГНЧ.

Для измерения параметров ГНЧ использовать осциллограф. Корпус осциллографа соединить с «землей», а сигнальный провод – к выходу генератора 1:1, регулятор «амплитуда» – в среднее положение.

Установить частоту 1000 Гц, плавно изменяя регулятор «амплитуда», определить $U_{вхmin}$ и $U_{вхmax}$. Аналогичные измерения провести на частотах 100 Гц, 10кГц, 100кГц.

Измерить напряжения на гнездах 1:10, 1:100, установив ручку ГНЧ на 1000Гц. Данные измерений занести в табл. 1.2.

3. Измерить параметры ГПИ.

Для измерений параметров ГПИ используем осциллограф. На осциллографе устанавливаем деления 0,1 В. Регуляторы «длительность» и « амплитуда» устанавливаем в крайнее левое положение, а ручку ГПИ – на 1 мс.

Провести измерения амплитуды и длительности импульса. Повторить для длительности 100 мкс, 10 мкс, 1мкс. Данные измерений занести в табл. 1.2.

Генератор	Параметр	Паспортные данные	Данные измерений	Заключение
ГНЧ	Амплитуда	Делитель напряжения 1:1, 1:10, 1:100		
ГНЧ	Частота	100 Гц, 1.0 кГц, 10 кГц, 100 кГц		
ГПИ	Амплитуда			
	Длительность импульса	100мкс, 10мкс, 1мкс		

4. Рассчитать погрешности измерения амплитуды милливольтметрами, сравнить результаты измерений с паспортными данными и дать заключения о соответствии.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Основные параметры стенда.
3. Перечень используемых приборов стенда с указанием их пределов измерения и цены деления шкал.
4. Таблицы результатов измерений и расчетных параметров.
5. Заключение о соответствии приборов паспортным данным.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы измерительных приборов. Классы точности.
2. Основные параметры и назначение ГТ, ГН1, ГН2, ГН3 измерительного стенда.
3. Основные параметры и назначение ГПИ и ГНЧ стенда.
4. Электронные вольтметры, назначение, основные характеристики.
5. Техника безопасности при работе с приборами. Почему нельзя измерять напряжение сети электронным вольтметром?
6. Осциллограф, назначение, основные характеристики.
7. Назовите методы электрических измерений?
8. Основные характеристики электроизмерительных приборов.
9. Электронные осциллографы, назначение, основные характеристики.
10. Объясните принцип работы приборов электродинамической системы.
11. Объясните принцип работы приборов электромагнитной системы.

Исследование характеристик однокаскадного транзисторного усилителя

Цель работы: ознакомление со схемами усилителей на транзисторах, с режимами работы транзисторов; изучение их основных параметров; назначения электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в усилителе и влияния их величин на параметры усилительного каскада; освоение методики экспериментального измерения основных параметров усилителя.

Основные теоретические положения

Основными характеристиками усилительных каскадов являются количественные и качественные показатели. Количественными показателями являются: коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление, к.п.д.

Коэффициент усиления выражает способность усилителя изменять уровень входного сигнала. Усиление может быть:

- а) по мощности – ,
- б) по напряжению – ,
- г) по току – .

Параметры входного и выходного сопротивления необходимы для согласования усилителя с источником сигнала и нагрузкой.

К *качественным* показателям относятся передаточные характеристики, основными из которых являются:

- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);
- фазочастотная характеристика (ФЧХ);
- коэффициент нелинейных искажений (КНИ).

АЧХ – зависимость изменения коэффициента передачи каскада от частоты.

Рабочая область (частотный диапазон) разбивается на 3 участка – низкие частоты, средние частоты (полоса работы усилителя), и высокие частоты (рис.3). Для каждой из частот среза ($f_{н}$, $f_{в}$) существует соответствующий коэффициент нелинейных искажений ($M_{н}$, $M_{в}$), характеризующий качество усилителя. Область, ограниченная $f_{н}$ и $f_{в}$, называется *рабочей полосой* усилителя.

ФЧХ – зависимость изменения фазы сигнала на выходе усилителя от частоты.

Коэффициент нелинейных искажений – характеризующий изменение формы сигнала.

Нелинейные искажения вызываются наличием в усилителе нелинейных элементов и приводят к увеличению коэффициента гармоник в спектре сигнала. Присутствие их описывается коэффициентами гармоник, которые можно найти по формуле

Для импульсных усилителей важным качественным показателем являются *переходные характеристики*. Переходные характеристики – зависимость от времени выходной величины $U(t)$ при ступенчатом характере изменения входной величины.

Амплитудные характеристики – описывают зависимость между напряжением на выходе и напряжением на входе и определяют собой динамический диапазон усилителя по входу и динамический диапазон по выходу.

Динамический диапазон характеризует линейную область работы усилителя, в котором не возникают искажения.

Динамический диапазон по входу и по выходу измеряется, как правило, в ДБ и находится по формуле

Для усилителей работающий при больших уровнях сигнала (усилители мощности) важное значение имеет также коэффициент полезного действия (КПД) усилителя, который характеризует его экономичность, т.е. количество полезной мощности на нагрузке к мощности потребляемой от источника питания $\eta = P_n/P_o$.

Величина КПД зависит в первую очередь от режима работы усилителя (А, В, АВ, С,Д) и величин резисторов в цепях питания усилителя.

Основные варианты схем питания транзисторов

Схема с фиксацией тока базы.

Для этой схемы (рис. 2) $R_1 = \frac{U_{BE}}{I_B}$, где U_{BE} – напряжение база-эмиттер, I_B – ток базы, определенный из характеристик транзистора и обеспечивающий заданный режим его работы.

Схема содержит малое количество элементов, простая, но не обеспечивает стабильность режима работы усилителя и в промышленной аппаратуре почти не используется.

Рис.2.2. Схема с фиксацией тока базы

Схема с фиксацией напряжения на базе и эмиттером стабилизацией

Данная схема питания (рис.3) является наиболее распространенной, так как обеспечивает необходимую стабильность работы каскада за счет включения резистора в цепь эмиттера, создающего последовательную отрицательную обратную связь по току.

При увеличении под действием дестабилизирующих факторов, тока I_C падение напряжения на резисторе R_4 увеличивается на ΔU_E и через резистор R_B проводится к базе, вызывая уменьшение I_C , так как при этом, а часть напряжения ΔU_E , передавая на базу, равна

$$(2.1)$$

Таким образом, общие изменения тока получаются значительно меньшими, чем при $R_4=0$. Без учета разброса h_{21} для изменений I_C имеем

$$(2.2)$$

$$(2.3)$$

При выборе R_1 и R_2 следует стремиться, чтобы $R_B > 4 \div 5 h_{11}$, иначе R_B будет значительно уменьшать входное сопротивление каскада. Если R_B будет мало, то необходимо увеличить R_4 и рассчитать значения R_1 и R_2 .

Рис.2.3. Схема с делителем напряжения

Схема с эмиттерно-коллекторной стабилизацией

Эта схема (рис. 4) находит при наиболее сложных условиях работы амплитуды. Цепочка R_f, C_f позволяет ввести дополнительную отрицательную обратную связь по направлению, в результате чего величины эквивалентных резисторов, включенных в цепь базы и эмиттера транзистора, принимают следующие значения:

Рис. 2.4. Схема с эмиттерно-коллекторной стабилизацией

$R_3,$ кОм	1,2	1	1,6	2	2,4	2,4	1,2	3	2,4	1,6
---------------	-----	---	-----	---	-----	-----	-----	---	-----	-----

3. Провести измерения режимов работы транзистора по постоянному току. Измерения проводятся вольтметром постоянного напряжения АВМ1 (АВМ2) на электродах транзистора относительно корпуса.
4. Подключить осциллограф к ГНЧ и установить сигнал частотой 1 кГц, амплитудой 20 - 40 мВ. Подключить осциллографу на вход усилителя, а напряжение с ГНЧ подать на вход схемы. Измерить амплитуду сигнала $U_{вх.}$ и $U_{вых.}$, рассчитать коэффициент усиления по напряжению. Данные занести в таблицу.
5. Снять амплитудно-частотную характеристику. Для этого, изменяя частоту ГНЧ в диапазоне 100 Гц – 100 кГц, провести измерения $U_{вх.}$ и $U_{вых.}$ для каждой частоты, рассчитать K_U усилителя на различных частотах, данные занести в таблицу. Рассчитать коэффициент усиления K_y каскада.

$f, \text{ кГц}$	0,02	0,05	1,0	10	100
$U_1, \text{ мВ}$					
$U_2, \text{ мВ}$					
K_U					

По результатам измерений построить АЧХ усилителя.

6. Провести исследование влияния номиналов резисторов делителя напряжения путем замены R_1 и R_2 . Определить после замены K_U и зарисовать форму сигнала.
7. Провести исследование влияния номиналов резисторов в цепи нагрузки и в цепи эмиттера, а также разделительных емкостей и емкости в цепи эмиттера на основные параметры усилителя. Для этого необходимо, последовательно изменяя значения $R_k, R_э, C_p, C_э$ (по 2-3 шт.), измерять $U_{вых}$ и рассчитать K_U на различных частотах.
8. Определить КПД усилителя при нагрузке 1 кОм. Для определения КПД необходимо измерить $P_{вых}$ на нагрузке и потребляемую мощность P_0 , включив в цепь питания амперметр.
9. По результатам измерений построить АЧХ для различных значениях $C_{разд.}$ и $C_э$, зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе усилителя.

Содержание отчета

1. Отчет должен содержать цель работы, назначение прибора, его структурную схему, основные характеристики, краткое описание принципа работы и назначение функциональных узлов.
2. В разделе «Ход работы» кратко описать исследуемую электрическую схему, перечень и номиналы использованных радиоэлементов. Перечислить перечень использованных приборов стенда с указанием их пределов измерения и цены деления шкал.
3. Последовательно изложить порядок выполнения работы и результаты измерений.
4. Оформить таблицу результатов измерений, а также графики снятых зависимостей.
5. В заключении привести результаты выполненной работы и полученные характеристики усилителя.

Контрольные вопросы

1. Какие типы усилителей вы знаете? Их назначение и область применения.
2. Назначение электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в схеме и их влияние на параметры усилителя.
3. Режимы работы усилителей показать на характеристиках транзистора.
4. Поясните влияние переходных конденсаторов на АЧХ усилителя.
5. Поясните влияние резисторов делителя на основные параметры усилителя.
6. Поясните влияние конденсатора в цепи эмиттера на основные параметры усилителя.
7. Поясните полученные в работе результаты. Сравните различные режимы работы используя ВАХ транзистора.
8. Режимы работы усилителей. Динамический диапазон усилительных каскадов.
9. Усилители мощности класса А. Область применения. Схема, принцип работы. Достоинства, недостатки класса А.
10. Объяснить значение параметра транзистора. Как он влияет на основные характеристики усилителя?
11. Как выбирается резистор в цепи эмиттера в схеме с ОЭ для усилителя слабых сигналов? Его влияние на параметры усилителя.
12. Бестрансформаторные УМ. Основные параметры, область применения, достоинства, недостатки.
13. Дать определение коэффициента нелинейных искажений. Как определить K_T ? Зависит ли его величина от режимов работы транзистора?
14. Назначение делителя напряжения в цепи базы усилителя. Как выбирается ток делителя и его резисторы?

Цель работы: изучив виды ОС и их влияние на параметры усилителя, провести измерения основных параметров двухкаскадного усилителя с местной и общей ООС и ПОС. На графиках показать как ОС изменяет АЧХ усилителя.

Теоретические сведения

Обратные связи в усилителях позволяют изменить такие параметры усилителей, как входное и выходное сопротивления, коэффициент усиления, нелинейные искажения, частотную характеристику, стабильность коэффициента усиления.

По способу осуществления обратные связи можно разделить на последовательные и параллельные, а по виду – на обратные связи по току и напряжению.

Если напряжение на обратной связи прямо пропорционально выходному напряжению усилителя, связь называют обратной связью по напряжению. Если напряжение обратной связи снимается с сопротивления, включенного последовательно с нагрузкой, то такая связь называется обратной связью по току.

При анализе усилителей с обратными связями усилители и цепи обратных связей представляются четырехполюсниками с комплексными коэффициентами передачи. На рис. 3.1 приведены примеры обратных связей:

- последовательная обратная связь по напряжению (рис. 1, а);
- последовательная обратная связь по току (рис. 3.1, б);
- параллельная обратная связь по напряжению (рис. 3.1, в);
- параллельная обратная связь по току (рис. 3.1, г).

Рис. 3.1. Виды обратной связи

В общем виде структурную схему усилителя с обратной связью можно представить в виде двух четырехполюсников с комплексными коэффициентами передачи: $K(j\omega)$ – для усилителей без обратной связи и $\beta(j\omega)$ – коэффициент передачи цепи с обратной связью. Соединение этих четырехполюсников показано на рисунке 2.

Связь между входными и выходными величинами цепей прямой $x_1(j\omega)$, $y_1(j\omega)$ и обратной $x_{OC}(j\omega)$, $y_{OC}(j\omega)$ связи характеризуется следующими уравнениями

$$(3.1)$$

$$(3.2)$$

Подставляя одно из уравнений в другое, найдём коэффициент передачи для замкнутой системы

$$(3.3)$$

В случае отрицательной обратной связи $\beta(j\omega) K(j\omega)$ имеет положительный знак, а при положительной – отрицательный.

Рассмотрим несколько примеров применения обратных связей в усилителях, применяемых в гидроакустической и ультразвуковой аппаратуре.

Рис. 3.2. Общий вид структурной схемы усилителя с обратной связью

На рис. 3.3 приведена схема усилителя по переменному току с последовательной связью по напряжению (эмиттерный повторитель). Напряжение обратной связи U_{OC} снимается с сопротивления нагрузки R_n и последовательно с возбуждающим напряжением подаётся на вход усилителя.

Рис. 3.3. Эмиттерный повторитель

На рис. 3.4 приведена схема усилителя по переменному току с параллельной обратной отрицательной связью по напряжению. Напряжение обратной связи снимается с коллектора транзистора и подаётся на вход усилителя параллельно напряжению возбуждения через сопротивление обратной связи R_{OC} .

Рис. 3.4. Схема усилителя по переменному току с параллельной обратной отрицательной связью по напряжению

На рис. 3.5 приведена схема усилителя по переменному напряжению с последовательной обратной отрицательной связью по току. Напряжение обратной связи U_{OC} , пропорциональное току нагрузки, проходящему через сопротивление R , снимается с этого сопротивления и подается на вход усилителя последовательно с возбуждающим напряжением E_r .

Рис. 3.5. Схема усилителя по переменному напряжению с последовательной обратной отрицательной связью по току

На рис. 3.6 приведена схема усилителя с параллельно-последовательной обратной связью по напряжению. Напряжение U_{OC} снимается с сопротивления нагрузки и через цепь обратной связи $C1-C2-R1-R2$ подается на вход усилителя параллельно-последовательно E_r .

Рис. 3.6. Схема усилителя по переменному току с параллельно-последовательной обратной связью по напряжению

Обратная связь в этом усилителе может быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от комплексного коэффициента передачи цепи обратной связи.

Комплексный коэффициент передачи прямой ветви усилителя с обратными связями зависит как от входных цепей усилителя, так и от цепей нагрузки.

Рассмотрим определение комплексного коэффициента передачи транзисторного усилителя в области низких частот.

Схема замещения транзисторного каскада усиления в области низких частот приведена на рис. 7. На схеме емкость раздельного конденсатора – C_p ; R_{Bx} – входное сопротивление, состоящее из параллельно включенных сопротивлений смещения и собственно входного сопротивления каскада; C_{Bx} – входная емкость каскада усиления; μ – коэффициент усиления каскада; R_i – его внутреннее сопротивление; а R_H представляет собой параллельное сопротивление нагрузки и коллекторного сопротивления. Комплексный коэффициент передачи каскада можно записать в виде

$$(3.4)$$

где $K_1(j\omega)$ – комплексный коэффициент передачи входной цепи; K_2 – коэффициент усиления каскада; $K_3(j\omega)$ – комплексный коэффициент передач входной цепи

$$(3.5)$$

$$(3.6)$$

$$(3.7)$$

Рассмотрим каскад усиления на транзисторе с последовательной отрицательной связью по току (см. рис. 3.5).

В этой схеме

(3.8)

где $y_s = y_{11} + y_{22} + y_{21} + y_{12}$, y – параметры четырехполюсника.

(3.9)

где $|y| = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21}$.

Входное сопротивление каскада

(3.10)

где R_D – сопротивление параллельно включенных цепей делителя цепи базы.

Внутреннее сопротивление каскада

(3.11)

где

Входная емкость $j\omega C_{вх} = jIm(y_{11})$.

Таким образом, все составляющие комплексного коэффициента передачи известны.

Для каскада другого типа – разница в величинах $C_{вх}$, $R_{вх}$, R_i , μ . Чтобы определить комплексный коэффициент передачи в усилителе с обратной связью, нужно определить комплексные передачи отдельных каскадов и коэффициент передачи цепи обратной связи, после него по формуле (3.3) определить общий коэффициент передачи.

Усилители с обратными связями являются системами замкнутыми, поэтому возможны случаи их неустойчивой работы. Действительно, если в выражение (3.3) $|K(j\omega)\beta(j\omega)| \geq 1$ и произведение $K(j\omega)\beta(j\omega)$ имеет отрицательный знак, то коэффициент передачи замкнутой системы будет меньше 1, т.е. система будет неустойчивой. Что такое устойчивая система? Устойчивая система после окончания переходного процесса переходит в новое вынужденное состояние под действием внешних возмущений. В неустойчивой системе возникают автоколебания, частота и амплитуда которых зависит от характеристик системы с ОС.

Анализ устойчивости усилителей с ОС проводят на основе различных методов. Наиболее плодотворными методами анализа устойчивости работы усилителей с обратными связями оказались частотные методы. Широкое распространение получил критерий Найквиста благодаря его простоте, наглядности результатов, легкости постановки эксперимента для проверки расчетов и получения недостающих сведений и отсутствии сложных вычислений.

Критерий Найквиста позволяет связать стационарные частотные свойства разомкнутой системы с нестационарными свойствами замкнутой системы.

Для исследования замкнутой системы на устойчивость при применении критерия Найквиста эту систему разрывают в какой-либо точке соединения двух звеньев. При этом замкнутая система превращается в разомкнутую. Точка разрыва должна обладать свойством детектирования, т.е. в этом месте не должно быть реакции последующего звена на предыдущее.

На образованный в точке разрыва вход системы подается колебание постоянной амплитуды и частоты. Пройдя через усилитель, это колебание появится на выходе усилителя в виде колебания той же частоты, но с амплитудой и фазой, отличающимися от тех же параметров входного колебания.

Если на входе колебания имеют вид

то на выходе будет колебание

а комплексный коэффициент передачи системы определится уравнением

Каждому значению соответствуют определенные значения $A(\omega)$ и $\gamma(\omega)$. Значение $K(j\omega)$ при изменении ω можно изобразить в виде годографа этого вектора по комплексной плоскости, т.е. в виде амплитудно-фазовой характеристики.

Критерий устойчивости Найквиста формулируется следующим образом: если в системе – устойчивой в разомкнутом состоянии, годограф амплитудно-фазовой характеристики не охватывает точку с координатами $(-1, j0)$, то эта система будет устойчивой и в замкнутом состоянии, если же годограф охватывает точку, то в замкнутом состоянии система будет неустойчивой.

Описание лабораторного стенда

Усилитель на транзисторе VT1 охвачен отрицательной обратной связью. Сигнал обратной связи снимается с резистора R4. С помощью подсоединения конденсатора C5 возможно изменение глубины ОС на различных частотах. Усилитель на транзисторе VT2 также имеет отрицательную обратную связь, регулируемая элементами C6R9. В усилителе применена местная положительная обратная связь по цепи R5C3. Весь усилитель может охватываться положительной обратной связью по цепи: R11R10C7. В усилителе используются следующие значения элементов: VT1, VT2 – МД42, R1, R6 – 33кОм, R2, R7 – 10 кОм, R3, R8 – 2 кОм, R4, R9 – 330 Ом, R5 – 1,10 кОм, R11 - 1÷10 кОм, R10 - 10÷35 кОм, C1, C2 – 20,0 мкФ, C5, C6 – 10,0 мкФ, C7, C8 – 0,1; 1,0 мкФ, C3 – 20,0; 1,0; 0,1 мкФ, C8, C7 – 0,1; 1,0 мкФ.

При выполнении лабораторная работы используются следующие приборы: ГН2, ГНЧ, МВ, ЧМ, АВМ1, Э0 (электронный осциллограф).

Порядок выполнения работы

3.1. Собрать схему усилителя на БТ с общим эмиттером

Для того чтобы провести исследование местной ООС и общей ООС по приведенной на рисунке 7 схеме эксперимента, необходимо произвести выбор элементов схемы:

- 2 транзистора КТ315;

- резисторы:

$R1=R6=33 \text{ кОм}, R2=R7=10 \text{ кОм},$

$R3=R8=2 \text{ кОм},$

$R4=R9=330 \text{ Ом},$

$R5=512 \text{ Ом}$ (при исследовании общей ООС он меняется на резисторы в 51 кОм, 20 кОм, 10 кОм и 2 кОм);

- ёмкости: $C1=20 \text{ мкФ}, C1=10 \text{ мкФ}, C1=50 \text{ мкФ}.$

Рис. 3.7. Схема лабораторной установки

3.2. Измерить схемы режимы по постоянному току

Измерения проводим вольтметром постоянного тока АВМ1 (АВМ2) между корпусом и выводами транзистора. Данные измерений заносим в табл.1.

Таблица 3.1

	Напряжение, В		
	$U_б$	$U_э$	$U_к$
VT1			
VT2			

3.3. Исследовать местную обратную связь

Местная обратная связь на VT1 образуется на резисторе R4. Если подключить C5, то ООС по переменному току исчезает, поэтому измеряем K_{yc} при включении емкости и без нее.

(Измерили напряжения на входе и на выходе сначала без подключения обратной связи (конденсатора в 10 мкФ), а затем с его подключением).

Таблица 3.2

	Напряжение, В		Коэффициент усиления $K_{уc,разы}$
	$U_{вх}$	$U_{вых}$	
С применением ОС			
Без ОС			

3.4. Исследовать ПОС усилителя

Подключить рез $R4=1кОм$ и конденсатор $C3=0,033 мкФ$ и изменяя частоту от 100 Гц до 100 кГц измерить K_u . Затем изменить номиналы $R4$ от 1 кОм до 51 кОм, а $C5$ от 0,0033 до 5 мкФ провести измерения АЧХ усилителя. Данные занести в таблицу.

3.5. Исследовать общую обратную связь

Исследование общей обратной связи проводилось ранее, при расчете коэффициента усиления. Для этого было принято входное напряжение $U_{вх}=3В$. Выходные напряжения снимались для резисторов сопротивлением 51 кОм, 20 кОм, 10 кОм и 2 кОм, которые подключались в позицию $R5$ в порядке убывания значения сопротивления. При этом конденсатор в позиции $C1$ имел емкость 10 мкФ для всех используемых резисторов.

Таблица 3.3

Сопротивление $R5$, кОм	Выходное напряжение $U_{вых}$, В	Коэффициент усиления $K_{уc,разы}$
51		
20		
10		
2		

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему, включить стенд, подать питание на схему согласно варианту, зарисовать ее в отчет и записать номиналы ЭРЭ.
2. Провести измерения режимов транзисторов по постоянному току вольтметром постоянного напряжения –АВМ1 (АВМ2). Определить рабочий режим транзисторов (А,Б,С,Д).
3. Установить частоту 10 кГц, измерить поочередно $K_{ус}$ первого и второго каскадов без цепи $R5$, $C3$. Исследовать влияние местной ООС, для чего снять АЧХ с выхода усилителя с конденсатором $C5$ в цепь эмиттера и без него.
4. Исследовать, путем измерения АЧХ усилителя, влияние ПОС на параметры усилителя. Измерения провести при различных значениях резистора и емкости (показать, что ОС частотно-зависимая) и определить, при каких значениях ЭРЭ и на какой частоте сказывается влияние ПОС.
5. Построить на одном графике АЧХ усилителя при введении местной ООС и без ООС и на другом – АЧХ усилителя при введении частотно-зависимой общей ПОС.

Библиографический список

1. Батушев В.А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980.
2. Воронин В. А., Максимов В. Н. Руководство к лабораторным работам по курсу «Электронные устройства гидроакустической и ультразвуковой аппаратуры». Часть 1. — Таганрог: ТРТИ, 1987. — 34 с. УДК 681.883(0707).
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника.– М.: Высшая школа, 1991.
4. Прянишников. «Электроника». Курс лекций, – СПб. Корона принг. 2000.
5. Шило В.Л., Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – 2-е изд., испр. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отд., 1989. – 352 с.

**Максимов Виталий Николаевич
Снесарев Сергей Стефанович**

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по курсам**

Электроника

Электроника и микропроцессорная техника

Электротехника и электроника

Ответственный за выпуск Снесарев С.С.
Редактор Кочергина Т.Ф.
Корректор Селезнева Н.И.

Подписано в печать

Заказ №

Тираж 50 экз.

Формат 60 x 84 ¹/₁₆. Усл. печ. л. – 2,0. Уч.-изд. л. – 2,0.

Издательство Южного федерального университета
344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1.
Тел. (863) 247-80-51.

Отпечатано в Секторе обеспечения полиграфической продукции кампуса в г. Таганроге
отдела полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции ИПК КИБИ МЕДИА
ЦЕНТРА ЮФУ.

ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1.
Тел. (8634) 37-17-17, 37-16-55.