МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ Т.Ю. Ткачева

«_2_» _11_____ 2026 г.

Электроника

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электроника» для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения

Курск 2026

УДК 621.38

Составитель Н.Н. Карпенко, Н.М. Гайдаш. В.О. Поданов

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *И.В. Ворначева*

Электроника: методические указания для выполнения лабораторных работ / Минобрнауки России, Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Карпенко Н.Н., Гайдаш Н.М., Поданов В.О.– Курск, 2026. – 47 с.:– Библиогр.: с. 47.

Методические указания предназначены для выполнения студентами лабораторных работ при изучении дисциплины «Электроника». Указывается порядок выполнения лабораторных работ, правил оформления отчета. Лабораторные работы охватывает материал по следующим темам: полупроводниковые приборы, однофазные выпрямители и их характеристики, сглаживающие фильтры, биполярные транзисторы, полевые транзисторы, мультивибраторы.

Предназначены для студентов технических специальностей и направлений подготовки при проведении лабораторных занятий.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2.11 Формат 60х84 1/16.
Усл.печ. л. 3,02 . Уч.-изд. л. 2,37.
Тираж 100 экз. Заказ 429 . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

С

ОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Исследование однофазного выпрямителя 4
Лабораторная работа №2. Исследование статических вольтамперных характеристик и параметров полупроводниковых диодов и биполярных транзисторов 18
Лабораторная работа №3. Усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером 24
Лабораторная работа №4. Статические характеристики и усилительные свойства полевого транзистора 30
Лабораторная работа №5. Исследование частотных свойств усилительного каскада с емкостными связями 35
Лабораторная работа №6. лабораторное исследование отрицательной обратной связи усилителях 41
Библиографический список 47

Лабораторная работа № 1
Исследование однофазного выпрямителя

1.Цель работы

1. Исследование маломощного выпрямителя на полупроводниковых диодах.
2. Установление различий во внешних характеристиках этого выпрямителя без фильтров, с фильтрами C, RC, LC, CRC и CLC.

2. Подготовка к исследованиям

1. Изучить по конспекту лекций и рекомендованному учебнику разделы «Полупроводниковые приборы – диоды», «Выпрямители».
2. Освоить методику выполнения лабораторной работы по настоящему пособию.
3. Подготовить отчет с таблицей для экспериментальных данных.

3. Предварительные сведения

Для работы электродвигателей постоянного тока, электрохимических установок, устройств электроники, автоматики, связи и др. требуется электроэнергия постоянного тока. Наиболее распространенным источником электрической энергии является промышленная сеть переменного тока частотой 50 Гц.

Для преобразования переменного напряжения в постоянное применяют выпрямительные устройства (выпрямители). Переменное напряжение сети U_c в выпрямителе (рисунок 3.1) преобразуется трансформатором T в переменное напряжение другой величины, необходимое для питания нагрузки R_H. Это переменное напряжение с помощью вентиля V (или группы вентилей) – прибора, пропускающего ток в одном направлении, преобразуется в напряжение с неизменной полярностью, но изменяемое по величине (пульсирующее напряжение).

Для нормальной работы большинства устройств постоянного тока требуется напряжение постоянное и по величине. Поэтому в выпрямителях для получения не пульсирующего напряжения после

вентилей ставится сглаживающий фильтр Ф, схема которого может быть собрана из конденсаторов, индуктивных катушек и резисторов. Для того чтобы постоянное напряжение на нагрузке не изменялось при изменениях напряжения сети или сопротивления нагрузки, в состав выпрямителя часто вводится стабилизатор напряжения СН, представляющий собой электронное устройство, выполненное на стабилитронах, транзисторах и других элементах.

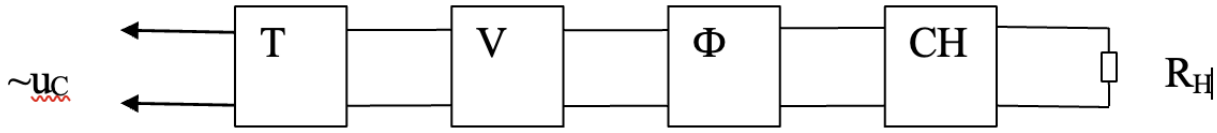


Рисунок – 3.1. Структурная схема выпрямителя

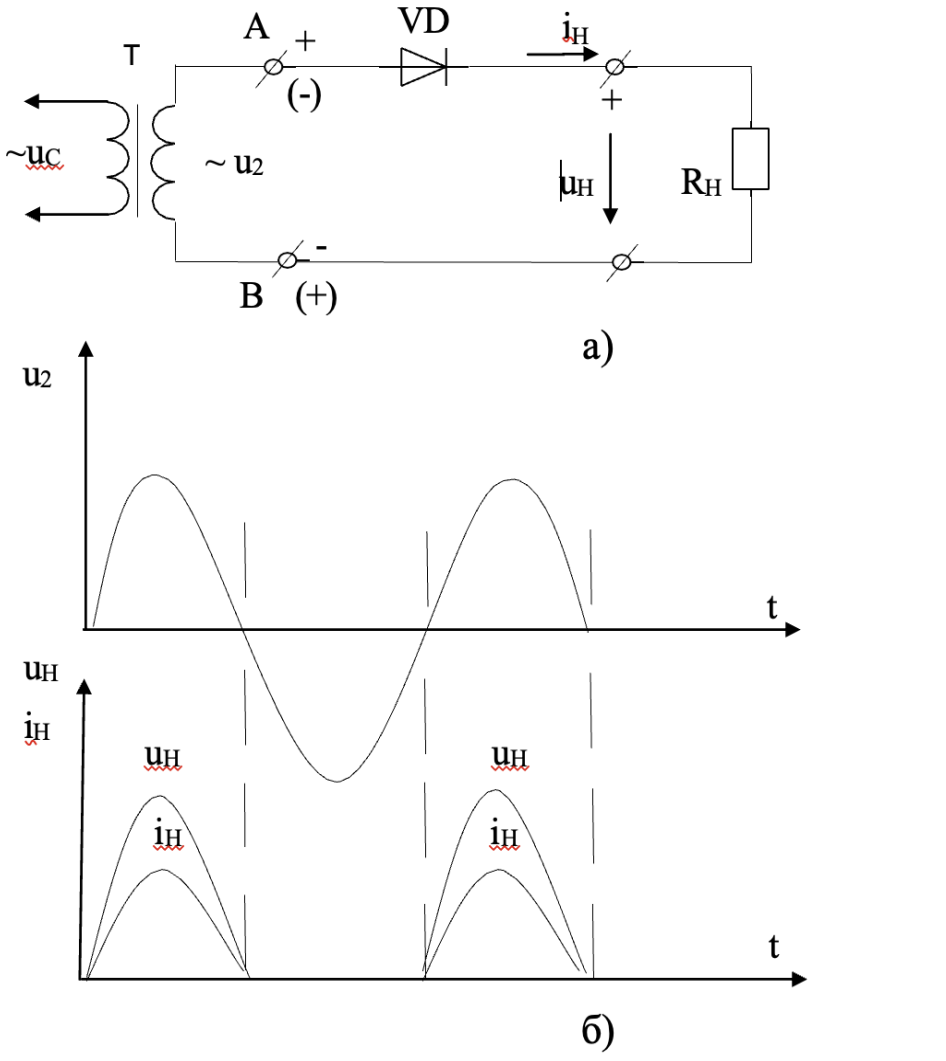


Рисунок –3.2. Однополупериодный выпрямитель:
а) электрическая схема; б) осциллограммы напряжений и тока

В зависимости от назначения выпрямителя те или иные блоки могут отсутствовать, обязательным является лишь блок вентилей. В зависимости от сети переменного тока выпрямители делятся на однофазные и трехфазные. Однофазные выпрямители делятся на однополупериодные и двухполупериодные. Двухполупериодные выпрямители в зависимости от схемы включения вентилей делятся на выпрямители с выводом средней точки трансформатора и мостовые.

Наиболее простой является однополупериодная схема выпрямления (рисунок 3.2). Когда на вторичной обмотке трансформатора положительный полупериод напряжения, т.е. на зажиме А положительный потенциал, а на В - отрицательный, по цепи проходит ток, т.к. диод для этого напряжения включен в прямом, пропускающем направлении. В следующий, отрицательный, полупериод диод оказывается включенным в обратном, не пропускающем направлении. Он будет закрыт, и тока через нагрузку, а, следовательно, и напряжения на нагрузке не будет. Таким образом, напряжение на нагрузке будет только в положительные полупериоды вторичного напряжения U_2 трансформатора, т.е. на нагрузке U_H будет сильно пульсирующим (с провалами, т.е. с интервалами времени, когда напряжение на нагрузке отсутствует), что является существенным недостатком однополупериодного выпрямления.

Значительно уменьшить пульсации выпрямленного напряжения позволяет схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой, который фактически представляет собой два однополупериодных выпрямителя, которые работают попеременно на одну нагрузку. К недостаткам данной схемы можно отнести следующие:

- обязательное наличие трансформатора в схеме с удвоенной вторичной обмоткой;

- в закрытом состоянии обратное напряжение на диодах равно удвоенному напряжению нагрузки.

Этих недостатков лишена однофазная мостовая схема выпрямления (рисунок 3.3). При положительном полупериоде напряжения на вторичной обмотке трансформатора Т ток i+ будет проходить через зажим А, диод VD3 (диод VD1 закрыт для тока i+), через нагрузку RH, диод VD2 и зажим В (через диод VD1 ток i+

проходить не может, т.к. он создается разностью потенциалов между зажимами А и В).

При отрицательном полупериоде ток i- пойдет через зажим В, диод VD4, нагрузку RH, диод VD1 и зажим А. Таким образом ток через нагрузку будет проходить все время в одном направлении и, как видим по осциллограмме (рисунок 3.3) он пульсирующий.

Наиболее простыми фильтрами, которые сглаживает пульсации являются: дроссель (индуктивная катушка с магнитопроводом – L-фильтр) и конденсатор (С-фильтр).

Дроссель включается последовательно с нагрузкой (рисунок 3.4) и используется обычно в мощных выпрямителях. Т.к. дроссель имеет ферромагнитный сердечник, то он обладает большой индуктивностью, которая препятствует нарастанию и убыванию тока в цепи и поэтому способствует сглаживанию пульсаций выпрямленного тока.

Конденсатор включается параллельно нагрузке (рисунок 3.5) и используется практически во всех схемах выпрямления. Принцип сглаживания в этом случае заключается в том, что когда напряжение на выходе выпрямителя больше, чем на конденсаторе $C_Ф$ (рисунок 3.5,б) идет заряд конденсатора, а когда напряжение выпрямителя становится меньше напряжение конденсатора, все диоды закрываются и конденсатор разряжается через сопротивление нагрузки, поддерживая на ней напряжение. При этом пульсации напряжения на нагрузке $U_н$, как мы видим по осциллограмме (рисунок 3.5, б), значительно уменьшаются. Для еще большего сглаживания пульсаций применяют Г-образные RC или LC и П-образные CRC или CLC фильтры.

В Г-образном RC-фильтре (рисунок 3.6) сглаживание выпрямленного напряжения улучшается за счет замедления заряда конденсатора из-за уменьшения резистором фильтра $R_Ф$ тока заряда конденсатора (уменьшается скорость заряда конденсатора). Скорость разряда конденсатора на нагрузку при этом не изменяется, т.к. цепь разряда осталась неизменной.

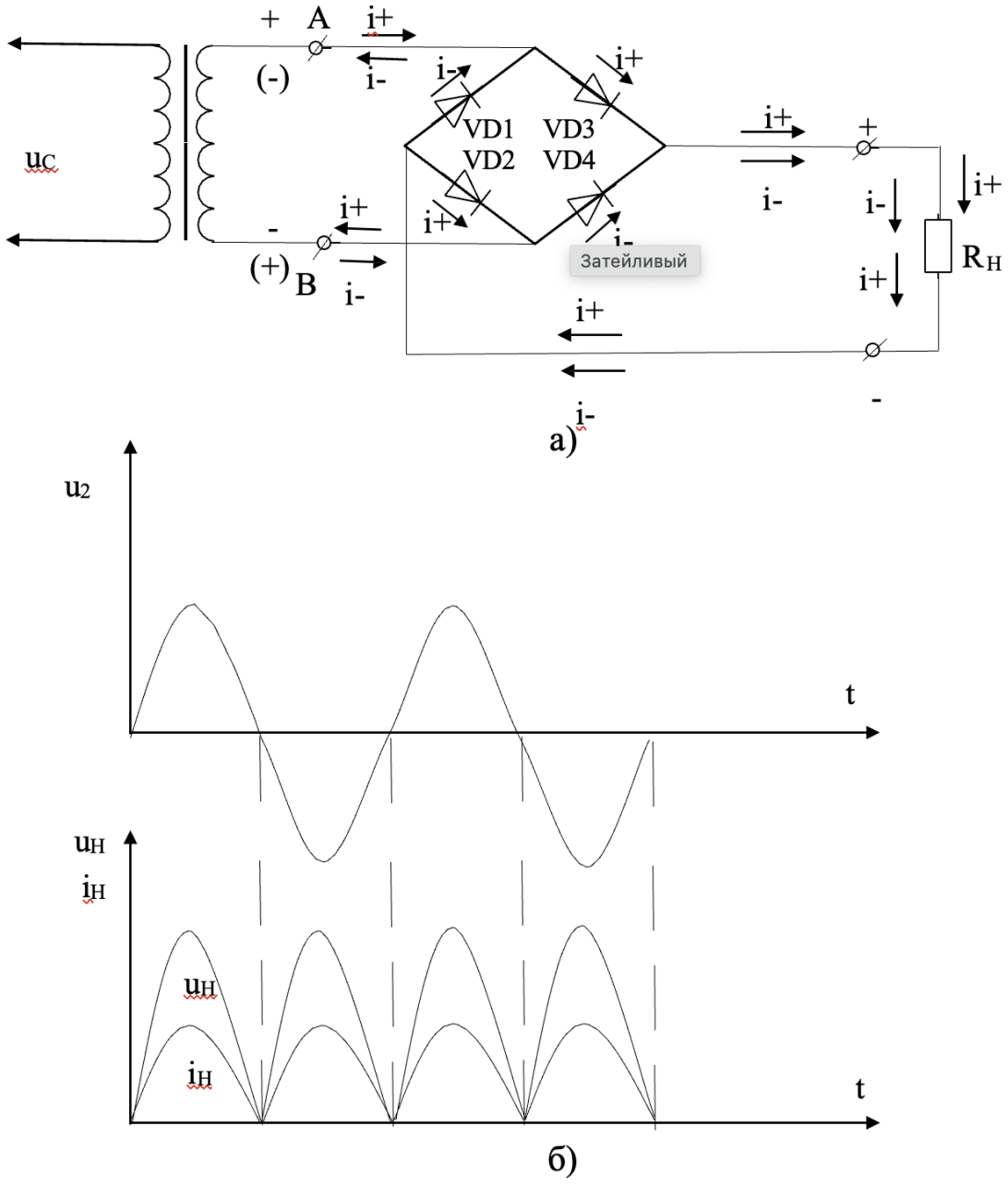


Рисунок – 3.3. Мостовая схема выпрямления:
а) электрическая схема; б) осциллограммы напряжения и тока на нагрузке

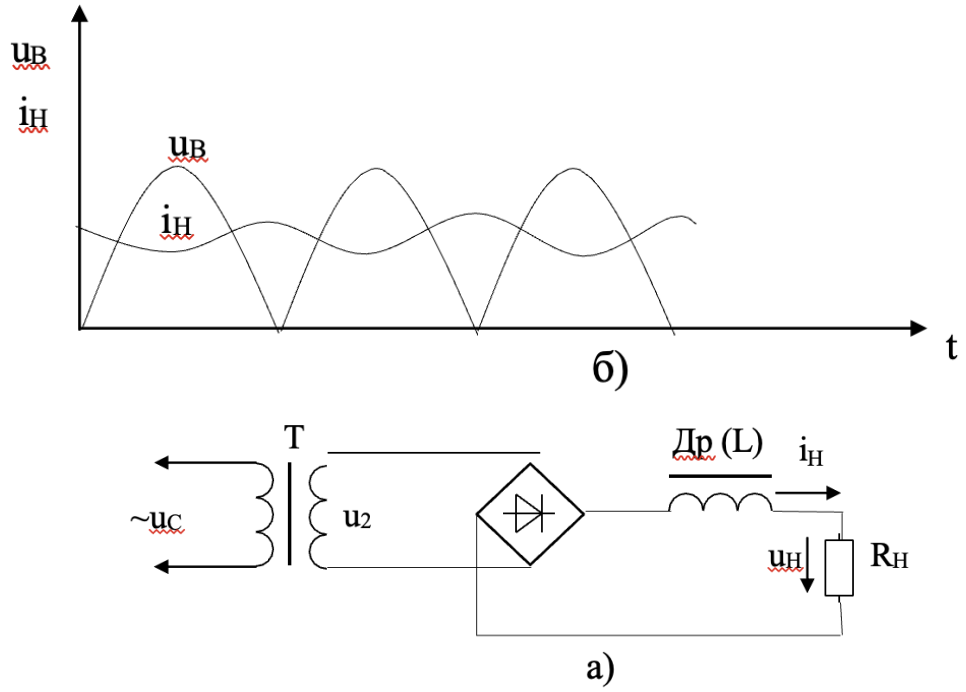


Рисунок 3.4. Включение L-фильтра: а) электрическая схема;
б) осциллограммы напряжения и тока на нагрузке (u_B - напряжение на выходе мостовой схемы выпрямления)

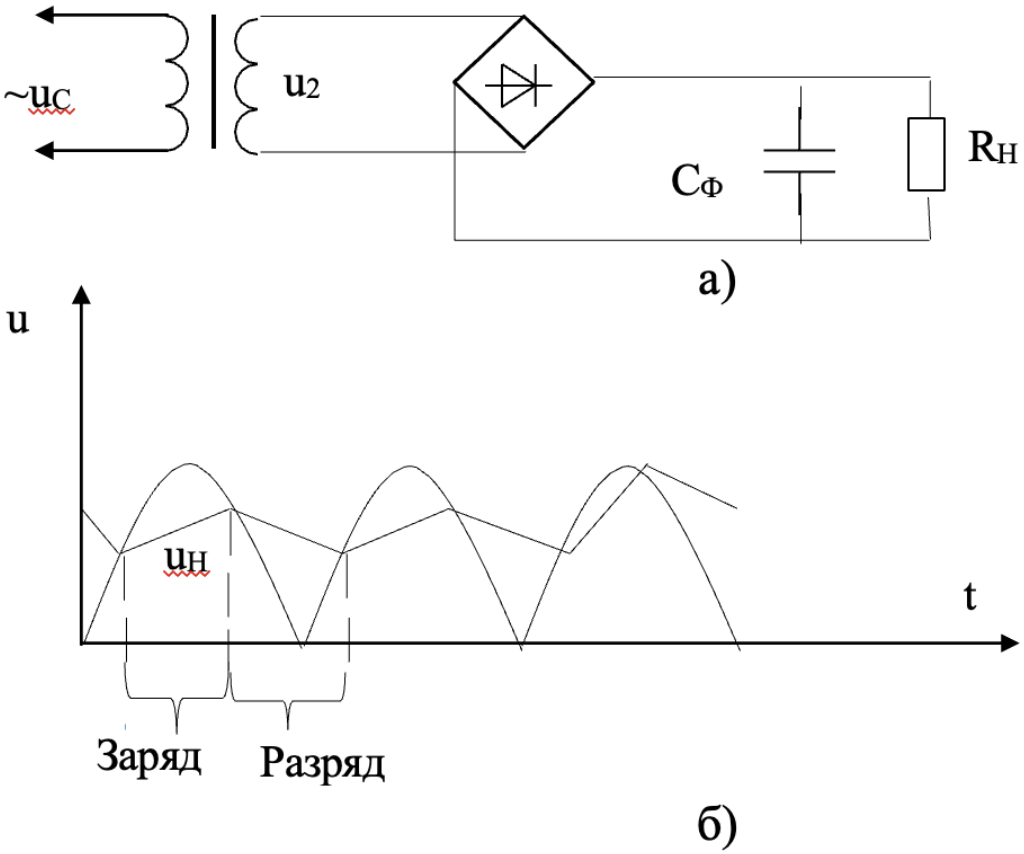


Рисунок 3.5. Включение С-фильтра:
а) электрическая схема; б) осциллограммы напряжения на нагрузке

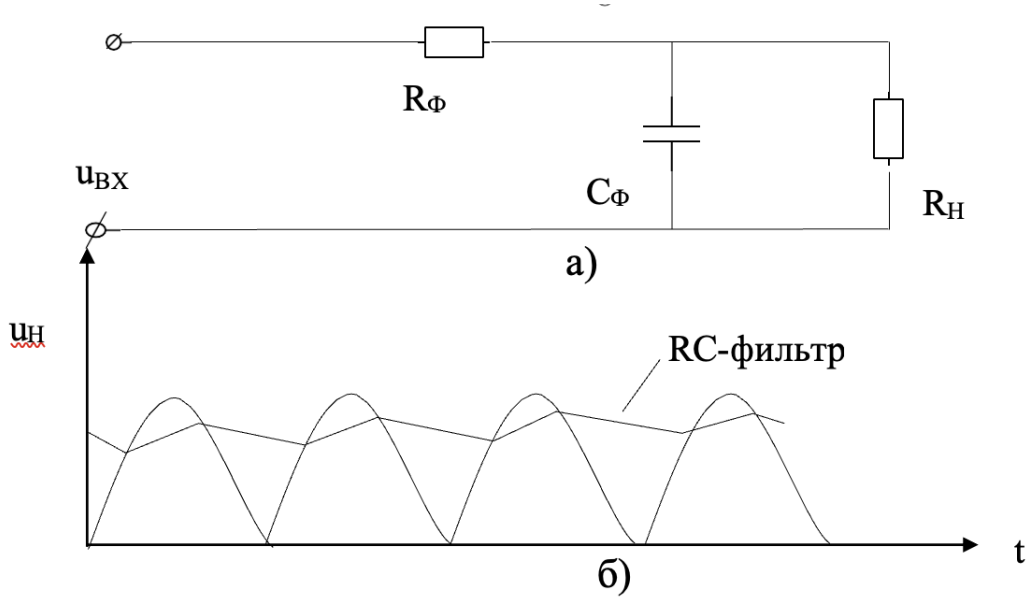


Рисунок – 3.6. Включение RC-фильтра: а) электрическая схема; б) осциллограммы напряжения на нагрузке

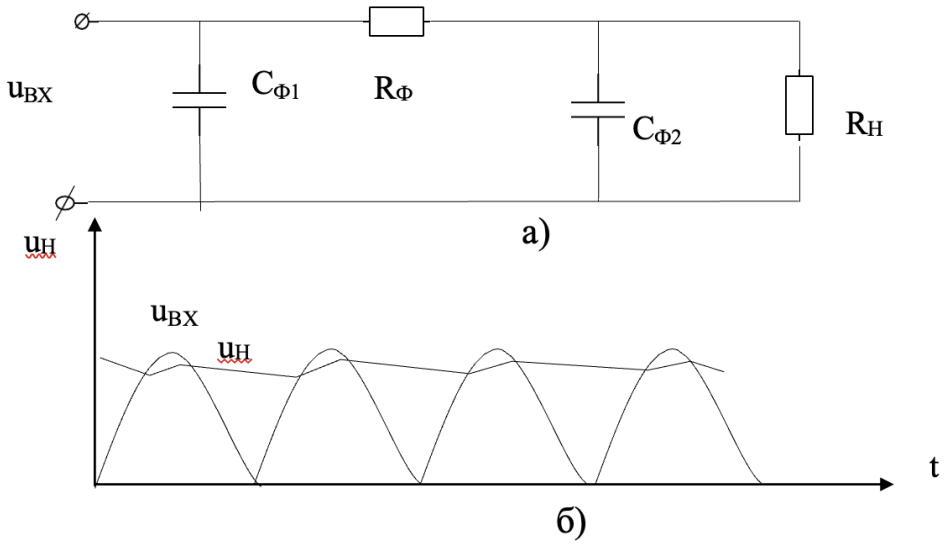


Рисунок – 3.7. Включение CRC-фильтра: а) электрическая схема; б) осциллограммы напряжения на нагрузке

Еще лучше сглаживание напряжения обеспечивает CRC-фильтр (рисунок 3.7). В этом случае заряд конденсатора $C_{Ф2}$ осуществляется напряжением, частично сглаженным $C_{Ф1}$. Поэтому пульсации напряжения на нагрузке меньше, чем в случае RC-фильтра. Аналогичные рассуждения справедливы в отношении LC и CLC-фильтров (рисунок 3.8, 3.9).

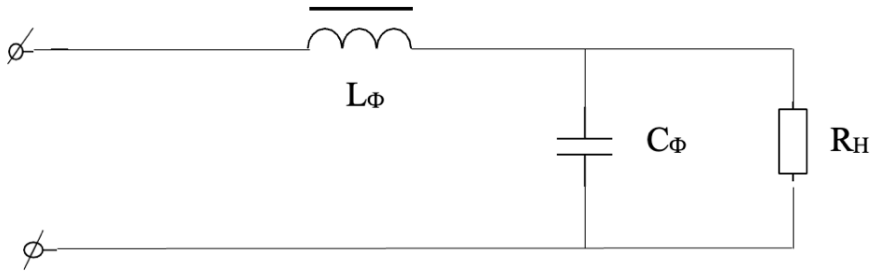


Рисунок – 3.8. Электрическая схема LC-фильтра

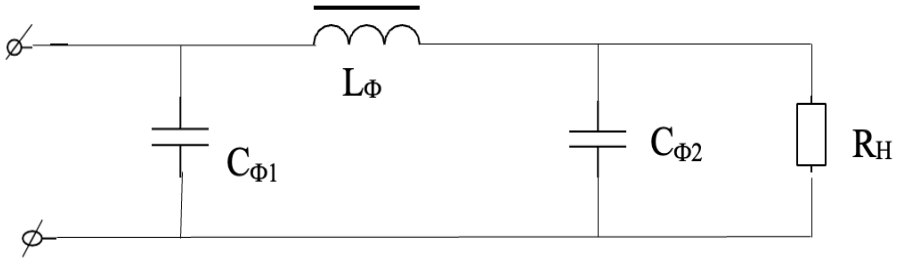


Рисунок – 3.9. Электрическая схема CLC-фильтра

При эксплуатации выпрямителя необходимо знать, как поменяется напряжение на его выходе при изменении тока нагрузки (с изменением сопротивления нагрузки), т.е. необходимо знать внешнюю (вольтамперную) характеристику выпрямителя. При этом ход характеристики различен при разных сглаживающих фильтрах (рисунок 3.10).

При отсутствии фильтра с ростом тока нагрузки напряжение на нагрузке уменьшается (рис. 3.10, кривая 1), т.к.

$$U_H = E_2 - U_{TP2} - U_{Vnp} =$$
$$E_2 - R_{TP2}*I_H - R_{Vnp}*I_H =$$
$$E_2 - (R_{TP2} + R_{Vnp})I_H,$$

где E_2 – ЭДС во вторичной обмотке трансформатора; U_{TP2} – падение напряжения на сопротивлении вторичной обмотки R_{TP2} трансформатора; U_{Vnp} – падение напряжения на диоде в прямом направлении (открытом состоянии), т.е напряжение на нагрузке уменьшается из-за увеличения падения напряжения на сопротивление вторичной обмотки трансформатора и на диоде с ростом тока нагрузки. При этом, поскольку вольтамперная

характеристика диода не линейна, то и внешняя характеристика выпрямителя так же не линейна.

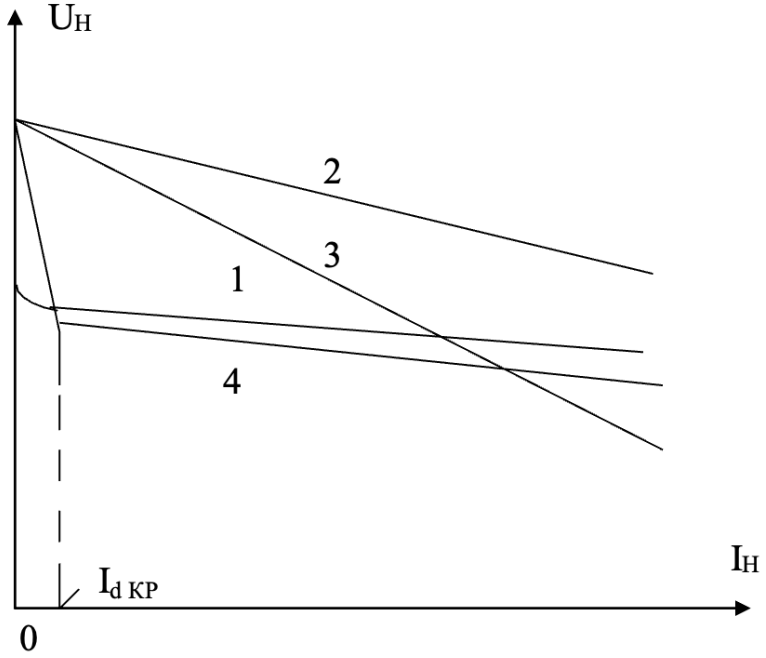


Рисунок – 1.10. Внешние характеристики однофазного выпрямителя:

1. при работе без фильтра;
2. при работе с С-фильтром;
3. при работе с RC-фильтром;
4. при работе с LC-фильтром

При подключении конденсатора в качестве фильтра и при отсутствии нагрузки он заряжается почти до амплитудного значения пульсирующего напряжения. Поэтому характеристика с С-фильтром (рисунок 3.10, кривая 2) начинается выше, но она имеет больший наклон из-за увеличения скорости разряда конденсатора через уменьшающееся сопротивление нагрузки.

В случае Г-образного RC-фильтра с увеличением тока нагрузки выпрямленное напряжение уменьшается еще быстрее (рисунок 3.10, кривая 3), так как дополнительно увеличивается падение напряжения на резисторе фильтра $R_Ф$.

Внешняя характеристика выпрямителя с LC-фильтром (рисунок 3.10, кривая 4) имеет рабочий участок, начинающийся со значения тока нагрузки $I_{d\ КР}$, при этом напряжение на нагрузке с ростом тока

нагрузки падает, но медленнее, чем в схемах с другими фильтрами с конденсатором (влияние дросселя).

При расчете выпрямителя, работающего на активную нагрузку, задаются следующие параметры: среднее значение выпрямленного тока I_d, среднее значение выпрямленного напряжения U_d и напряжение питающей сети U_1.

Требуется определить: среднее значение тока вентиля I_a, обратное напряжение на вентильном плече $U_{в.max}$, действующее значение напряжения обмотки трансформатора U_2, коэффициент трансформации *k*, действующие значения токов первичной и вторичной обмоток I_1 и I_2 трансформатора и расчетную (типовую) мощность трансформатора.

Основные соотношения между токами и напряжениями для однофазных двухполупериодных схем выпрямления при работе на активную нагрузку приведены в таблице 3.1.

В расчетных формулах не учтены внутренние сопротивления вентилей и сопротивления обмоток трансформатора. Принимая во внимание эти сопротивления для активной нагрузки, получаем следующую зависимость между выпрямленным током и выпрямленным напряжением для двухполупериодной схемы:

$$U_d = 0{,}9E_2 – (R_{io} + r_{mp})\, I_d,$$

где R_{io} – внутреннее сопротивление вентиля, r_{mp} – внутреннее сопротивление трансформатора.

С увеличением тока I_d растет падение напряжения в вентилях и обмотке трансформатора, а выпрямленное напряжение уменьшается.

При расчете фильтров исходным данными являются коэффициенты пульсаций на входе и выходе фильтра, равные отношению амплитуды *n-ой* гармоники напряжения к среднему значению:

$$q_1 = U_{n1} / U_{d1},\ q_2 = U_{n2} / U_{d2},$$

где *Un1, Un2, Ud1 и Ud2* – соответственно амплитуды *n-ой* гармоники напряжения и постоянные составляющие выпрямленного напряжения на входе и выходе фильтра.

Отношение $q_1/q_2 = S$ характеризует степень сглаживания пульсаций фильтром и называется коэффициентом фильтрации или коэффициентом сглаживания. Расчетное значение S зависит от

параметров и схемы используемого фильтра. Последний может быть П-образным или Г-образным.

Таблица 3.1. Основные соотношения между токами и напряжениями для однофазных двухполупериодных схем выпрямления при работе на активную нагрузку

Схема с выводом нулевой точки трансформатора	Мостовая схема
Среднее и максимальное значение тока вентиля: $I_a=\frac{I_d}{2}\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_{a\,max}\sin\vartheta d\vartheta=\frac{I_{a\,max}}{\pi}$	
Максимальное обратное напряжение на вентильном плече:	
$U_{b\,max}=2\sqrt{2}\,U_2=\pi U_d$	$U_{b\,max}=\sqrt{2}\,U_2=\frac{\pi}{2}U_d$
Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора (при $I_{2\,max}=I_{a\,max}$):	
$I_2=\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_{a\,max}\sin^2\vartheta d\vartheta}=\frac{I_{2\,max}}{1}\frac{\pi}{4}I_d$	$I_2=\frac{I_{2\,max}}{\sqrt{2}}=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}I_d=1.11\,I_d$
Среднее значение выпрямленного напряжения: $U_d=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}\,U_2\sin\vartheta d\vartheta=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}U_2=0.9U_2$ где U_2- действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора	
Действующее значение тока первичной обмотки трансформатора (где $k=U_2/U_1$ - коэффициент трансформации):	
$I_1=\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} L_1 d\vartheta}=k\sqrt{2}\,I_2=k\,1.11\,I_d$	$I_1=kI_2=k*1{,}11*I_d$
Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора:	
$S_2=2U_2I_2=2*1{,}11U_d\frac{\pi}{4}I_d=1{,}74P_d$	$S_2=1{,}11^2\,U_d\,I_d=1{,}23P_d$
Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора:	
$S_1=U_1I_1=1{,}11^2\,U_d\,I_d=1{,}23P_d$	$S_1=S_2$
Расчетная (типовая) мощность трансформатора:	
$S_T=(S_1+S_2)/2=1{,}48P_d$	$S_T=S_1=S_2=1{,}23P_d$

4. Оборудование и приборы

Работа выполняется на стенде СОЭ-2. Для определения формы кривых напряжений используется осциллограф.

Электрическая схема исследования мостового выпрямителя представлена на рисунке 4.1.

С помощью автотрансформатора АТ, вход которого (220 В) подключается к фазному напряжению (клеммы С и 0 блока включения), устанавливается требуемое напряжение, подаваемое с выхода АТ (0…250 В) на вход мостового выпрямителя «Выпр.I.». Выпрямитель включается тумблером «Вкл. выпр. I».

Нагрузкой выпрямителя служит ламповый реостат (HL1-HL5), подключенный к клеммам А и Х.

В качестве фильтра используются конденсаторы 0…34,75 мкф ($C_{Ф1}$) и 30 мкф ($C_{Ф2}$), подключаемый одним из выключателей «Вкл.» блока реостатов, и реостат 470 Ом 50 Вт ($R_Ф$), устанавливаемый на 1/3 полного значения, т.е. $R_Ф \approx 150$ Ом, а также выносная индуктивная катушка (L-фильтр).

Ток нагрузки измеряется амперметром постоянного тока РА на предельный ток I А типа М42300, а напряжение вольтметром постоянного тока PV на предельное напряжение 150 В типа М42300. Осциллограф типа CI-64A включается в розетку стенда с напряжением 220 В, а его вход канала I подсоединяется к нагрузке специальным кабелем (переключатель входа в положении «~»).

Масштабы в осциллографе устанавливаются следующими: по напряжению 10 В/дел (плавная регулировка на минимуме); по времени 20 мс/дел.

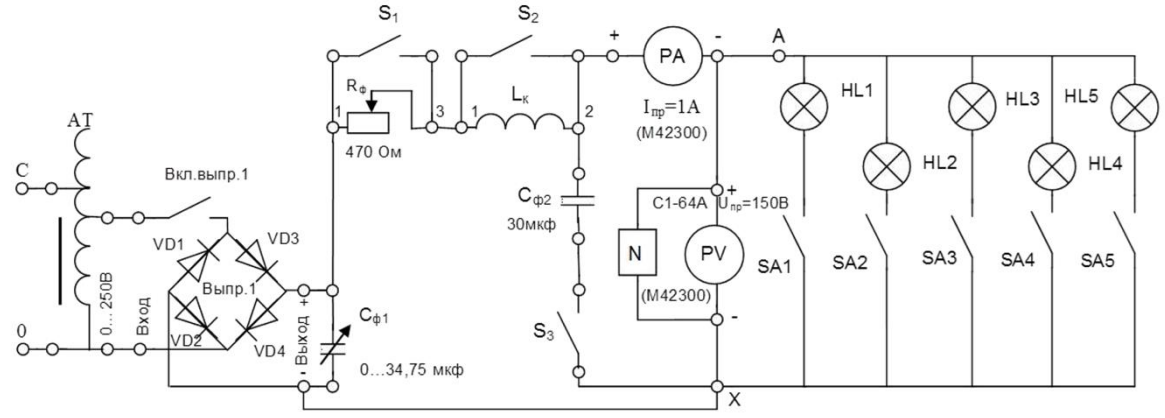


Рисунок – 4.1. Электрическая схема исследования выпрямителя

5. Порядок проведения исследований

5.1 Ознакомиться с используемыми приборами и аппаратурой, занести их технические данные в соответствующую таблицу отчета (по указанию преподавателя).

5.2 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1), установив тумблеры конденсаторов 0…34,75 мкФ, переключатели SA1-SA5, S3 в нижнее положение (тумблеры выключены), переключатели S1, S2 в верхнее положение (тумблеры включены), а автотрансформатор АТ и реостат RФ – против часовой стрелки до предела, и дать проверить еѐ лаборанту или преподавателю.

5.3 Включить стенд и установить с помощью автотрансформатора АТ по вольтметру PV напряжение на выходе выпрямителя без фильтра в режиме холостого хода, указанное преподавателем (UBX=90-70 В). В дальнейшем АТ не регулировать.

ВНИМАНИЕ! При выполнении работы не касаться оголенных токоведущих частей.

5.4 Снять внешнюю характеристику выпрямителя без фильтра, увеличивая ток выпрямителя путем последовательного подключения ламп реостата.

Результаты измерений тока и напряжения занести в таблицу 5.1, при максимальной нагрузке (токе) зарисовать осциллограмму напряжения на нагрузке.

5.5 Провести аналогичные измерения с С-фильтром, подключая конденсатор фильтров $C_{Ф2}$ тумблером S_3.

5.6 Провести аналогичные измерения с RC-фильтром, для этого тумблер S_1 поставить в нижнее положение, установить реостат $R_Ф$ при всех включенных лампах нагрузки так, чтобы вольтметр показывал напряжение $U_Н$=60-40 В (большее для $U_{ВХ}$=90 по пункту 5.3) и выполнить измерения с RC-фильтром.

5.7 Включить на полную емкость конденсатор 0…34,75 мкФ и, меняя нагрузку, записать ток и напряжение и зарисовать осциллограмму при CRC-фильтре.

5.8 Провести измерения с LC-фильтром, для этого отключить тумблерами конденсатор 0…34,75 мкФ, тумблер S_1 поставить в нижнее положение (выключено), увеличить ток выпрямителя путем последовательного подключения ламп реостата, при этом зарисовать

осциллограмму выходного напряжения на нагрузке для LC-фильтра при полностью включенной нагрузке.

5.9 Провести измерения с CLC-фильтром, для этого включить на полную емкость конденсатор 0…34,75 мкФ и, меняя нагрузку, записать ток и напряжение, а также зарисовать осциллограмму выходного напряжения на нагрузке при полном включении нагрузки.

5.10 Установить автотрансформатор АТ на «0» и выключить стенд. Не разбирая схемы, показать результаты измерений преподавателю.

Таблица 5.1. – Внешние характеристики мостового выпрямителя с различными фильтрами

Без фильтра	$I_Н$, А						
	$U_Н$, В						
С-фильтр	$I_Н$, А						
	$U_Н$, В						
RC - фильтр	$I_Н$, А						
	$U_Н$, В						
CRC - фильтр	$I_Н$, А						
	$U_Н$, В						
LC - фильтр	$I_Н$, А						
	$U_Н$, В						
CLC - фильтр	$I_Н$, А						
	$U_Н$, В						

6. Содержание отчёта

Отчет должен содержать:

а) цель работы;

б) принципиальную электрическую схему исследования выпрямителя;

в) таблицу с экспериментальными данными;

г) осциллограммы напряжений выпрямителя;

д) внешние характеристики $U_H = f(I_H)$ мостового выпрямителя

без фильтра и с фильтрами С, RC, CRC, LC и CLC, изображенные на одном графике;

е) выводы по работе.

7.Контрольные вопросы

1. Какие схемы выпрямления переменного тока Вы знаете, принцип их действия и различия?
2. Какие схемы выпрямления исследуются в работе?
3. Какие фильтры исследуются в работе?
4. Какой вид имеет внешняя характеристика выпрямителя без фильтра? Как она снимается?
5. Как и почему изменяется ход внешней характеристики выпрямителя при включении С, RC, LC? (Объяснение вести с помощью осциллограмм).
6. Объяснить работу однополупериодной, двухполупериодной со средней точкой и мостовой схем выпрямления при активной нагрузке.
7. С помощью какого коэффициента учитываются пульсации в кривых выпрямленного напряжения? Как определить коэффициент сглаживания Г-образных RC-фильтров?
8. Объяснить принцип действия фильтра С (RC, L, LC).

Лабораторная работа №2.
Исследование статических вольтамперных характеристик и параметров полупроводниковых диодов и биполярных транзисторов

1. Цель работы

Исследование статических вольтамперных характеристик (ВАХ) германиевого и кремниевого электронно-дырочного переходов и биполярного транзистора. Определение статических и дифференциальных параметров транзистора.

2. Общие положения

Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде,

позволяющем с помощью набора переключателей формировать различные схемы для проведения исследований. В качестве германиевого p-n перехода используется переход база эмиттер биполярного транзистора VT1 типа n-p-n. Коллекторная цепь при этом размыкается (рисунок 1). В качестве кремниевого p-n перехода используется переход затвор-канал полевого транзистора VT2 (КП303). Цепь стока при этом размыкается (рисунок 2).

При исследованиях характеристик биполярного транзистора используется схема представленная на рисунке 3.

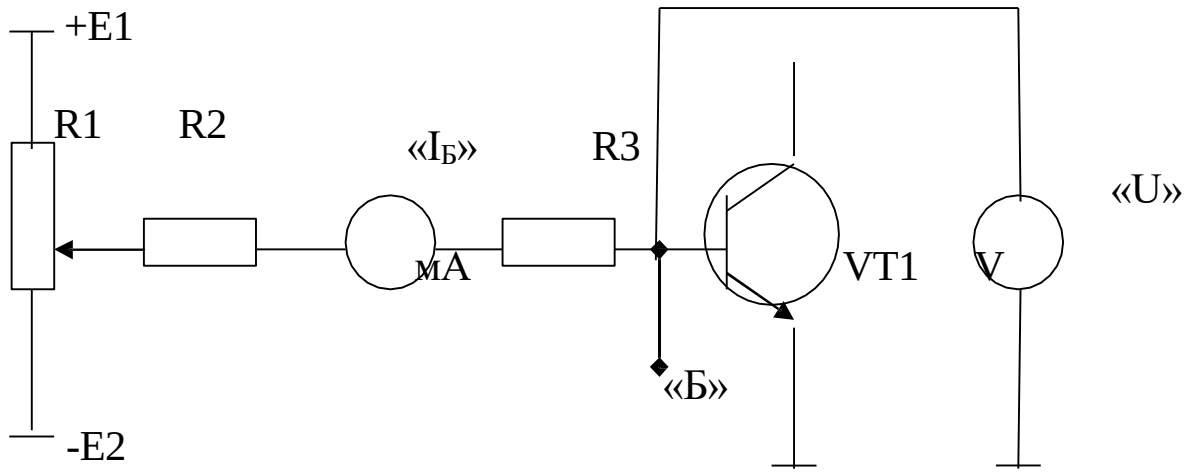


Рисунок – 1 Схема для исследования статической ВАХ германиевого диода

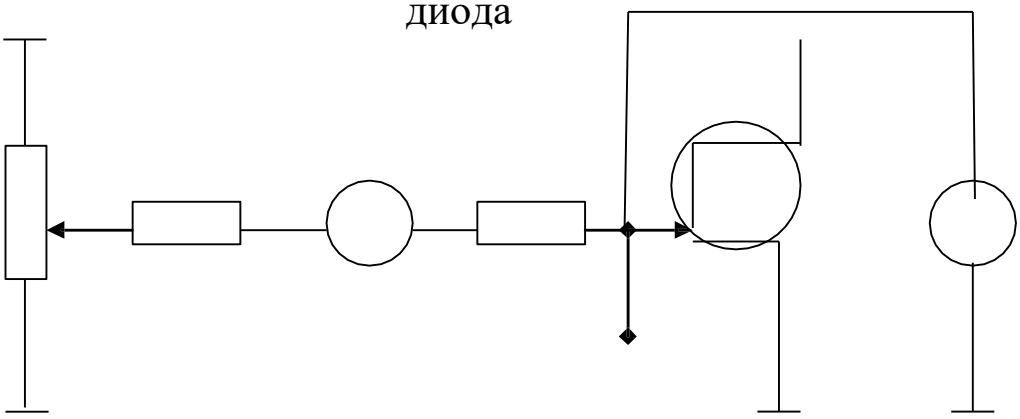


Рисунок – 2 Схема для исследования статической ВАХ кремниевого p-n-перехода

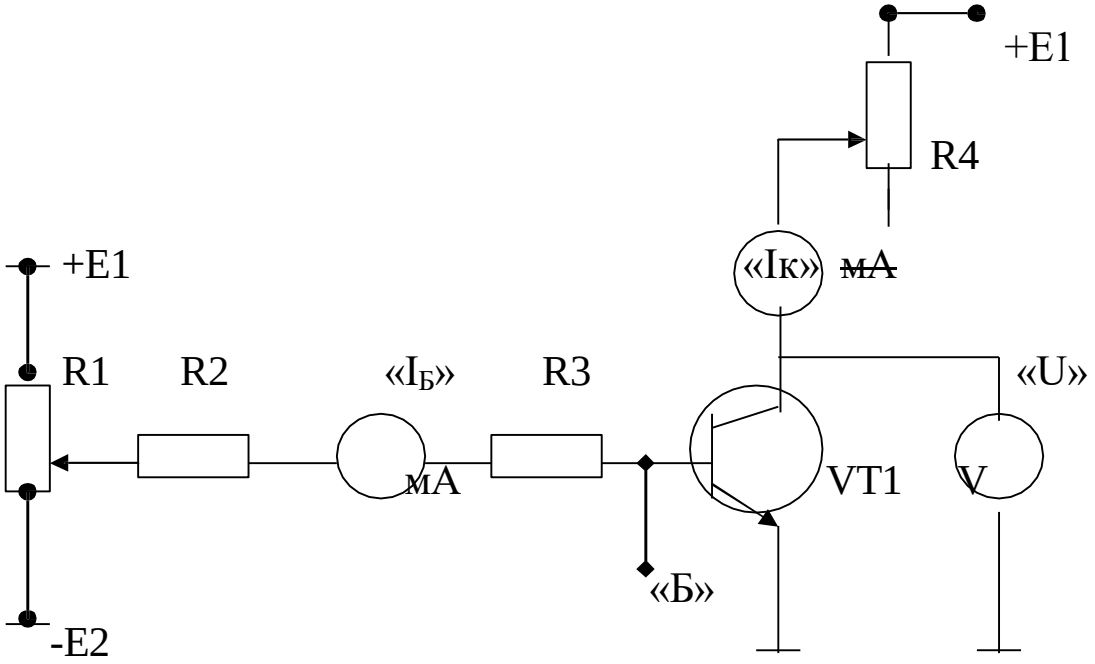


Рисунок – 3 Схема для исследования статических ВАХ биполярного транзистора

Показанные на схемах измерительные приборы: миллиамперметры «Iб» (с пределом до 2мА), «Iк» (с пределом 20 мА), а также вольтметр «U» (с пределами 0,1, 1 и 10 В) встроены в стенд.

3. Программа исследований

1.1 Построение статических ВАХ германиевого и кремниевого p-n переходов. Собрав схему, представленную на рисунке 1, произвести измерения зависимости тока германиевого перехода от напряжения, изменяя значение тока с помощью потенциометра R1. Собрав схему рисунке 2, повторить измерения ВАХ для кремниевого перехода.

1.2 Построение семейства входных характеристик биполярного транзистора Iб=f(Uбэ) в схеме с общим эмиттером.

Собрать схему рисунок 3, произвести измерения зависимости тока базы от прямого напряжения база-эмиттер при трех фиксированных значениях напряжения коллектор-эмиттер: Uкэ=0;0,5;5В. Построить графики входных ВАХ.

1.3 Построение семейства выходных характеристик биполярного транзистора I 6=f(U6э) в схеме с общим эмиттером.

Собрать схему рисунок 3 и произвести измерения зависимости тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер при нескольких фиксированных значениях тока базы. Построить графики выходных ВАХ.

Определить в нескольких точках значения статического (β) и дифференциального (h21э) коэффициентов передачи тока базы при Uкэ = 2;5;10 В.

1.4 Построение семейства передаточных характеристик биполярного транзистора Iк=f(Ib).

В схеме рисунок 3 выполнить измерения зависимости тока коллектора от тока базы при трех фиксированных значениях напряжения Uкэ в схеме с общим эмиттером. Построить графики передаточных характеристик.

4. Методические указания

4.1 Учитывая нелинейный характер прямой ветви ВАХ p-n-перехода, ее построение (п.3.1) удобно производить, задаваясь значениями тока и измеряя соответствующие значения напряжения. Результаты измерений свести в таблице 1.

Таблица 1 – Статические ВАХ p-n-перехода

I,мА		0	0,025	0,05	0.1	0,2	0,4
Ge-диод	U,в	0					
Si-диод		0					

При построении графиков ВАХ в качестве независимой переменной следует принять напряжение (на оси абсцисс).

4.2 При измерениях входных характеристик транзисторов (п.3.2.) также удобно задавать значения тока базы, а измерять напряжение база-эмиттер (таблица 2), но при построении графиков в качестве независимой величины следует брать входное напряжение.

Таблица 2 – Входные характеристики

Uкэ,в	Iб, ма	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0	Uбэ, в							
0,5								
5								

4.3 При построении выходных характеристик (п.3.3) фиксированные значения тока базы следует устанавливать через равные интервалы, например, 0,15; 0,3; 0,45; 0,6 мА. Для выбора интервалов необходимо сначала оценить максимально допустимый ток базы, при котором ток коллектора достигает значения 20мА (при напряжении Uкэ = 5- 6В.

На начальном крутом участке выходной характеристики напряжение Uкэ следует изменять через малые интервалы, а на пологом участке – большие приращения (см. таблица 3).

Статический коэффициент передачи тока базы определяется по данным таблице 3 по формуле $\beta=Iк/Iб$, а дифференциальный коэффициент по формуле $h_{21Э}=\Delta Iк/\Delta Iб$ при Uкэ=const.

Таблица 3 – Выходные характеристики

Iб,мА	Uкэ, В	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	6	8
0,1	Iк,мА									
0,2										
0,3										
0,4										

4.4 Результаты измерениям передаточных характеристик (п.3.4) свести в таблицу 4.

Таблица 4 –Передаточные характеристики

Uкэ, В	Iб, мА	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
2	Iк,мА							
6								
10								

5. Контрольные вопросы

1. Привести график теоретической ВАХ идеального p-n-перехода Какое напряжение на переходе называется прямым, какое - обратным?

2. В чем отличие ВАХ реального p-n-перехода от ВАХ идеального перехода? Приведите эквивалентную схему реального диода.

3. Объяснить физические процессы на границе полупроводников различного типа. Механизм образования p-n-перехода.

4. Объяснить физические процессы в p-n-переходе при прямом и обратном включении.

5. Привести значения прямого напряжения, при котором работают германиевые и кремниевые диоды.

6. Температурные зависимости обратного тока и прямого напряжения диода.

7. Назначение эмиттерного и коллекторного переходов биполярного транзистора.

8. Схема подключения переходов транзистора к источникам питания при нормальной активной работе.

9. Схемы транзисторных каскадов с общей базой и общим эмиттером.

10. Вывод уравнения тока коллектора для схем с ОБ и ОЭ. Указать связь между коэффициентами передачи тока α и β и примерные значения этих параметров.15

11. Привести эквивалентную схему транзистора по постоянному току в схеме с ОЭ.

12. Привести эквивалентную схему транзистора по постоянному току в схеме с ОБ.

13. В чем смысл дифференциального сопротивления коллекторной цепи? Как меняется его значения в схемах с ОБ и ОЭ?

14. Какие соотношения между электрическими величинами отражает малосигнальная эквивалентная схема транзистора?

15. Н-параметры биполярного транзистора. Их смысл и назначение.

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) титульный лист, наименование и цель работы;

2) Конспект общих положений лабораторной работы, схемы, программу исследований (готовится до начала работы);

3) результаты исследований: заполненные таблицы измерений, графики статических характеристик, расчетные значения коэффициента передачи тока базы.

Лабораторная работа №3
Усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером

1. Цель работы

Изучение схемотехники, физических принципов работы и методики расчета режимов однокаскадного усилителя напряжения переменного тока, построенного на биполярном транзисторе в схеме с общим эмиттером.

Выбор режимов работы, определение амплитудной характеристики, измерение основных параметров усилителя.

2. Общие положения

Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде, позволяющем с помощью набора переключателей сформировать схему усилительного каскада с емкостными связями на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (рисунок 1).

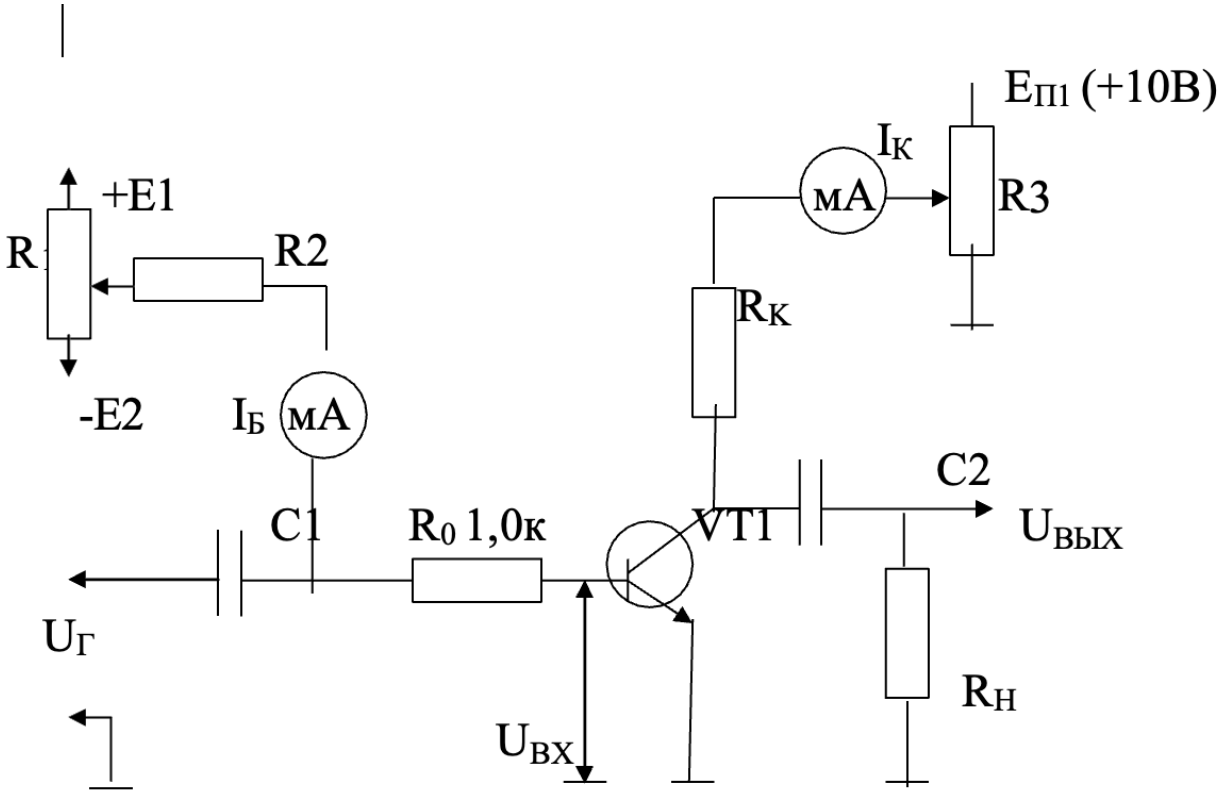


Рисунок – 1 Схема усилительного каскада на БТ.

Для построения схемы каскада необходимо включить в схему биполярный транзистор (соответствующее положение кнопки на стенде), установить сопротивление в цепи эмиттера Rэ=0, и указанное преподавателем сопротивления Rк (в цепи коллектора) и Rн (в цепи нагрузки), указанные на рис.1 емкости разделительных конденсаторов С1 и С2. С помощью переменного резистора R3 установить заданное напряжение Uп.

В качестве источника напряжения входного сигнала используется генератор синусоидального напряжения (Г3-33 или Г3-56), выход которых подключается к гнездам Г1,Г2.

Форму сигналов в тракте усилителя наблюдают с помощью электронного осциллографа, вход которого через вспомогательные гнезда Г4,Г5 и гибкий щуп подключат к исследуемой точке схемы.

Встроенный в стенд вольтметр используется для измерения как постоянных, так и переменных составляющих напряжений в различных точках схемы.

3. Программа исследований.

3.1 Построение статической линии нагрузки.

Измерить зависимость напряжения коллектор-эмиттер от тока коллектора при фиксированном напряжении питания и трех значениях сопротивления Rк (задаются преподавателем). Построить графики статической линии нагрузки Uкэ=f(Iк) для заданных значений Rк в координатах выходных характеристик транзистора, определить и указать на графике оптимальное положение рабочей точки для каждого случая.

3.2 Исследование формы сигнала в тракте усилителя.

При заданных значениях Uп и Rк установить определенный в п.3.1 режим покоя (при отсутствии сигнала на входе). Установить на генераторе сигнал частотой 1000 Гц в диапазоне выходного напряжения 100 мВ.

Наблюдая на экране осциллографа выходное напряжение (на нагрузке), установить амплитуду сигнала на входе усилителя, при которой отсутствуют заметные искажения формы выходного сигнала и в режиме внутренней синхронизации снять осциллограммы напряжений на коллекторе и на нагрузке.

3.3 Построение амплитудных характеристик усилителя.

Сохранить значения Uп, Rк и точку покоя из п.3.2. Снять зависимость выходного напряжения Uвых от входного Uвх, действующего на базе, увеличивая амплитуду сигнала до появления перегрузки усилителя. Сигналом перегрузки является искажение формы выходного сигнала.

Построить графики амплитудных характеристик Uвых=f(Uвх) при различных значениях сопротивления нагрузки: Rн= ∞ и Rн= Rк.

3.4 Измерение коэффициента усиления.

Сохранить значения Uп, Rк и точку покоя из п.3.2. Подать с выхода генератора напряжение сигнала, примерно равное половине максимально допустимого, вызывающего перегрузку усилителя. Определить значение коэффициента усиления как отношение Ku=Uвых / Uвх, при различных значениях сопротивления нагрузки: Rн= ∞ и Rн= Rк.

3.5 Измерение входного сопротивления.

Входное сопротивление каскада, определяемое как отношение входного напряжения к входному току (переменной составляющей тока базы), находится путем косвенных измерений входного тока:

$$I_{вх}=(U_{г}- U_{вх})/R_{0.}$$

Отсюда входное сопротивление определяется по формуле:

$$R_{вх}=R_0 \times U_{вх}/(U_г-U_{вх}).$$

Измерить входное сопротивление усилителя при различных значениях тока покоя коллектора и построить график зависимости $R_{вх}=f(I_{к0})$.

3.6 Измерение выходного сопротивления 0.

Величину выходного сопротивления можно оценить по изменению выходного напряжения усилителя при изменении сопротивления нагрузки. При отключенной нагрузке ($R_н=\infty$) установить амплитуду напряжения генератора, при которой выходное напряжение (напряжение холостого хода) $U_{выхх}$ соответствует полному пределу вольтметра (1В или 100 мВ). Затем подобрать сопротивление нагрузки, при котором выходное напряжение $U_{выхн}$ уменьшится до уровня 0,4-0,6 от начального.

Вычислить входное сопротивление по формуле:

$$R_{вых}= R_н \times (U_{выхх} - U_{выхн})/U_{выхн}.$$

Измерение выходного сопротивления произвести при нескольких значениях сопротивления $R_к$ и построить график зависимости $R_{вых}=f(R_к)$.

4. Методические указания

4.1 Измерения по п.3.1 проводятся при отсутствии входного переменного сигнала. При этом каждая точка статической линии нагрузки как $U_{кэ}=f(I_к)$ определяется напряжением смещения базовой цепи, регулируемым R1.

Результаты измерений свести в таблице 1.

4.2 При построении осциллограмм напряжений на коллекторе и на нагрузке по п.3.2 необходимо установить масштаб по оси Y и смещение изображения по вертикали таким образом, чтобы уровни нуля и напряжения питания $U_п$ располагались в пределах экрана. Все регулировки синхронизации осциллографа должны оставаться в одинаковых положениях для обеих осциллограмм.

Таблица 1 – Статическая линия нагрузки

Rк, кОм	Iк, мА	0	1	2	4	8	16	20
1,0 кОм	Uкэ, В							
1,5 кОм								
2,2 кОм								

Результаты измерения амплитудных характеристик (п.3.3) свести в таблице 2.

Таблица 2 – Амплитудные характеристики

Rн,кОм	Uвх, мВ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
∞											
1.5											

При измерениях входного сопротивления (п.3.5) в каждой точке покоя необходимо устанавливать напряжение входного сигнала, которое не вызывает перегрузку усилителя. Результаты измерений свести в таблице 3.

Таблица 3 – Входное сопротивление

$I_{к0}$	1	2	3	4			
Uг, мВ							
Uвх, мВ							
Rвх, Ом							

Таблица 4 – Выходное сопротивление

Rк, кОм	1.0	1.5	2.2			
Uвых.xx,В						
Rн, кОм						
Uвых.н, В						
Rвых, кОм						

При измерении выходного сопротивления (п.3.6) для каждого значения сопротивления Rк следует установить свою оптимальную точку покоя (ток $Iк_0$). Результаты измерений свести в таблицу 4.

5. Контрольные вопросы

1. Из каких соображений выбираются координаты рабочей точки транзисторного каскада?
2. На чем основан эффект усиления колебаний напряжения в транзисторном каскаде с ОЭ?
3. Назначение разделительных конденсаторов на входе и выходе усилительного каскада.
4. Что такое статическая и динамическая линии нагрузки?
5. Дать определение входному сопротивлению усилительного каскада. Как измерить переменную составляющую входного тока?
6. Указать связь между входным и выходными напряжениями.
7. Зависит входное сопротивление от точки покоя?
8. Указать связь мгновенных значений напряжения база-эмиттер, токов базы, коллектора и напряжения коллектор-эмиттер для транзистора типа p-n-p при синусоидальном входном сигнале. Привести диаграммы указанных величин.
9. Какие параметры транзистора определяют коэффициент усиления каскада с ОЭ? Как влияет на усиление сопротивления нагрузки?
10. Что является причиной искажения формы выходного сигнала при перегрузке усилителя?

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель работы;

2. Конспект общих положений лабораторной работы, схемы, программу исследований (готовится до начала работы);

3. Результаты исследований: заполненные таблицы измерений, графики характеристик и зависимостей, результаты вычислений параметров усилителя, осциллограммы напряжений.

Лабораторная работа №4
Статические характеристики и усилительные свойства полевого транзистора

1. Цель работы

Исследование характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим p-n переходом, изучение схемотехники и особенностей работы полевого транзистора в усилительном каскаде.

2. Общие положения

Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде, позволяющем с помощью набора переключателей формировать схемы для исследования характеристик полевого транзистора (КП303 с p-n-затвором и n-каналом) или усилительного каскада с емкостными связями на его основе в схеме с общим истоком (рисунок 1).

Перед началом работы необходимо включением соответствующего переключателя на стенде подключить в схему полевой транзистор, установить сопротивление Rи=0 в цепи истока и указанные преподавателем сопротивления в цепи стока Rc, нагрузки Rн и напряжение питания Uп, а также указанные на рисунок 1 емкости разделительных конденсаторов.

В качестве источника напряжения входного сигнала используется генератор синусоидального напряжения (Г3-33 или Г3-56), выход которых подключается к входным гнездам Г1,Г2 стенда.

Форму сигналов в тракте усилителя наблюдают с помощью электронного осциллографа, вход которого через вспомогательные гнезда Г4,Г5 и гибкий щуп подключают к исследуемой точке схемы.

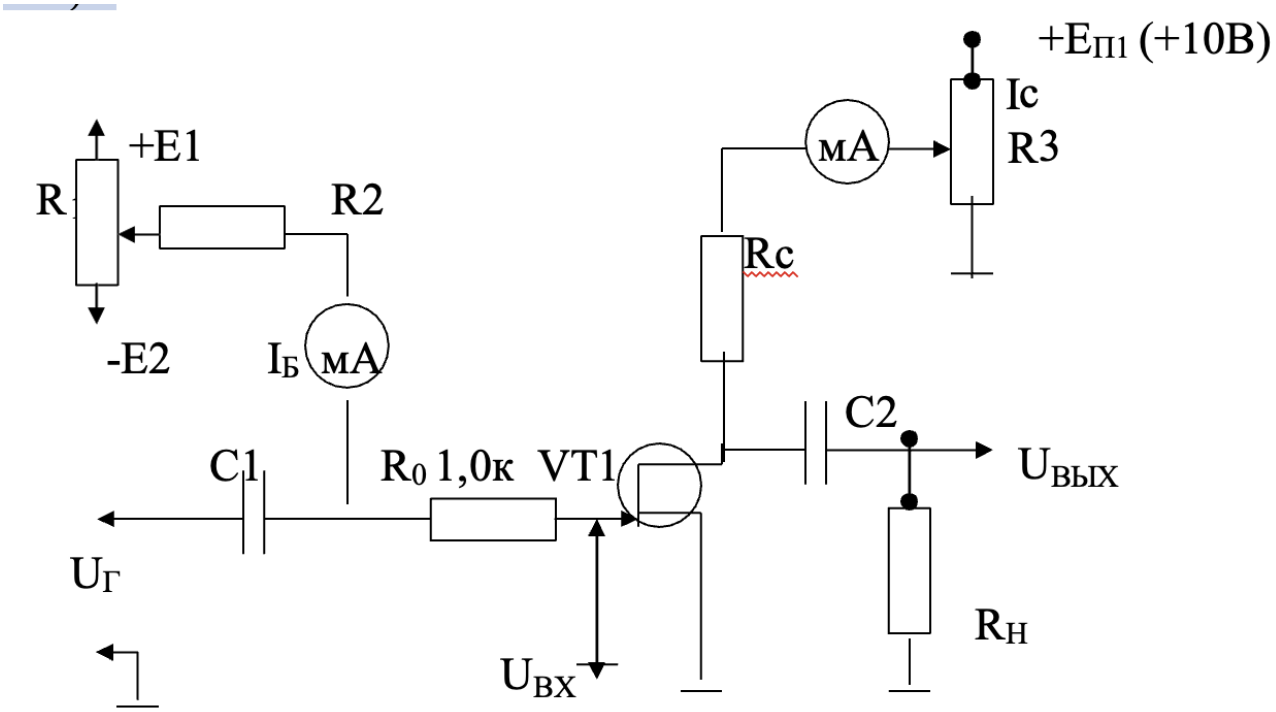


Рисунок – 1 Схема стенда для исследования полевого транзистора

Встроенный в стенд вольтметр используется для измерения как постоянных, так и переменных составляющих напряжений в различных точках схемы.

3. Программа исследований

3.1 Построение статических передаточных (стокозатворных) характеристик.

При фиксированном напряжении на стоке (Rc=0) установить напряжение затвор-исток Uзи=0 и измерить начальный ток стока Iснач0. Затем, подав обратное напряжение на затвор, определить напряжение отсечки Uзиотс, при котором ток Ic=0. Измерить зависимость Ic=f (Uзи) при изменениях Uзи в пределах от Uзиотс до нуля, поддерживая значение Uси на заданном уровне.

Построить графики семейства передаточных характеристик при двух значениях напряжения Uси.

3.2 Определение крутизны передаточной характеристики.Исследовать зависимость крутизны статической передаточной характеристики от положения рабочей точки, т.е. от напряжения Uзи при фиксированном напряжении Uси = +10 В. Определить в трех-четырех точках, включая Uзи=0, приращения тока стока ΔIc при небольших изменениях напряжения ΔUзи=0,1-0,2 В и вычислить значения крутизны S=ΔIc/ΔUзи, мА/В.

Измерения следует производить только на рабочем участке передаточной характеристики, т.е. при Uзи≤0. Построить график зависимости S=f(Uзи).

3.3 Построение выходных характеристик. Разделить диапазон напряжений на затворе от 0 до Uзиотс на четыре-пять равных интервалов. Для каждого значения Uзи, начиная с 0, определить зависимость тока от напряжения сток-исток.

Изобразить графики семейства характеристик Ic=f(Uси) при Uзи=const.

3.4 Исследование усилительных свойств транзистора. Собрать схему усилительного каскада с общим истоком (рисунок 1), установить заданные преподавателем значения Uп и Rc.

Установить точку покоя, выбрав напряжение Uзи0, равное ближайшему к нулю напряжению Uзи, при котором строилась в п.3.1 одна из выходных характеристик. Величина Uзи0 должна составлять (0,2-0,25) Uзиотс.

Подать с выхода генератора напряжение сигнала с амплитудой, не превышающей $Uзи_0$ по модулю, контролируя на экране осциллографа форму выходного сигнала. Измерить экспериментальным путем коэффициент усиления по напряжению в режиме малого сигнала Ku=Uвых/Uвх.

3.5 Графоаналитический расчет коэффициента усиления. Нанести на семейство выходных характеристик статическую линию нагрузки, соответствующую установленным в п.3.4 значениям Uп и Rc. Отметить на ней выбранную точку покоя. Определить повыходной характеристике в

$$Y22= \Delta Ic/\Delta Uси \text{ при } Uзи=Uзи0.$$

Вычислить коэффициент усиления, используя параметры транзистора в рабочей точке:

$$Ku'=(S0 \times Rc)/(1+Y22 \times Rc),$$

где S_0 – крутизна передаточной характеристики в точке покоя при

$$Uзи=Uзи0,\ Uси=Uси0.$$

Определить усиление каскада непосредственно по линии нагрузки

$$Ku''=\Delta Uси/\Delta Uзи.$$

Сравнить полученные тремя способами значения коэффициента усиления Ku', Ku', Ku''.

4. Методические указания

4.1 При определении передаточных характеристик по п.3.1 следует иметь ввиду, что встроенный в стенд вольтметр нечувствителен к полярности измеряемого напряжения. Поэтому, регулируя напряжение на затворе, необходимо поворачивать ось резистора R1 в том направлении, при котором увеличение напряжения $Uзи_0$ приводит к уменьшению тока стока.
Результаты измерений внести в таблице1.

Таблица 1- Передаточные характеристики

Uси, В	Uзи, В	0	0,25	0,5	1,0	1,5	
5	Iс,мА						
10							

4.2 Результаты измерений крутизны передаточной характеристики свести в таблицу 2.

Таблица 1- Крутизна передаточной характеристики

Uзи, В	0	0,25	0,5	1,0	1,5			
ΔUзи, В								
ΔIс, мА								
S, мА/в								

4.3 При измерении каждой выходной характеристики (п.3.3) на начальном крутом участке, при небольших значениях напряжения на стоке, следует выбирать точки чаще, а на пологом участке - реже. Пример показан в таблице 3.

4.4 Измерение коэффициента усиления (пп.3.4, 3,5) производится в режиме малого сигнала, с амплитудой 0,1-0,3 В, на частоте 1000Гц. С помощью осциллографа следует контролировать форму выходного напряжения, не допуская искажений. При определении усиления по линии нагрузки необходимо брать приращение напряжения затвора, соответствующее соседним входным характеристикам.

Таблица 3 - Выходные характеристики

Uзи, В	Uси, В	0	0,2	0,5	1	2	4	6
0	Iс, мА							
-0,5								
-1,0								
-1,5								

5. Контрольные вопросы

1. Объяснить физические процессы при управлении током в полевом транзисторе.
2. Что представляет собой канал полевого транзистора и что определяет его толщину?
3. Объяснить устройство полевого транзистора, виды применяемой изоляции затвор-канал, канал-подложка в различных типах транзисторов.
4. Из каких соображений выбирается полярность напряжения на затворе и стоке?
5. Что подразумевают термины: «напряжение отсечки» и «напряжение насыщения»?
6. В чем отличие полевого транзистора от биполярного в механизме управления током канала?

7. Какие дифференциальные параметры характеризуют полевой транзистор в режиме малого сигнала? Напишите уравнение для приращения тока стока.

8. Как зависит от напряжения затвор-исток крутизна передаточной характеристики в области насыщения выходных характеристик?

9. Каким образом устанавливают точку покоя в усилительном каскаде в схеме с общим истоком?

10. Назначение разделительных конденсаторов на входе и выходе усилительного каскада?

11. Указать связь между напряжениями сигнала и затвора, током стока и напряжениями на стоке и на нагрузке? Привести диаграммы изменения указанных величин?

12. Пределы изменения амплитуды входного сигнала?

13. От каких параметров транзистора зависит коэффициент усиления каскада с ОИ?

14. Как влияет на величину коэффициента усиления сопротивление нагрузки?

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) титульный лист, наименование и цель работы;

2) Конспект общих положений лабораторной работы, схемы, программу исследований (готовится до начала работы);

3) результаты исследований: заполненные таблицы измерений, графики характеристик и зависимостей, результаты вычислений параметров усилителя, осциллограммы напряжений.

Лабораторная работа №5
Частотные характеристики транзисторного усилителя

1. Цель работы

Изучение частотных характеристик однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе в схемах с общим эмиттером и общей базой, измерение амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик усилителей.

2.Общие положения

Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде, позволяющем с помощью набора переключателей формировать схемы однокаскадных усилителей переменного тока с емкостной связью на биполярном транзисторе в схемах с общим эмиттером (рисунок 1) и общей базой (рисунок 2).

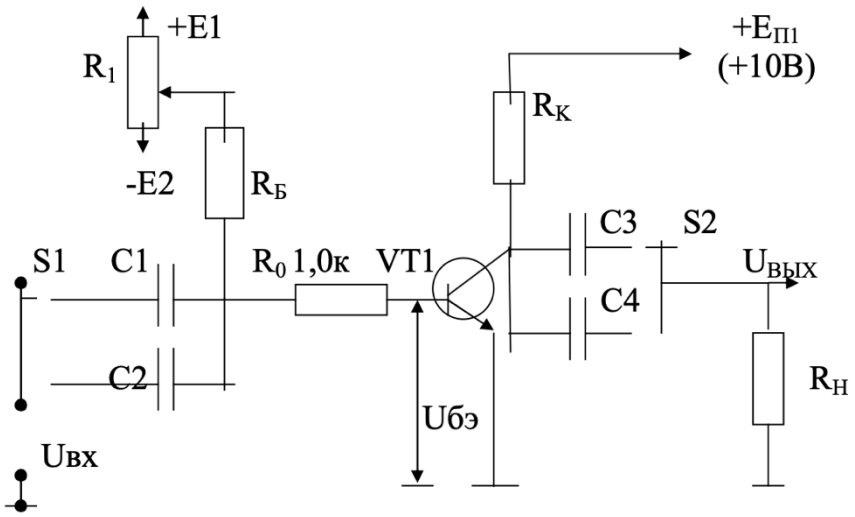


Рисунок 1 - Схема усилительного каскада с ОЭ

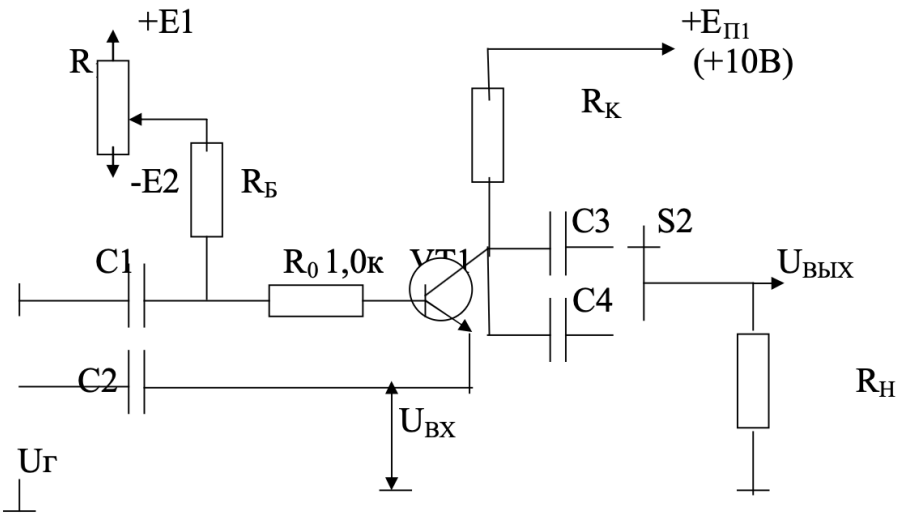


Рисунок 2 - Схема усилительного каскада с ОБ

Для исследования частотных свойств указанных схем в качестве источника входного сигнала используется генератор

синусоидального напряжения (Г3-33, Г3-56 и т.д.). Для исследования формы и фазовых сдвигов усиленного сигнала используется осциллограф. Измерения напряжения входного и выходного сигнала выполняется с помощью встроенного в стенд вольтметра.

3. Программа исследований

3.1 Построение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) усилительного каскада с ОЭ. Собрать схему рисунок 1. Установить напряжение питания +10В, заданные преподавателем сопротивления Rк и Rн и емкости разделительных конденсаторов на входе и выходе усилителя. Выбрать оптимальную для режима класса А точку покоя (ток и потенциал коллектора).

Изменяя дискретно частоту сигнала на генераторе октавами относительно 1 кГц (то есть удваивая при повышении и уменьшая вдвое при ее понижении) измерить при каждом значении частоты коэффициент частотных искажений M(F), нормированный относительно частоты максимального усиления. Построить график АЧХ M(F) в логарифмическом масштабе по оси частот и определить нижнюю и верхнюю частоты усилителя Fн и Fв. Диапазон исследуемых частот ограничить пределами, в которых значение M(F) снижается до уровня 0,3-0,4.

3.2 Исследование влияния емкости разделительных конденсаторов на АЧХ усилителя в области нижних частот.

Выполнить установки на стенде по п.3.1. начиная со «средней» частоты, на которой усиление каскада максимально, дискретно понижать частоту генератора и измерить значения коэффициента частотных искажений в области нижних частот для различных значений емкости обоих разделительных конденсаторов (1 мкф и 10 мкф). Построить графики низкочастотных участков АЧХ усилителя M 4н 0(F). Для измерений выбираются значения частот как указано в п.3.1. Указать на каждой характеристике нижнюю граничную частоту.

3.3 Исследование влияния сопротивления нагрузки на АЧХ усилителя в области верхних частот. Произвести измерения коэффициента частотных искажений на частотах, расположенных выше «средней» частоты для двух режимов: низкоомной и высокоомной нагрузок. В схеме с низкоомной нагрузкой установить

Rк=1кОм, Rн=0,75кОм, а в схеме с высокоомной нагрузкой Rн=∝, а R к имеет максимальное значение.

В обоих случаях устанавливается ток покоя коллектора, соответствующий середине статической линии нагрузки. Значения частот для измерения АЧХ выбирать как указано в п.3.1. Построить графики высокочастотных участков АЧХ усилителя. Указать на каждой характеристике верхнюю граничную частоту.

3.4 Построение фазочастотных характеристик (ФЧХ) усилительных каскадов с ОЭ и ОБ. Произвести измерение фазового сдвига напряжения на нагрузке усилительного каскада относительно входного напряжения в пяти точках, равномерно (в логарифмическом масштабе) распределенных по рабочему диапазону частот усилителя, включая «среднюю» частоту, например, через две октавы. Измерение ФЧХ выполнить для обеих схем (рисунок 1 и 2), установив значения Uп, Rк, Rн и емкости разделительных конденсаторов как указано в п.3.1. Построить графики ФЧХ усилительных каскадов с ОЭ и ОБ.

4. Методические указания

4.1 При построении АЧХ по пп.3.1-3.3 для упрощения процедуры нахождения коэффициента частотных искажений, который определен как отношение коэффициента усиления по напряжению на данной частоте Ku(F) к максимальному коэффициенту усиления на средней частоте Ku0:

$$M(F)=Ku(F)/Ku_0,$$

целесообразно установить на средней частоте F0 такое входное напряжение, при котором значение напряжения на нагрузке Uвых=1В (или 100 мВ) и стрелка вольтметра на соответствующем пределе измерения указывает на конец шкалы. Это показание следует принять как M(F0)=1. После этого на всех частотах сигнала необходимо поддерживать ту же величину напряжения генератора Uг, что и на средней частоте, а значение коэффициента M(F) определять по положению стрелки вольтметра как отношение выходных напряжений на частоте измерения к средней частоте.

4.2 Результаты измерений АЧХ по пп.3.1-3.3 следует занести в таблицу 1-3.

Таблица 1- АЧХ усилителя с ОЭ

Таблица 2 - Зависимость частотных искажений от емкости

Таблица 3 - Зависимость частотных искажений от нагрузки

4.3 Измерение фазового сдвига между выходным и входным сигналами (3.4) произвести с помощью осциллографа, работающего в режиме внешней синхронизации. При этом для синхронизации можно использовать как напряжение с выхода генератора, так и напряжение усиленного сигнала, например, с коллектора транзистора.

Установить скорость развертки луча, при которой на экране разворачивается один период напряжения сигнала. Определить масштаб по оси времени в градусах (период колебания Т соответствует углу 360 50 0). Отметить сдвиг изображения напряжения на нагрузке относительно напряжения генератора (отставание или опережение) в делениях шкалы и пересчитать его в фазовый сдвиг (рисунок 3) по формуле:

$$\varphi = 360\ ^\circ \times \Delta T / T.$$

При измерениях фазового сдвига после установки синхронизации допускается изменять только чувствительность, наблюдая изображения входного и выходного сигналов. При запаздывании фазовый сдвиг считается отрицательным, а при опережении - положительным.

5. Контрольные вопросы

1. Дать определение частотным и фазовым искажениям сигнала.
2. Что является мерой частотных искажений на границах рабочего диапазона частот усилителя?
3. Почему неравномерность АЧХ и отклонение ФЧХ усилителя от идеальной характеристики рассматриваются как линейные искажения сигнала?
4. Какими факторами обусловлено снижение коэффициента усиления в области нижних частот в усилителе напряжения переменного тока?
5. Какие параметры компонентов схемы усилителя определяют нижнюю граничную частоту?
6. Какими факторами обусловлено снижение коэффициента усиления в области верхних частот в усилителе напряжения переменного тока?
7. Какие параметры компонентов схемы усилителя определяют верхнюю граничную частоту?
8. Что означает предельная частота транзистора в схемах с ОЭ и ОБ?
9. Как отличаются выходные емкости транзисторов в различных схемах включения?
10. Почему сопротивление нагрузки влияет на верхнюю граничную частоту усилителя?
11. Чему равен фазовый сдвиг сигнала на средней частоте в усилительных каскадах с ОЭ и ОБ?
12. Чем обусловлен дополнительный фазовый сдвиг в усилительном каскаде в области нижних и верхних частот?
13. Привести идеальную фазовую характеристику усилителя.

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) титульный лист, наименование и цель работы;

2) Конспект общих положений лабораторной работы, схемы, программу исследований (готовится до начала работы);

3) результаты исследований: заполненные таблицы измерений, графики АЧХ и ФЧХ, результаты вычислений фазочастотных параметров усилителя.

Лабораторная работа №6
Лабораторное исследование отрицательной обратной связи в усилителях

1. Цель работы

Изучение особенностей схемной реализации отрицательной обратной связи в однокаскадном усилителе на транзисторе, исследование влияния различных видов ООС на основные параметры усилителя.

2. Общие положения

Исследуются схемы ООС в однокаскадном усилителе, отличающиеся способом получения сигнала обратной связи и способом подачи его к входу усилителя:

-последовательная ООС по току (рисунок 1);

-последовательная ООС по напряжению (рисунок 2);

-параллельная ООС по напряжению (рисунок 3);

В схеме рисунок 1 элементом последовательной ООС по току является резистор $R_{ос}$ в цепи эмиттера. Этот резистор не зашунтирован емкостью, и переменный ток эмиттера создает на нем напряжение обратной связи, которое совпадает по фазе с входным сигналом. Переменное напряжение база-эмиттер равно разности входного напряжения (база-общая шина) и напряжения обратной связи. Глубина обратной связи определяется сопротивлением $R_{ос}$.

Эмиттерный повторитель (рисунок 2) можно рассматривать как усилитель с глубокой последовательной ООС по напряжению, так как выходное напряжение сигнала одновременно является и напряжением обратной связи.

В схеме рисунок 3 сигналом обратной связи является переменный ток в цепи резистора $R_{ос}$, соединяющего выход усилителя с базой транзистора. Переменная составляющая тока базы равна разности входного тока (от источника сигнала) и тока обратной связи. Резистор $R_о$ является обязательным элементом схемы с параллельной ООС и в качестве входного сигнала следует считать напряжение генератора Uг. Источник сигнала (генератор синусоидального напряжения Г3-33, Г3-56 и др.) подключается к

гнездам Г1, Г2. Сопротивление нагрузки подключается либо к коллектору (рисунок 1), либо к эмиттеру (рисунок 2).

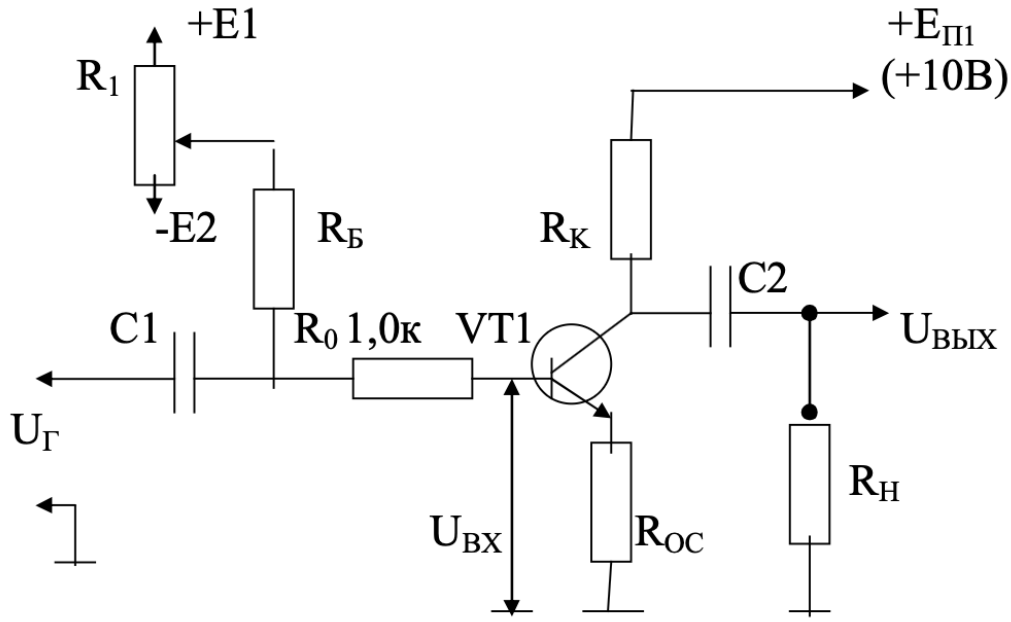


Рисунок 1 - Усилитель с последовательной ООС по току

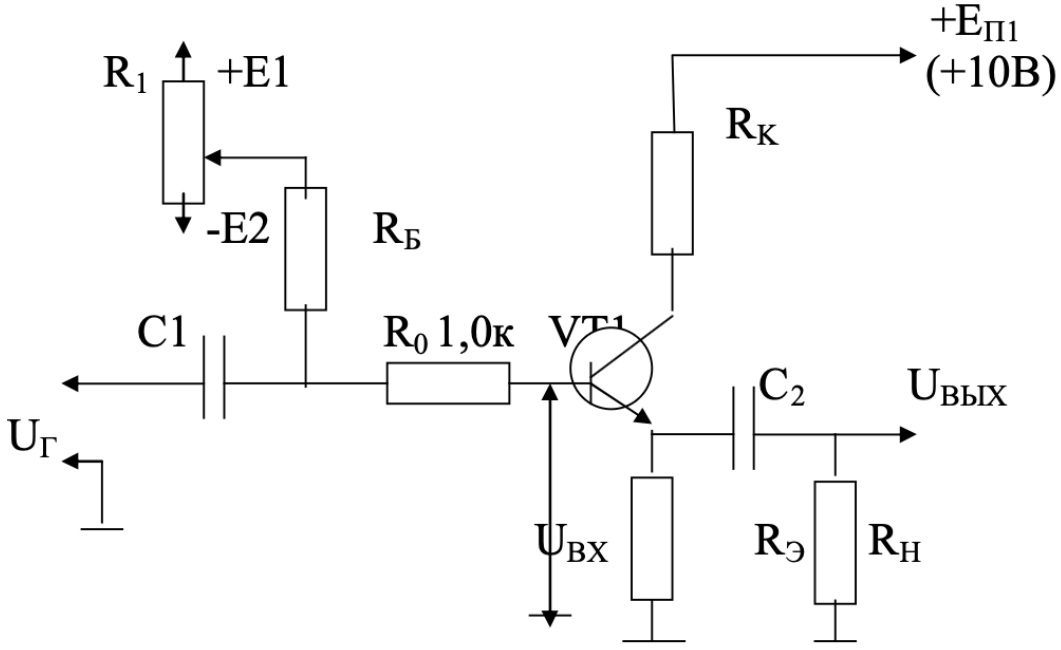


Рисунок 2 - Усилитель с последовательной ООС по напряжению

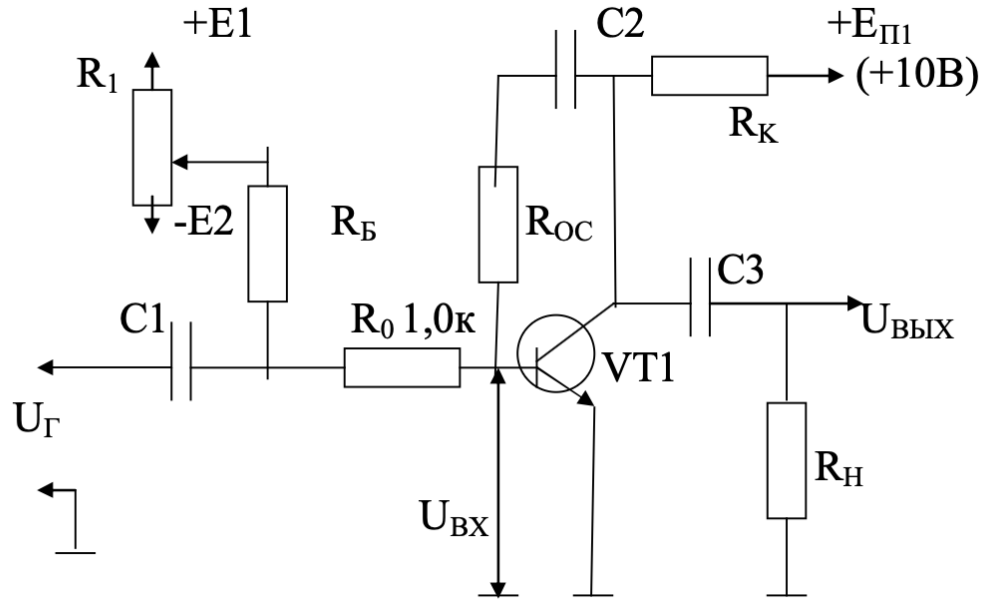


Рисунок 3 - Усилитель с параллельной ООС по напряжению

3. Программа исследований

3.1. Исследование влияния последовательной ООС по току на параметры усилителя. Собрать схему рисунок 1. Установить напряжение питания +10В и заданные преподавателем сопротивления Rк и Rн, а также оптимальный ток коллектора. Определить коэффициент усиления по напряжению (Ku) и входное сопротивление каскада (Rвх) без обратной связи (при Roc=0) и при всех значениях сопротивления Roc, а также соответствующие значения коэффициента петлевого усиления χS. Построить графики зависимости коэффициента усиления и входного сопротивления от петлевого усиления (Kuoc=f(χS) и Rвхос=f(χS)).

3.2. Исследование работы фазо-инверсного каскада. Для построения фазо-инверсного каскада в схеме рис.1 установить Rк=Roc=1кОм и отключить сопротивление нагрузки (Rн=0). Установить оптимальное значение тока покоя. Установить на входе максимальное напряжение сигнала, при котором еще не наблюдается перегрузка усилителя. Снять осциллограммы напряжений на базе, коллекторе и эмиттере в режиме внешней синхронизации и при «открытом» входе осциллографа. Построить графики этих осциллограмм в единой систбеме координат. Определить

коэффициенты передачи по напряжению по коллекторному (Кuк) и эмиттерному (Кuэ) выходам.

3.3. Исследование параметров эмиттерного повторителя. Собрать схему рис.2. Установить Uп=+10В, Rэ=1кОм. Определить значения коэффициента передачи по напряжению и входного сопротивления при различных значениях сопротивления нагрузки. Построить графики зависимостей Ku=f(Rн) и Rвх=f(Rн). Определить выходное сопротивление каскада.

3.4. Исследование влияния параллельной ООС по напряжению. В схеме рис.3 установить заданное преподавателем сопротивление Rк и соответствующий ему оптимальный ток покоя коллектора. Определить при отключенной и включенной цепи обратной связи коэффициент усиления по напряжению, входное сопротивление цепи базы и выходное сопротивление усилителя, а также коэффициент петлевого усиления.

4.Методические указания

4.1 Исследование усилителей с ООС производится на фиксированной частоте в пределах 1000-2000 Гц. В схеме с последовательной ООС по току (п.3.1) необходимо измерить для каждого значения сопротивления Roc коэффициент усиления по напряжению:

$$Ku=Uвых / Uвх,$$

входное сопротивление:

$$R\ вх = Ro\ (\ Uвх / (Uг - Uвх),$$

где Ro=1кОм, а также вычислить коэффициент петлевого усиления:

$$\chi S=Ku / Kuoc -1.$$

Результаты измерений внести в таблицу 1.

4.2 В схеме фазо-инверсного каскада оптимальный ток покоя коллектора равен половине тока насыщения, то есть максимально возможного при установленных значениях Uп, Rк, Rэ (п.3.2).

При построении осциллограмм напряжений следует использовать для синхронизации осциллографа напряжение сигнала с выхода генератора. Необходимо указать на осях времени и напряжения масштабы, установленные на осциллографе.

Таблица 1 - Параметры усилителя с последовательной ООС по току

Rос, кОм	0			
Ku. Kuос				
χS	0			
Rвх, Rвхос				

Для определения коэффициентов передачи необходимо измерить напряжение сигнала на коллекторе и эмиттере транзистора:

Kuк= Uвыхк/ Uвх, Kuэ= Uвыхэ/ Uвх.

4.3 При исследовании схемы эмиттерного повторителя (п.3.3) установить в режиме покоя потенциал эмиттера Uэ0=5В. Значения коэффициента передачи по напряжению и входного сопротивления внести в таблицу 2.

Выходное сопротивление определяется по формуле: Rвых= Rн*(Uвыххх - Uвыхн)/ Uвыхн, где Uвыххх-выходное напряжение при отключенной нагрузке; Uвыхн -выходное напряжение при подключении сопротивления нагрузки Rн и наличии входного сигнала.

Таблица 2 - Параметры эмиттерного повторителя

Rн, кОм	∞				
Ku					
Rвх, кОм					

4.4. При исследовании усилителя с параллельной ООС по напряжению (п.3.4) коэффициент усиления следует определять по формуле Ku= Uвых/ Uг. Результаты измерений внести в таблицу 3.

Таблица 3 - Параметры усилителя с параллельной ООС по напряжению

Ku		χKu	Rвх, Ом		Rвых, Ом	
Без ООС	С ООС		Без ООС	С ООС	Без ООС	С ООС

5. Контрольные вопросы

1. Назовите способы подачи сигнала ООС ко входу усилителя. Что является сигналом ОС при различных видах ОС?

2. Назовите способы получения сигнала ООС. Как связан сигнал ОС с выходным сигналом усилителя при различных видах ОС?

3. Какой показатель характеризует глубину ОС? Какие па раметры определяют коэффициент усиления разомкнутой петли ОС?

4. Привести расчетные формулы основных параметров усилителя с ООС (Ku, Ki, S, Rп).

5. Как влияет ООС на стабильность усиления?

6. Как изменяется входное сопротивление усилителя с ООС?

7. Как изменяется выходное сопротивление усилителя с ООС?

8. Как влияет ООС на частотные и нелинейные искажения?

9. Объяснить физический смысл действия последов. ООС по току.

10. Объяснить физический смысл действия парал. ООС по напряжению.

11. Почему эмиттерный повторитель имеет высокое входное и низкое выходное сопротивления?

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать: 1) титульный лист, наименование и цель работы; 2) Конспект общих положений лабораторной работы, схемы, программу исследований (готовится до начала работы); 3) результаты исследований: заполненные таблицы измерений, графики зависимостей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-6762-4.

2. Миловзоров, О. В. Электроника : учебник для вузов / О. В. Миловзоров. – 6-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 344 с.

3. Миленина, С. А. Электроника и схемотехника : учебник и практикум для вузов / С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022.

4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. -2-е изд.-М.: Высш.шк.,1991.- С.238-245, 264-274.

5. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. -4-е изд.-М.:Энергия, 1977.-С.317-325, 328-337.

6. Батушев В.А. Электронные приборы. 2_е изд.- М.:Высшая школа,1980.-С.183-207.

7. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторов схем. -4-е изд.- М.:Энергия, 1977.-С.283-316.