

Федеральное агентство по образованию
Федеральное государственное образовательное учреждение
среднего профессионального образования
“Уральский радиотехнический колледж им. А. С. Попова”

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к выполнению

лабораторных работ №1-5

для специальностей 210306 “Радиоаппаратостроение”

210308 “Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной
техники”

230106 “Техническое обслуживание средств вычислительной техники и
компьютерных сетей”

230101 “Вычислительные машины, комплексы, системы и сети”

230105 “Программное обеспечение вычислительной техники и
автоматизированных систем”

90109 “Информационная безопасность”

Соответствует рабочей программе

УТВЕРЖДЕНО

Цикловой методической комиссией

радиотехнических дисциплин

Протокол _____

От “ _____ ” _____ 200 _____ г

Председатель ЦМК

Е. С. Кравченко _____

Авторы: Т. Ф. Першикова

С. С. Грищенко

Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала и поэтому выполняются после его изучения.

Лабораторные работы формируют практические навыки работы с радиоэлектронной аппаратурой и измерительными приборами, а так же самостоятельное мышление при анализе полученных результатов.

При выполнении лабораторных работ следует строго придерживаться правил техники безопасности и методических указаний.

Графические построения выполняются аккуратно, карандашом.

Расчеты и выводы прописываются четко, без сокращений.

Содержание

Описание лабораторного стенда.....	3
Лабораторная работа №1 «Исследование статических характеристик выпрямительного диода».....	4
Лабораторная работа №2 «Исследование статических характеристик стабилитрона».....	11
Лабораторная работа №3 «Исследование статических характеристик биполярного транзистора включенного по схеме с ОБ».....	17
Лабораторная работа №4 «Исследование статических характеристик биполярного транзистора включенного по схеме с ОЭ».....	22
Лабораторная работа №5 «Исследование полевого транзистора».....	27
Рекомендуемая литература.....	32

Описание лабораторного стенда.

Лабораторный стенд содержит два источника питания, а так же набор измерительных приборов. Общий вид стенда, расположение приборов и органов управления показаны на рисунке 1.

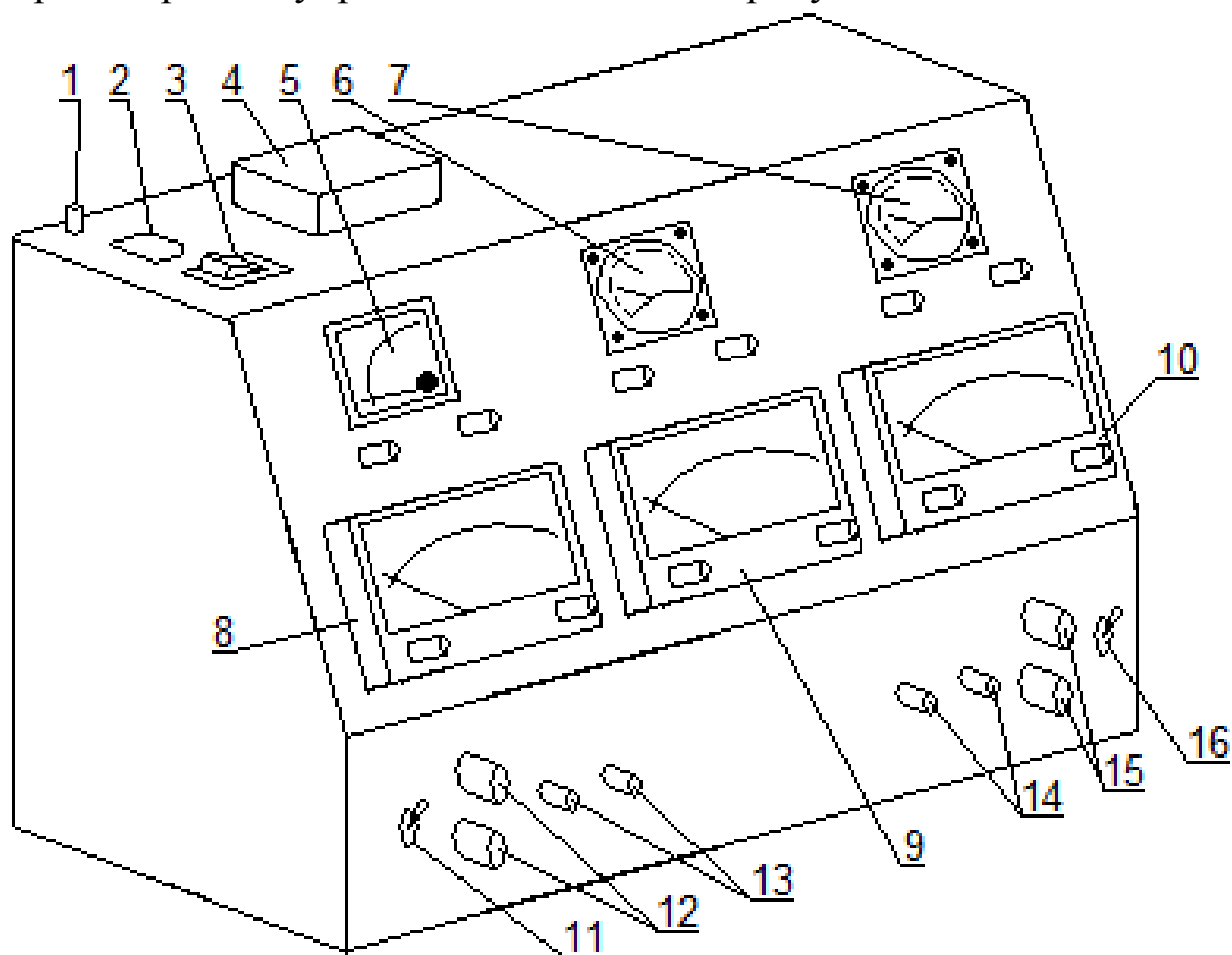


Рисунок 1. Общий вид стенда.

1 – заземление; 2 – разъем питания (220В); 3 – вкл. сеть; 4 – трансформатор; 5 – вольтметр (15В); 6 – миллиамперметр (1мА); 7 – миллиамперметр (10мА); 8, 9 – миллиамперметры (200мА); 10 – вольтметр (1В); 11 – вкл. 15В; 12, 15 – регуляторы “ГРУБО” и “ТОЧНО”; 13 – гнезда $\pm 15В$; 14 – гнезда $\pm 1,5В$; 16 – вкл. 1,5В

Плюсовые выводы всегда имеют красный цвет, а минусовые – черный.

Лабораторная работа №1

“Исследование статических характеристик выпрямительного диода”

1. Цель работы

Лабораторная работа №1 выполняется для закрепления теоретических знаний студентов по теме “p-n-переход под воздействием внешнего поля”, “Статические характеристики выпрямительного диода” и содержит:

- исследование статических характеристик выпрямительного диода при прямом включении
- исследование статических характеристик выпрямительного диода при обратном включении

2. Комплект аппаратуры.

При выполнении лабораторной работы №1 используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторный стенд
- радиатор с установленными на нем электронными приборами
- комплект соединительных проводов
- микроамперметр с пределом измерения 50мкА

3. Теоретический материал.

Выпрямительный диод представляет собой заключенный в корпус контакт между двумя полупроводниками с разными типами проводимости, то есть p-n-переход. Основное свойство p-n-перехода – односторонняя проводимость, то есть способность пропускать ток только в одном направлении.

Возможны два варианта включения p-n-перехода: в прямом и в обратном направлении.

Возможны два варианта включения выпрямительного диода: в прямом направлении и в обратном. При прямом включении “плюс” источника питания подключается к p-области, а “минус” к n-области (рисунок 2).

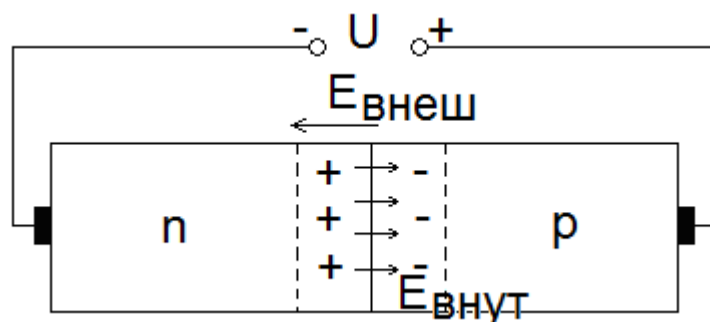


Рисунок 2. Прямое включение p-n-перехода.

Прямое включение приводит к снижению величины потенциального барьера, то есть ширина р-п-перехода снижается. Когда прямое напряжение внешнего источника достаточно велико переход может открыться и через него потечет дрейфовый ток основных носителей заряда, так как электроны из n-области будут притягиваться к плюсу источника питания, а дырки из р-области к минусу. Ток начинает протекать через переход при определенном напряжении, которое называют напряжением отпираания.

При обратном включении “плюс” источника питания подключается к n-области, а “минус” к р-области (рисунок 3).

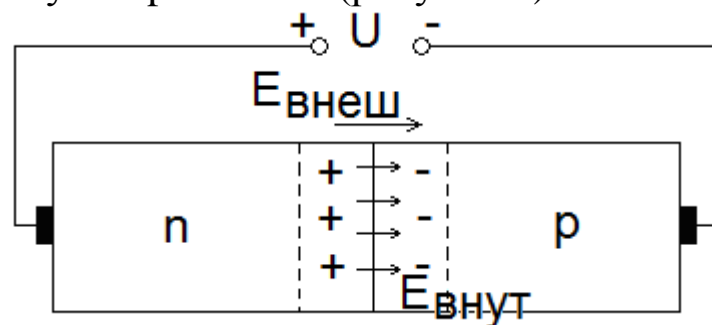


Рисунок 3. Обратное включение р-п-перехода.

Как видно из рисунка 2 линии напряженности внешнего электромагнитного поля сонаправлены с вектором внутреннего поля, то есть увеличивают уровень потенциального барьера. При обратном включении возможен малый обратный ток, обусловленный потоком неосновных носителей заряда, при этом его величина не зависит от обратного напряжения.

Условно-графическое обозначение выпрямительного диода показано на рисунке 4. Анод соответствует р-области, а катод n-области.

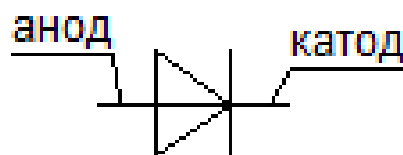


Рисунок 4. УГО выпрямительного диода.

4. Методика выполнения работы.

4.1 Исследовать статические характеристики выпрямительного диода при прямом включении.

4.1.1 Ознакомиться с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 5.

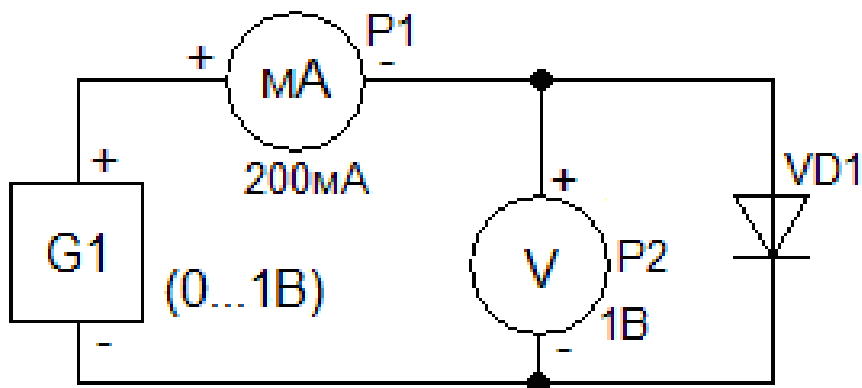


Рисунок 5. Схема прямого включения выпрямительного диода.

4.1.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек

стенда. Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.1.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать

принципиальной схеме, изображенной на рисунке 5. После соединения предоставить схему для проверки преподавателю.

Внимание! Запрещается включение питания стенда без разрешения преподавателя!

4.1.4 Снять статические характеристики выпрямительного диода

при прямом включении. Необходимо задавать прямой ток через диод $I_{пр}$ при помощи источника G1 (регуляторы “ГРУБО” и “ТОЧНО”) в соответствии с таблицей 1 по миллиамперметру P1. Напряжение на выпрямительном диоде $U_{пр}$ контролируется по вольтметру P2. Результаты измерений занести в таблицу 1. Измерения необходимо произвести для кремниевого (Si) и германиевого (Ge) диода.

Таблица 1

Вписать напряжение отпирания диода. Для этого плавно увеличивая напряжение от нуля замерить то напряжение, при котором появляется ток через выпрямительный диод

Задаем $I_{пр}, \text{мА}$	Снимаем $U_{пр}, \text{В}$	
	Si	Ge
0	0	0
0		
5		
10		
20		
40		
60		
80		
120		
160		
200		

4.1.5 Выключить питание стенда. Разобрать схему.

4.2 Исследовать статические характеристики выпрямительного диода при обратном включении.

4.2.1 Ознакомиться с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 6.

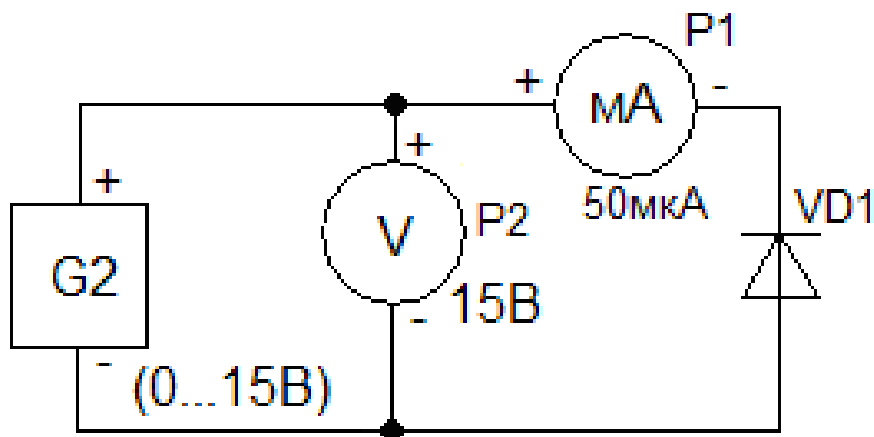


Рисунок 6. Схема обратного включения выпрямительного диода.

4.2.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек стенда. Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.2.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать принципиальной схеме, изображенной на рисунке 6. После соединения предоставить для проверки преподавателю.

Внимание! Запрещается включение питания стенда без разрешения преподавателя!

4.2.4 Снять статические характеристики выпрямительного диода при обратном включении. Необходимо задавать напряжение на диоде $U_{обр}$ при помощи источника G2 (регуляторы “ГРУБО” и “ТОЧНО”) по вольтметру P2. Обратный ток через диод $I_{обр}$ контролируется по микроамперметру P1. Результаты измерений занести в таблицу 2. Измерения необходимо произвести для кремниевого и германиевого диода.

Таблица 2

Задаем	Снимаем	
$U_{обр}, В$	$I_{обр}, мкА$	
0	Si	Ge
0,5		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
8		
10		
12		

4.2.5 Выключить питание стенда. Разобрать схему.

5. Указания по оформлению отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист
- цель работы
- исследуемую схему
- таблицы полученных результатов
- вольт-амперную характеристику германиевого и кремниевого выпрямительных диодов. При этом 1 см графика должен соответствовать:

по оси $U_{пр} - 0,1В$

по оси $I_{пр} - 20мА$

по оси $U_{обр} - 1В$

по оси $I_{обр} - 10мкА$

- выводы по проделанной работе.

6. Задание.

Используя экспериментальную статическую характеристику выполнить следующие операции:

6.1 Вычислить значения статических сопротивлений прямого включения германиевого диода в режимах $I_{пр}=20мА$ и $I_{пр}=200мА$. Сравнить их между собой и сделать вывод об изменении состояния диода в этих режимах.

6.2 Вычислить значения статических сопротивлений прямого включения кремниевого диода в режимах $I_{пр}=20мА$ и $I_{пр}=200мА$. Сравнить их между собой и сделать вывод об изменении состояния диода в этих режимах.

6.3 Вычислить значения дифференциальных сопротивлений прямого включения германиевого диода в режимах $I_{пр}=20мА$ и $I_{пр}=200мА$. Сравнить эти значения между собой и сделать вывод.

6.4 Вычислить значения дифференциальных сопротивлений прямого включения кремниевого диода в режимах $I_{пр}=20мА$ и $I_{пр}=200мА$. Сравнить эти значения между собой и сделать вывод.

6.5 Вычислить значения мощностей, рассеиваемых в прямом включении кремниевым диодом в режимах $I_{пр}=20мА$ и $I_{пр}=200мА$.

6.6 Вычислить значения мощностей, рассеиваемых в прямом включении кремниевым диодом в режимах $I_{пр}=20мА$ и $I_{пр}=200мА$.

6.7 Сравнить результаты полученные в пункте 5.5 с результатами, полученными в пункте 6.6.

6.8 Вычислить значение статического сопротивления обратного включения германиевого диода при $U_{обр}=10В$.

6.9 Вычислить значение статического сопротивления обратного включения кремниевого диода при $U_{обр}=10В$.

6.10 Сравнить результаты полученные в пункте 6.8 с результатами, полученными в пункте 6.9.

6.11 Вычислить значения мощности, рассеиваемой германиевым диодом при обратном включении при $U_{обр}=10В$.

6.12 Вычислить значения мощности, рассеиваемой кремниевым диодом при обратном включении при $U_{обр}=10В$.

6.13 Сравнить результаты полученные в пункте 6.11 с результатами, полученными в пункте 6.12.

6.14 Сравнить результаты полученные в пункте 6.1 с результатами, полученными в пункте 6.8.

6.15 Определить значения начального напряжения отпирания по характеристикам кремниевого и германиевого диода. Сравнить их между собой и сделать вывод.

6.16 В чем заключаются достоинства кремниевого диода по сравнению с германиевым?

6.17 В чем заключаются достоинства германиевого диода по сравнению с кремниевым?

Лабораторная работа №2

“Исследование статических характеристик стабилитрона”

1. Цель работы

Лабораторная работа №2 выполняется для закрепления теоретических знаний студентов по теме “Типы пробоя в р-п-переходе”, “Применение стабилитрона для стабилизации напряжения” и содержит:

- исследование статических характеристик стабилитрона при прямом включении
- исследование статических характеристик стабилитрона при обратном включении

2. Комплект аппаратуры.

При выполнении лабораторной работы №2 используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторный стенд
- радиатор с установленными на нем электронными приборами
- комплект соединительных проводов
- вольтметр с пределом измерения 15В

3. Теоретический материал.

При большом обратном напряжении возможен пробой р-п-перехода. Различают два вида пробоя:

1. *Электрический пробой* возникает, когда под действием обратного напряжения электроны приобретают достаточную энергию для выхода из ковалентных связей и перехода через потенциальный барьер р-п-перехода. Соударяясь с другими атомами, они вызывают образование новых носителей заряда. Этот процесс носит лавинообразный характер и приводит к резкому возрастанию обратного тока. Электрический пробой – процесс *обратимый*, то есть при снятии обратного напряжения свойства р-п-перехода восстанавливаются.

2. *Тепловой пробой* р-п-перехода происходит вследствие вырывания валентных электронов из связей в атомах. Тепловая генерация приводит к увеличению концентрации носителей заряда и к росту тока. Увеличение тока приводит к дальнейшему повышению температуры, процесс носит необратимый лавинообразный характер и переход выходит из строя.

Электрический и тепловой пробой во многих случаях происходит одновременно.

В электронике часто требуется стабилизация напряжения для предохранения аппаратуры от скачков напряжения и т. д. Для этих целей достаточно часто *используются стабилитроны*.

Нормальным режимом работы стабилитронов является работа при обратном напряжении соответствующем напряжению электрического пробоя. Условно-графическое обозначение стабилитрона изображено на рисунке 7.

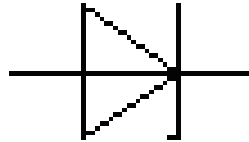


Рисунок 7. УГО стабилитрона.

Обратная ветвь ВАХ стабилитрона содержит участок, который имеет вид прямой вертикальной линии, проходящей почти параллельно оси токов, соответствующий электрическому пробое. Поэтому при изменении тока через стабилитрон в широких пределах напряжение на нем практически не меняется. Это свойство кремниевых стабилитронов позволяет использовать их для стабилизации напряжения.

Поскольку электрический пробой наступает при сравнительно низких обратных напряжениях, мощность выделяющаяся в р-п-переходе даже при большом токе небольшая, что предотвращает р-п-переход от теплового пробоя.

Схема простейшего стабилизатора напряжения на стабилитроне изображена на рисунке 8.

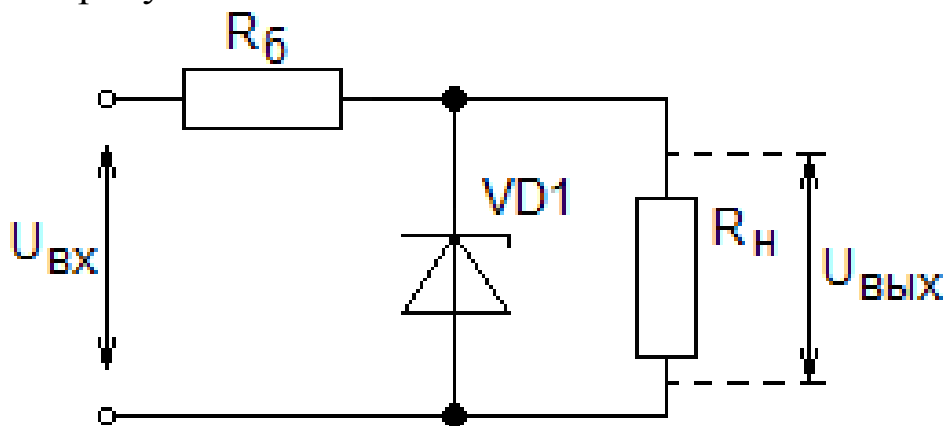


Рисунок 8. Стабилизатор напряжения на стабилитроне.

Схема представляет собой делитель напряжения, состоящий из резистора R_6 и стабилитрона $VD1$. При увеличении напряжения $U_{вх}$ на нагрузке напряжение на нагрузке $U_{вых}$ практически не меняется, в чем и выражается стабилизирующее действие. R_6 называют *балластным* резистором, так как на нем выделяются излишки напряжения.

4. Методика выполнения работы.

4.1 Исследовать статические характеристики стабилитрона при прямом включении.

4.1.1 Ознакомиться с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 9.

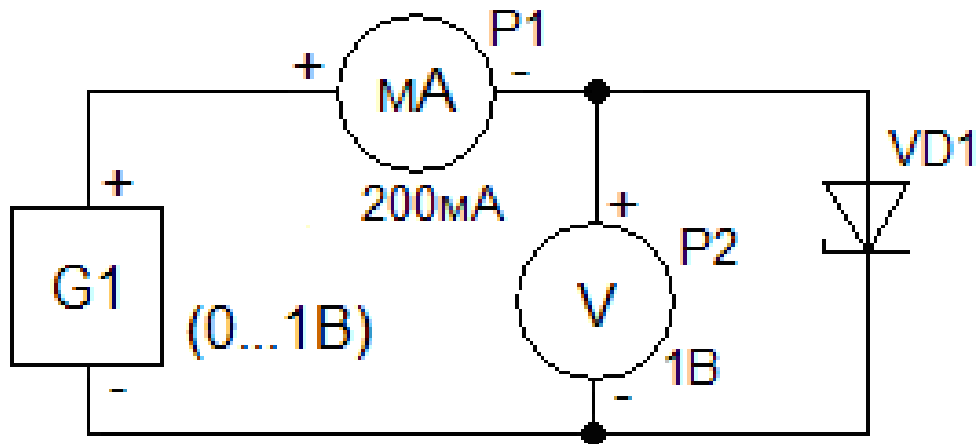


Рисунок 9. Схема прямого включения стабилитрона.

4.1.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек стенда. Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.1.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать принципиальной схеме, изображенной на рисунке 9. После соединения предоставить для проверки преподавателю.

Внимание! Запрещается включение питания стенда без разрешения преподавателя!

4.1.4 Снять статические характеристики стабилитрона при прямом включении. Необходимо задавать прямой ток через стабилитрон $I_{пр}$ при помощи источника G1 (регуляторы “ГРУБО” и “ТОЧНО”) в соответствии с таблицей 3 по миллиамперметру P1. Напряжение на стабилитроне $U_{пр}$ контролируется по вольтметру P2. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Вписать напряжение отпирания стабилитрона. Для этого плавно увеличивая напряжение от нуля замерить то напряжение, при котором появляется ток через кремниевый стабилитрон

Задаем	Снимаем
$I_{пр}, \text{мА}$	$U_{пр}, \text{В}$
0	0
0	
5	
10	
20	
40	
60	
80	
120	
160	
200	

4.1.5 Выключить питание стенда. Разобрать схему.

4.2 Исследовать статические характеристики стабилитрона при обратном включении.

4.2.1 Ознакомиться с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 10.

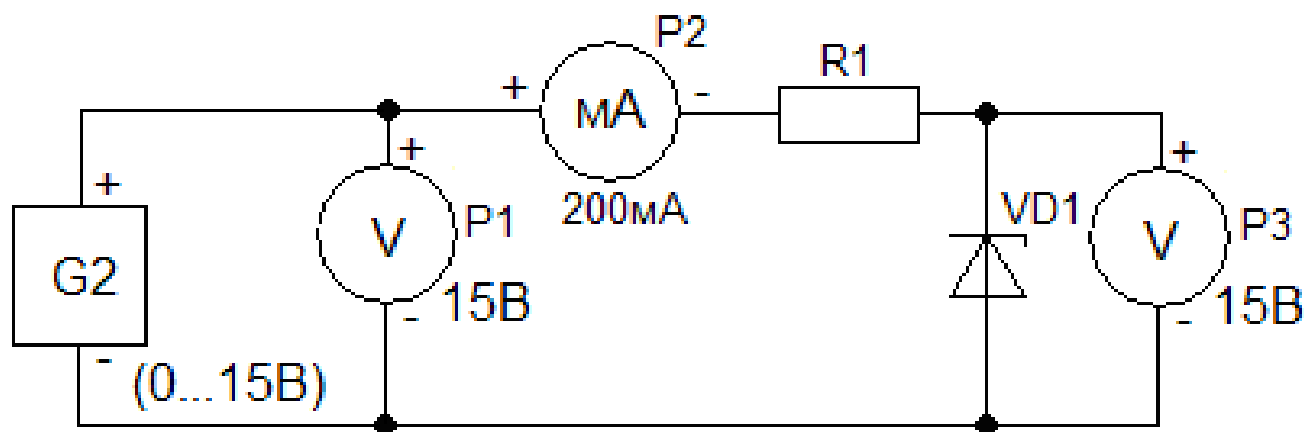


Рисунок 10. Схема обратного включения стабилитрона.

4.2.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек стенда. Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.2.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать принципиальной схеме, изображенной на рисунке 10. После соединения предоставить для проверки преподавателю.

4.2.4 Снять статические характеристики стабилитрона при обратном включении. Необходимо задавать напряжение на входе схемы $U_{вх}$ по вольтметру P1 в соответствии с таблицей 4 (регуляторы “ГРУБО” и “ТОЧНО”). При этом необходимо контролировать обратный ток через стабилитрон $I_{обр}$ по миллиамперметру P2 и обратное напряжение $U_{обр}$ по вольтметру P3. Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4

Задаем	Снимаем	
	$U_{обр}, В$	$I_{обр}, мА$
0		
0,5		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
10		
12		

4.2.5 Выключить питание стенда. Разобрать схему.

5. Указания по оформлению отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист
- цель работы
- исследуемую схему
- таблицы полученных результатов
- ВАХ кремниевого стабилитрона. При этом 1см графика должен соответствовать:

по оси $U_{пр} - 0,1В$

по оси $I_{пр} - 20мА$

по оси $U_{обр} - 0,5В$

по оси $I_{обр} - 5мА$

- выводы по проделанной работе.

6. Задание.

Используя экспериментальную статическую характеристику выполнить следующие операции:

6.1 Обозначить на характеристике прямого включения область насыщения, присвоив этой области буквенное обозначение.

6.2 Вычислить значения статического сопротивления стабилитрона в режиме прямого включения при токе $I_{пр}=100\text{мА}$.

6.3 Вычислить значение дифференциального сопротивления стабилитрона в режиме прямого включения при токе $I_{пр}=70\text{мА}$.

6.4 Вычислить значения мощности, рассеиваемой стабилитроном в режиме прямого включения при токе 100мА .

6.5 Обозначить на характеристике обратного включения область лавинного пробоя, присвоив этой области буквенное обозначение. В тексте отчета расшифровать это обозначение.

6.6 Вычислить значение статических сопротивлений стабилитрона при токе стабилизации $I_{ст}=20\text{мА}$ и при $I_{ст}=50\text{мА}$. Сравнить эти сопротивления.

6.7 Вычислить значение динамического сопротивления стабилитрона для области изменений тока стабилизации в интервале от 20 до 50 мА.

6.8 Сравнить значение динамического сопротивления со средним значением статического сопротивления в том же интервале (20 - 50мА).

6.9 Вычислить значение динамического сопротивления стабилитрона для области изменений тока стабилизации в интервале от 10 до 20 мА.

6.10 Сравнить результаты пунктов 6.7 и 6.9.

6.11 Вычислить значения мощности, рассеиваемой стабилитроном в режиме стабилизации при токе $I_{ст}=20\text{мА}$ и при $I_{ст}=50\text{мА}$.

6.12 Вычислить на участке лавинного пробоя область с наилучшей стабилизацией напряжения, присвоив этому участку свои буквенные обозначения. Аргументировано обосновать этот выбор.

6.13 Какие участки характеристики стабилитрона могут быть использованы для целей стабилизации напряжения? Каковы средние значения этих напряжений?

6.14 Какими параметрами оценивается качество стабилизации напряжения при использовании для стабилизации кремниевого стабилитрона?

6.15 Почему во всех схемах, содержащих стабилитрон необходимо последовательно включать резистор?

Лабораторная работа №3

“Исследование статических характеристик биполярного транзистора включенного по схеме с ОБ”

1. Цель работы

Лабораторная работа №3 выполняется для закрепления теоретических знаний студентов по теме “Принцип работы транзистора”, “Включение транзистора по схеме с ОБ” и содержит:

- исследование входных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с ОБ
- исследование выходных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с ОБ

2. Комплект аппаратуры.

При выполнении лабораторной работы №3 используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторный стенд
- радиатор с установленными на нем электронными приборами
- комплект соединительных проводов

3. Теоретический материал.

В схеме с общей базой входным током $I_{вх}$ является ток эмиттера $I_э$, выходной ток $I_{вых}$ – ток коллектора $I_к$, входное напряжение $U_{вх}$ – напряжение эмиттер-база $U_{эб}$, выходное напряжение $U_{вых}$ – напряжение коллектор-база $U_{кб}$.

Статические характеристики связывают токи и напряжения на входе и выходе, по одним семействам характеристик такую зависимость отразить нельзя, поэтому различают входные и выходные характеристики.

Входные характеристики отражают зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном напряжении на выходе.

$$I_э = f(U_{эб}), U_{кб} = \text{const}$$

Выходные характеристики отражают зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном входном токе.

$$I_к = f(U_{кб}), I_э = \text{const}$$

Эквивалентная схема транзистора изображена на рисунке 11.

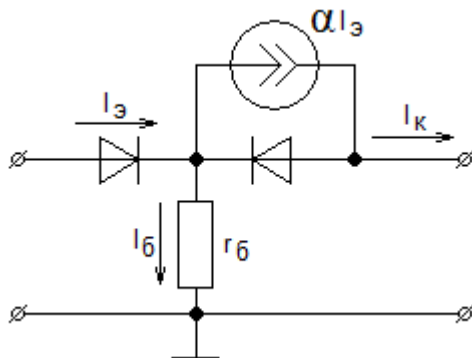


Рисунок 11. Эквивалентная схема транзистора.

Из рисунка видно, что эмиттерный переход эквивалентен переходу в прямом включении, а коллекторный в обратном включении. Поэтому входная характеристика подобна прямой ветви характеристики диода, а выходная – обратной ветви характеристики диода. Меняя напряжение на коллекторе $U_{кб}$ получаем семейство входных характеристик. Меняя входной ток $I_э$ получаем семейство выходных характеристик.

Условно-графическое обозначение биполярного п-р-п-транзистора изображено на рисунке 12.

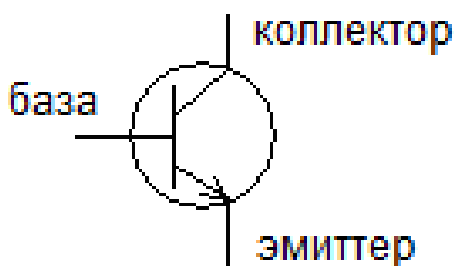


Рисунок 12. УГО биполярного п-р-п-транзистора.

4. Методика выполнения работы.

4.1 Ознакомьтесь с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 13.

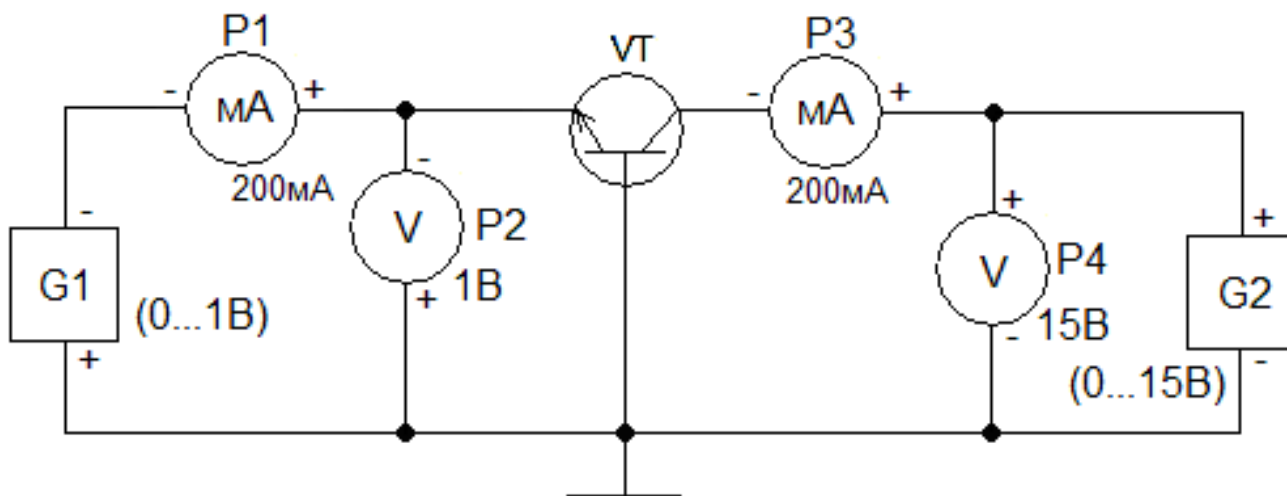


Рисунок 13. Схема включения биполярного транзистора ОБ.

4.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек стенда. Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать принципиальной схеме, изображенной на рисунке 13. После соединения предоставить для проверки преподавателю.

4.4 Снять входные статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с ОБ. Они представляют собой зависимость тока эмиттера $I_э$ от напряжения между эмиттером и базой $U_{эб}$, при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$. Измерять ток эмиттера $I_э$ следует по прибору Р1, а напряжение на эмиттере $U_{эб}$ по прибору Р2. Напряжение на выходе $U_{кб}$ контролируется по вольтметру Р4. При снятии входных характеристик необходимо задавать ток эмиттера $I_э$ при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G1 и замерять напряжение между эмиттером и базой $U_{эб}$, поддерживая при этом постоянное напряжение на коллекторе $U_{кб}$ при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G2.

В первой строке таблицы, когда $U_{кб}=0$ необходимо установить в выходной цепи режим короткого замыкания. Для этого параллельно вольтметру Р4 необходимо поставить перемычку. При снятии входных характеристик с условием $U_{кб} = 5В$ и $U_{кб}=10В$ перемычка должна быть снята.

Результаты измерений занести в таблицу 5.

Таблица 5.

Условие	$I_э, мА$	0	5	10	20	40	60	80	120	160	200
$U_{кб}=0В$	$U_{эб}, В$										
$U_{кб}=5В$	$U_{эб}, В$										
$U_{кб}=10В$	$U_{эб}, В$										

4.5 Снять выходные статические характеристики биполярного транзистора во включении ОБ. Они представляют собой зависимость тока коллектора I_K от напряжения между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$, при постоянном токе эмиттера $I_э$. Напряжение на коллекторе $U_{кэ}$ контролируется по вольтметру Р4, а ток коллектора I_K следует измерять по прибору Р3. При измерении тока коллектора I_K необходимо изменять напряжение на коллекторе $U_{кэ}$. Это производится при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G2 в соответствии с таблицей 2. При этом необходимо поддерживать ток эмиттера $I_э$ постоянным в соответствии с таблицей 6. Ток эмиттера контролируется по миллиамперметру Р1 и устанавливается при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G1.

В тех случаях когда напряжение коллектор-база равно нулю $U_{кб}=0$, в выходной цепи необходимо установить режим короткого замыкания поставив параллельно вольтметру Р4 перемычку.

Результаты измерений занести в таблицу 6.

Таблица 6

Условие	$U_{кэ}, В$	0	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	12
$I_э=80mA$	I_K, mA											
$I_э=120mA$	I_K, mA											
$I_э=160mA$	I_K, mA											

4.6 Выключить стенд, установить все регуляторы в крайнее левое положение и предъявить преподавателю результаты эксперимента для проверки.

4.7 Разобрать электрическую схему. Прибрать рабочее место и сдать его преподавателю или лаборанту.

5. Указания по оформлению отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист
- цель работы
- исследуемую схему
- таблицы полученных результатов
- входную статическую характеристику транзистора включенного по схеме с ОБ. При этом 1см графика должен соответствовать:

по оси $U_{эб}$ - 0,1В

по оси $I_э$ - 20мА

- выходную статическую характеристику транзистора включенного по схеме с ОБ. При этом 1см графика должен соответствовать:
 - по оси $U_{кб}$ - 1В
 - по оси $I_{к}$ - 20мА
- выводы по проделанной работе.

6. Задание.

6.1 Определить статическое сопротивление эмиттерно-базового перехода транзистора в режиме: $U_{кб}=5В$, $I_{э}=100мА$.

6.2 Определить входное сопротивление транзистора для источника синусоидального сигнала в режиме: $U_{кб}=5В$, $I_{э}=100мА$.

6.3 Сравнить результаты пунктов 6.1 и 6.2 и сформулировать вывод.

6.4 Определить коэффициент обратной передачи напряжения для режима: $U_{кб}=5В$, $I_{э}=200мА$.

6.5 Определить статическое сопротивление коллекторно-базового перехода транзистора в режиме: $U_{кб}=5В$, $I_{э}=120мА$.

6.6 Определить выходное сопротивление транзистора для источника синусоидального сигнала в режиме: $U_{кб}=5В$, $I_{э}=120мА$.

6.7 Сравнить результаты пунктов 6.5 и 6.6 и сформулировать вывод. Соотнести этот вывод логически с выводом, сделанным в пункте 6.3

6.8 Определить значение коэффициента передачи по току при $U_{кб}=5В$.

6.9 Определить значение выходной проводимости транзистора при $I_{э}=120мА$.

6.10 Определить значение мощности, рассеиваемой коллектором транзистора в режиме: $U_{кб}=12В$, $I_{э}=200мА$.

6.11 Если бы данный транзистор мы включили по схеме с общим эмиттером, то какие ориентировочные значения величин $h_{11э}$, $h_{12э}$, $h_{21э}$ и $h_{22э}$ мы бы получили? (Вычислить по приближенным формулам перевода.)

6.12 Какие недостатки присущи включению транзистора по схеме ОБ?

6.13 Какими достоинствами обладает включение транзистора по схеме ОБ?

6.14 Из выходных характеристик видно, что коллекторный ток почти не зависит от величины коллекторного напряжения. Хорошо это или плохо?

6.15 Почему коллекторный ток при включении по схеме с ОБ существует даже при отсутствии напряжения в коллекторной цепи? Объясните это явление.

Лабораторная работа №4

“Исследование статических характеристик биполярного транзистора включенного по схеме с ОЭ”

1. Цель работы

Лабораторная работа №4 выполняется для закрепления теоретических знаний студентов по теме “Усилительные свойства транзистора”, “Включение транзистора по схеме с ОЭ” содержит:

- исследование входных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ
- исследование выходных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ

2. Комплект аппаратуры.

При выполнении лабораторной работы №4 используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторный стенд
- радиатор с установленными на нем электронными приборами
- комплект соединительных проводов

3. Теоретический материал.

В схеме с общим эмиттером входным током $I_{вх}$ является ток базы I_b , выходной ток $I_{вых}$ – ток коллектора I_k , входное напряжение $U_{вх}$ – напряжение база-эмиттер $U_{бэ}$, выходное напряжение $U_{вых}$ – напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ}$.

Входная статическая характеристика отражает зависимость входного тока от выходного напряжения при постоянном напряжении на выходе.

$$I_b = f(U_{бэ}), U_{кэ} = \text{const}$$

Выходная статическая характеристика отражает зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном входном токе.

$$I_k = f(U_{кэ}), I_b = \text{const}$$

Снимая характеристики при разных постоянных значениях выходного напряжения, получим семейство входных характеристик. А снимая выходную характеристику, при разных входных токах, получим семейство выходных характеристик.

Транзистор можно представить как два диода, включенные навстречу друг другу. Эмиттерный переход это диод в прямом включении, поэтому входная характеристика подобна прямой характеристике диода.

Выходная характеристика состоит из двух участков с разной крутизной. Пока напряжение на коллекторе меньше чем на базе коллекторный переход смещен в прямом направлении и характеристика подобна прямой ветви ВАХ диода. Как только напряжение на коллекторе превышает базовое коллекторный переход смещается в обратном направлении и характеристика становится подобна обратной ветви ВАХ диода.

4. Методика выполнения работы.

4.1 Ознакомиться с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 14.

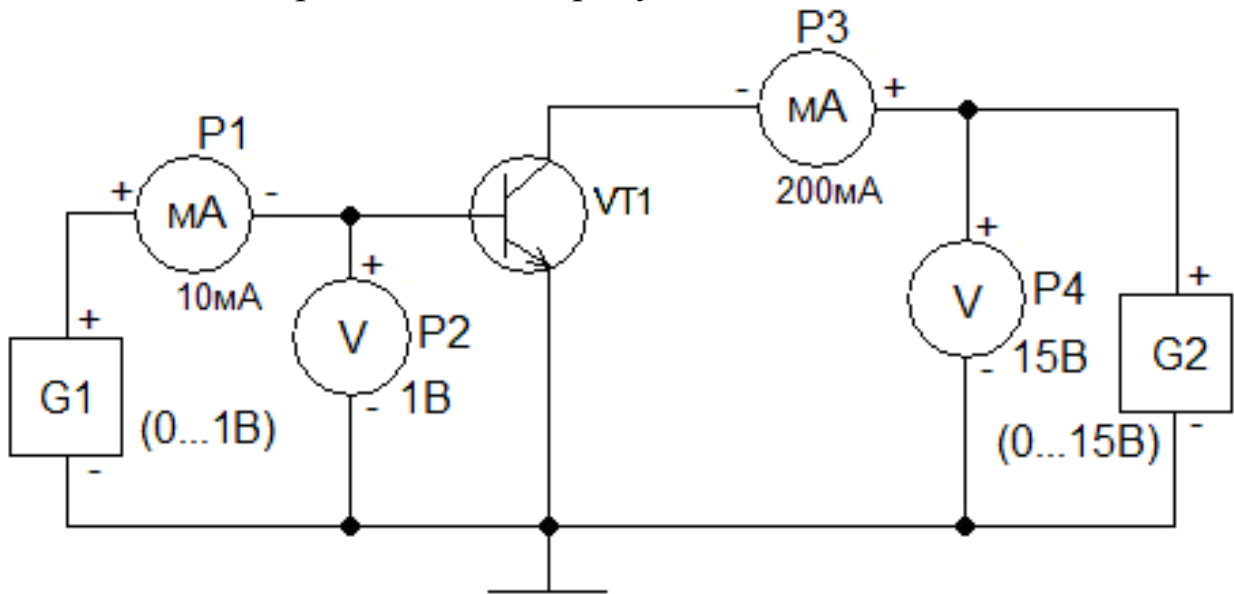


Рисунок 14. Схема включения биполярного транзистора ОЭ.

4.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек стенда.

Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать принципиальной схеме, изображенной на рисунке 14. После соединения предоставить для проверки преподавателю.

Внимание! Запрещается включение питания стенда без разрешения преподавателя!

4.4 Снять входные статические характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ. Они представляют собой зависимость тока базы I_b от напряжения между базой и эмиттером $U_{бэ}$, при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$. Измерять ток базы I_b следует по прибору Р1 в соответствии с таблицей 7, а напряжение на базе $U_{бэ}$ по прибору Р2. При снятии входных характеристик необходимо задавать ток базы I_b при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G1 и замерять напряжение между базой и эмиттером $U_{бэ}$. При этом необходимо поддерживать постоянным напряжением коллектор-база $U_{кб}$ при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G2 по вольтметру Р4 в соответствии с таблицей 7. Результаты измерений занести в таблицу 7.

Таблица 7

Условие	$I_b, \text{мА}$	0	0,5	1	2	3	4	5
$U_{кэ}=0\text{В}$	$U_{бэ}, \text{В}$							
$U_{кэ}=5\text{В}$	$U_{бэ}, \text{В}$							
$U_{кэ}=10\text{В}$	$U_{бэ}, \text{В}$							

4.5 Снять выходные статические характеристики биполярного транзистора во включении ОЭ. Они представляют собой зависимость тока коллектора I_k от напряжения между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$, при постоянном токе базы I_b . Напряжение коллектор-база $U_{кб}$ задается при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G2 и измеряется по вольтметру Р4. Ток коллектора I_k измеряется по прибору Р3 в соответствии с таблицей 8. При этом необходимо поддерживать постоянным входной ток базы I_b при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G1 по миллиамперметру Р1 в соответствии с таблицей 8. Результаты измерений занести в таблицу 8.

Таблица 8

Условие	$U_{кэ}, \text{В}$	0	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	12
$I_b=2\text{мА}$	$I_k, \text{мА}$											
$I_b=3\text{мА}$	$I_k, \text{мА}$											
$I_b=4\text{мА}$	$I_k, \text{мА}$											

4.6 Выключить стенд, установить все регуляторы в крайнее левое положение и предъявить преподавателю результаты эксперимента для проверки.

4.7 Разобрать электрическую схему. Прибрать рабочее место и сдать его преподавателю или лаборанту.

5. Указания по оформлению отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист
- цель работы
- исследуемую схему
- таблицы полученных результатов
- входную статическую характеристику транзистора включенного по схеме с ОЭ. При этом 1см графика должен соответствовать:
по оси $U_{бэ}$ - 0,1В
по оси $I_б$ - 0,5мА
- выходную статическую характеристику транзистора включенного по схеме с ОЭ. При этом 1см графика должен соответствовать:
по оси $U_{кэ}$ - 1В
по оси $I_к$ - 10 или 20мА
- выводы по проделанной работе.

6. Задание.

6.1 Определить статическое сопротивление участка база-эмиттер транзистора в режиме $U_{кэ}=5В$, $I_б=3мА$.

6.2 Определить входное сопротивление участка база-эмиттер транзистора в режиме $U_{кэ}=5В$, $I_б=3мА$.

6.3 Сравнить результаты пункта 6.1 с результатами пункта 6.2 и сформулировать вывод.

6.4 Определить коэффициент обратной передачи напряжения для режима $U_{кэ}=5В$, $I_б=5мА$.

6.5 Определить статическое сопротивление участка коллектор-эмиттер транзистора в режиме $U_{кэ}=5В$, $I_б=3мА$.

6.6 Определить входное сопротивление транзистора для источника синусоидального сигнала в режиме $U_{кэ}=5В$, $I_б=3мА$.

6.7 Сравнить результаты пункта 6.5 с результатами пункта 6.6 и сформулировать вывод. Соотнести логически этот вывод с выводом сделанным пункте 6.3.

6.8 Определить значения коэффициента усиления по току при $U_{кэ}=5В$.

6.9 Определить значение выходной проводимости транзистора при $I_6=3\text{мА}$.

6.10 Определить значение мощности рассеиваемой коллектором транзистора при $U_{кэ}=12\text{В}$, $I_6=5\text{мА}$.

6.11 Какие недостатки присущи включению транзистора по схеме ОЭ?

6.12 Какими достоинствами обладает включение транзистора по схеме ОЭ?

6.13 Почему при включении по схеме ОБ входная характеристика транзистора при увеличении коллекторного напряжения сдвигается влево, а при включении по схеме ОЭ вправо? Какой параметр изменяется при сдвиге характеристики и в какую сторону для каждого из включений?

Лабораторная работа №5 “Исследование полевого транзистора”

1. Цель работы

Лабораторная работа №5 выполняется для закрепления теоретических знаний студентов по теме “Принцип работы полевого транзистора” и содержит:

- исследование сток-затворных статических характеристик полевого транзистора
- исследование выходных статических характеристик полевого транзистора

2. Комплект аппаратуры.

При выполнении лабораторной работы №5 используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторный стенд
- радиатор с установленными на нем электронными приборами
- комплект соединительных проводов

3. Теоретический материал.

В лабораторной работе исследуется полевой транзистор с управляющим р-п-переходом, с каналом р-типа. Транзистор содержит один р-п-переход, смещенный в обратном направлении, поэтому входное сопротивление транзистора велико. При увеличении отрицательного напряжения на затворе относительно источника увеличивается ширина р-п-перехода, а сечение канала уменьшается. Сопротивление канала увеличивается, а ток стока уменьшается.

Эта зависимость отражается сток-затворной или управляющей характеристикой. Можно подобрать такое напряжение на затворе, при котором канал полностью перекроется и ток стока станет равным нулю. Это режим отсечки.

При увеличении напряжения на стоке, ток стока увеличивается и транзистор переходит в режим насыщения, когда ток остается постоянным. Эта зависимость отражается стоковой или выходной характеристикой.

Условно-графическое обозначение полевого транзистора с управляющим р-п-переходом изображено на рисунке 15.

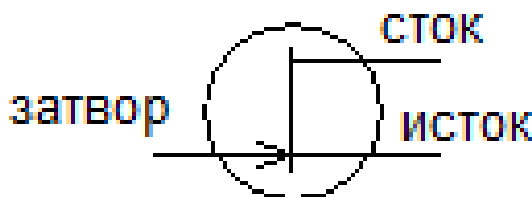


Рисунок 15. УГО полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.

4. Методика выполнения работы.

4.1 Ознакомиться с исследуемой схемой электрической принципиальной, приведенной на рисунке 16.

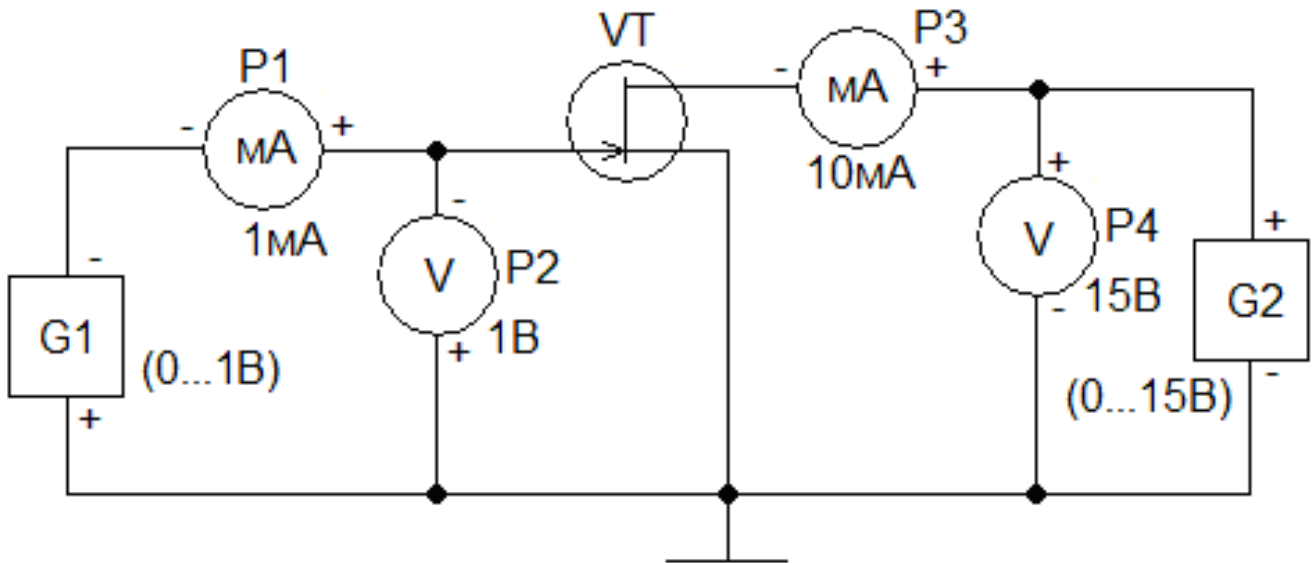


Рисунок 16. Схема включения полевого транзистора.

4.2 Проверить исходное состояние переключателей и ручек стенда. Они должны быть в следующих положениях:

- “Сеть” – отключено (положение “0”, индикатор при этом не светится)
- “+15В” – отключено
- “+1В” – отключено
- все потенциометры “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в крайнее левое положение

4.3 Собрать схему соединений. Схема должна соответствовать принципиальной схеме, изображенной на рисунке 16. После соединения предоставить для проверки преподавателю.

Внимание! Запрещается включение питания стенда без разрешения преподавателя!

4.4 Снять выходные статические характеристики. Они представляют собой зависимость тока стока I_c от напряжения между стоком и истоком $U_{си}$, при постоянном напряжении между затвором и истоком $U_{зи}$. Напряжение сток-исток $U_{си}$ задается по вольтметру P4 при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G2 в соответствии с таблицей 9. При изменении напряжения необходимо регистрировать ток стока I_c и ток затвора $I_з$ по миллиамперметрам P3 и P1 соответственно. При этом следует поддерживать постоянным напряжение затвор-исток $U_{зи}$ при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G1 по прибору P2 в соответствии с таблицей 9. Результаты занести в таблицу 9.

Таблица 9

Условие	$U_{си}, В$	0	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	12
$U_{зи}=0В$	$I_{с}, мА$											
	$I_{з}, мА$											
$U_{зи}=-0,5В$	$I_{с}, мА$											
$U_{зи}=-1В$	$I_{с}, мА$											

19

4.5 Снять сток-затворные статические характеристики. Они представляют собой зависимость тока стока I_c от напряжения между затвором и истоком $U_{зи}$, при постоянном напряжении между стоком и истоком $U_{си}$. Необходимо задавать напряжение между затвором и истоком $U_{зи}$ по вольтметру Р2 при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G1 в соответствии с таблицей 10. Ток стока I_c измеряется по миллиамперметру Р3. При этом необходимо поддерживать постоянным напряжение между стоком и истоком $U_{си}$ постоянным при помощи регуляторов “ГРУБО” и “ТОЧНО” источника G2 по вольтметру Р4 в соответствии с таблицей 10. Результаты измерений занести в таблицу 10.

Таблица 10

Условие	$U_{зи}, В$	0	-0,3	-0,5	-0,8	-1
$U_{си}=3В$	$I_{с}, мА$					
$U_{си}=6В$	$I_{с}, мА$					
$U_{си}=12В$	$I_{с}, мА$					

4.6 Выключить стенд, установить все регуляторы в крайнее левое положение и предъявить преподавателю результаты эксперимента для проверки.

4.7 Разобрать электрическую схему. Прибрать рабочее место и сдать его преподавателю или лаборанту.

5. Указания по оформлению отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист
- цель работы
- исследуемую схему
- таблицы полученных результатов

- построить семейство выходных статических характеристик полевого транзистора. При этом 1см графика должен соответствовать:
 - по оси $U_{си} - 1В$
 - по оси $I_c - 0,5мА$
- построить семейство управляющих характеристик. При этом 1см графика должен соответствовать:
 - по оси $U_{зи} - 0,25В$
 - по оси $I_c - 0,5мА$
- выводы по проделанной работе.

6. Задание.

6.1 Определить по выходным статическим характеристикам сопротивления полевого транзистора в режимах:

- $U_{си}=6В, U_{зи}=0В$
- $U_{си}=6В, U_{зи}=-1В$

Сравнить результаты вычислений и сформулировать вывод относительно изменения состояния транзистора при изменении $U_{зи}$.

6.2 Определить выходное сопротивление полевого транзистора для источника синусоидального сигнала в режиме: $U_{си}=6В, U_{зи}=-0,5В$. Определить, используя выходные характеристики.

6.3 Определить по выходным характеристикам крутизну управляющей характеристики при $U_{си}=6В$.

6.4 Вычислить статический коэффициент усиления по напряжению, пользуясь значениями, полученными в пунктах 6.2 и 6.3.

6.5 Определить по управляющим характеристикам крутизну управляющей характеристики при $U_{си}=6В$. Сравнить этот результат со значением, полученным в пункте 5.3.

6.6 Определить по управляющим характеристикам входное сопротивление полевого транзистора для источника синусоидального сигнала при $U_{зи}=-0,5В$. Сравнить этот результат с результатом, полученным в пункте 6.2.

6.7 Определить по управляющим характеристикам статический коэффициент усиления транзистора по напряжению. Сравнить его с результатом, полученным в пункте 6.4.

6.8 Какова будут реальные значения коэффициентов усиления по напряжению в усилителе на полевом транзисторе, если величина сопротивления стоковой нагрузки

– $R_H=5\text{кОм}$

– $R_H=10\text{кОм}$

Сравнить результаты вычислений и сформулировать вывод относительно зависимости коэффициента усиления напряжения от изменения величины сопротивления стоковой нагрузки.

6.9 Какой вывод относительно входного сопротивления полевого транзистора можно сделать в результате анализа данных таблицы 1?

6.10 Какими достоинствами обладает полевой транзистор по сравнению с биполярным?

6.11 Какие недостатки присущи полевому транзистору?

6.12 Какой тип проводимости канала и затвора имеет исследованный полевой транзистор?

Рекомендуемая литература

1. Горшков, “Электронная техника”, М., Академия, 2006г.
2. Б. С. Гершунский, “Основы электроники и микроэлектроники”, Киев, Высшая школа, 1989г.
3. Е. И. Манаев, “Основы радиоэлектроники”, Москва, Радио и связь, 1987г.
4. Ф. И. Вайсбурд, Г. А. Панаев, Б. Н. Савельев, “Электронные приборы и усилители”, Москва, Радио и связь, 1987г.
5. П. Хоровиц, У. Хилл, “Искусство схемотехники”, Москва, Мир, 1983г.
6. У. Титце, К. Шенк, “Полупроводниковая схемотехника”, Москва, Мир, 1982г.
7. “Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы”, под. Ред. С. В. Якубовского, Москва, Радио, 1985г.
8. Ю. А. Овечкин, “Микроэлектроника”, М., Радио и связь, 1982г.
9. А. Г. Алексенко, “Основы микроэлектроники”, М., Физматлит, 2002г.
10. В. И. Лачин, Н. С. Совелов, “Электроника”, Ростов на Дону, Феникс, 2002г.