

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Кафедра информатики и управления в технических системах

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
"Технические средства и элементная база
робототехнических систем "
для студентов направления подготовки
27.03.04 – Управление в технических системах



Севастополь
СевГУ
2019

УДК 621.382.3 (076)
ББК 32.8523.3я73
И88

Р е ц е н з е н т:

В.А. Карапетьян – доцент кафедры "Информатика и управление в технических системах", кандидат техн. наук, доцент

Составитель: А.Е. Осадченко

И66 Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов:
метод. указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине "Технические средства и элементная база робототехнических систем для студентов направления подготовки 27.03.04 – Управление в технических системах / Сост. А.Е. Осадченко. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 23 с.

В методических указаниях приводится описание лабораторной работы, целью которой является исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов с применением лабораторных стендов «Основы электроники-2».

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 27.03.04 Интеллектуальные робототехнические системы.

УДК 621.382.3 (076)
ББК 32.8523.3я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры "Информатика и управления в технических системах", протокол № 6 от 14 февраля 2019 г.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании ученого совета Института информационных технологий и управления в технических системах, протокол № 5 от 25 апреля 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2.1 БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР	4
2.2 ВАХ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА	7
2.3 ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	10
2.4 ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ.....	11
2.5 ВАХ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА	12
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.....	14
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	14
4. 1 СНЯТИЕ ВХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА	14
4. 2 СНЯТИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА	17
4. 3 СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МДП-ТРАНЗИСТОРА	18
5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	20
6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	21
7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ РАБОТЫ.....	21
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	22
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	23

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование характеристик биполярного и полевого транзисторов.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Биполярный транзистор

Биполярный транзистор является одним из основных активных элементов твердотельной электроники. Он широко применяется в цифровых и аналоговых радиоэлектронных устройствах генерации и усиления сигналов, а также в качестве электронного ключа в импульсных схемах.

Определение «биполярный» указывает на то, что работа транзистора основана на процессах, в которых принимают участие носители зарядов обоих знаков (электроны и дырки). Название «транзистор» произошло от английского словосочетания «transfer resistor» - преобразуемое (трансформируемое) сопротивление.

Структурно биполярный транзистор представляет собой полупроводниковый прибор, состоящий из трёх областей чередующегося типа электропроводности, которые создаются двумя токосвязанными p - n переходами в непосредственной близости один от другого (толщина базы значительно меньше диффузионной длины неравновесных носителей заряда) [1, с. 26]. Различают p - n - p и n - p - n транзисторы.

На рис.1, изображена структура биполярного p - n - p транзистора, его условное обозначение на схемах и схема замещения. Транзистор можно представить как два последовательно соединенных полупроводниковых диода, включенных встречно.

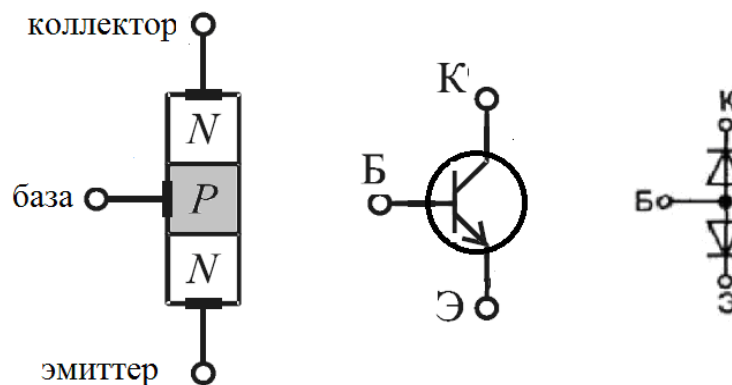
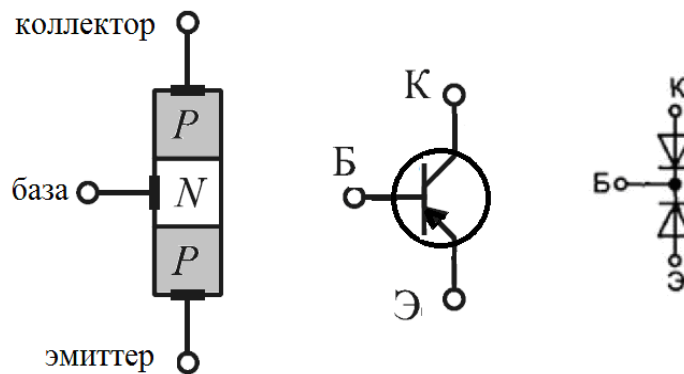


Рис. 1. Биполярный p - n - p транзистор

На рис. 2 изображена структура биполярного p - n - p -транзистора, изображение на схемах и его схема замещения.

Рис. 2. Биполярный $p-n-p$ -транзистор

Центральная область транзистора, называемая базой, заключена между коллектором и эмиттером. Толщина базы мала и не превышает нескольких микрон. Переход между базой и эмиттером называется база-эмиттерным, а между базой и коллектором – база-коллекторным.

Симметричные структуры биполярных транзисторов, показанные на рис.1 и рис.2, являются идеальными. У реальных транзисторов площади обоих переходов существенно различаются. Это различие проиллюстрировано на рис. 3. переход n_1-p имеет гораздо меньшую площадь, чем n_2-p . Кроме того, у большинства транзисторов один из крайних слоев (а именно, слой с меньшей площадью — n_1) легирован гораздо сильнее, чем второй (n_2). Таким образом, транзистор является асимметричным прибором.

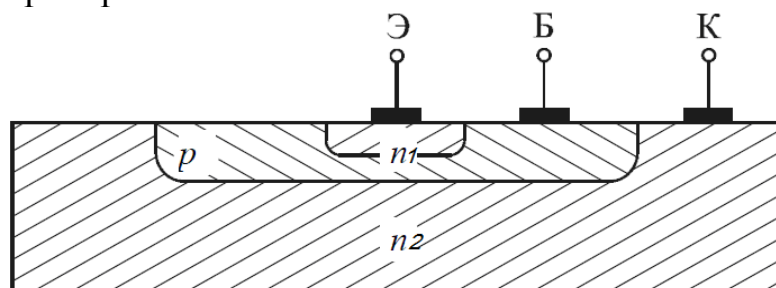
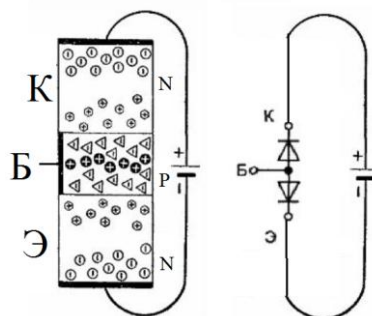


Рис. 3. Структура реального транзистора

Рассмотрим работу $n-p-n$ транзистора. При включении источника тока, как показано на рис. 4, переход эмиттер – база ($n-p$) находится в открытом состоянии, переход коллектор – база находится в закрытом состоянии. Ток через транзистор очень мал и обусловлен тепловым током через закрытый $p-n$ переход.

Рис. 4. Работа $n-p-n$ транзистора

Этот ток называется начальным током или током насыщения. Последнее название вызвано тем, что в образовании этого тока участвуют всех свободные электроны, способные при данной температуре преодолеть потенциальный барьер. По этой причине он мало зависит от внешнего напряжения, но сильно зависит от температуры. Если подать на базу относительно эмиттера некоторое небольшое напряжение в прямом направлении (рис. 5), то возникнет ток через Б-Э переход [2, с. 23].

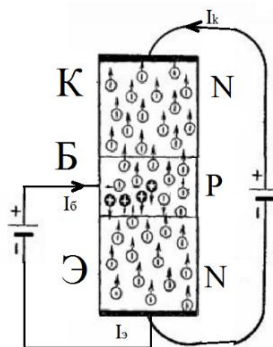


Рис. 5. Токи через транзистор

Под действием эмиттерного тока электроны попадают в базу с проводимостью p из эмиттера с проводимостью n . При этом часть электронов заполняют дырки, находящиеся в области базы и через базовый вывод протекает ток базы I_B . Так как база очень тонкая, электрическое поле коллектора, создаваемое потенциалом коллекторного источника питания, будет вытягивать большинство электронов в коллектор. Таким образом, почти все заряды, входящие через эмиттер, будут выходить через коллектор, а ток через вывод базы I_B будет намного меньше коллекторного тока I_K .

Следовательно, небольшое напряжение, приложенное к переходу база – эмиттер, способствует открыванию перехода база – коллектор, смещенному в обратном направлении. В этом состоит принцип работы биполярного транзистора.

Транзистор p - n - p работает аналогично при изменении полярности источников питания.

Токи транзистора, связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} I_K &= \alpha I_E, \\ I_K &= I_E + I_B. \end{aligned} \quad (1)$$

Множитель α называют коэффициентом передачи тока эмиттера. У современных транзисторов $\alpha = 0.98$ – 0.997 .

Из равенств (1) следует, что

$$I_K = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B = \beta I_B. \quad (2)$$

Множитель β называют **коэффициентом усиления тока базы**. Так как величина α близка к 1, то β может принимать большие значения. Для кремниевых n - p - n транзисторов коэффициент усиления тока базы может достигать $5 \cdot 10^2$.

2.2. ВАХ биполярного транзистора

Рассмотрим транзистор, включенный по схеме, представленной на рис. 6.

Эта схема получила название «схема с общим эмиттером» (ОЭ), так как эмиттер является общим во входной и выходной цепях [2, с. 92].

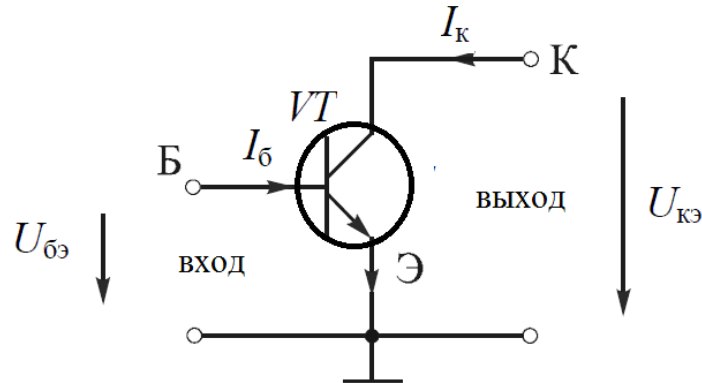


Рис. 6. Схема с общим эмиттером

Входными величинами являются напряжение база-эмиттер $U_{бэ}$ и ток базы $I_{б}$, а выходными – напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ и ток коллектора $I_{к}$.

Входная характеристика биполярного транзистора – это зависимость тока базы $I_{б}$ от напряжения база-эмиттер $U_{бэ}$ при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер $U_{кэ}$: $I_{б} = f(U_{бэ})$ $U_{кэ} = \text{const}$.

Если $U_{кэ} = 0$ то поскольку база-эмиттерный переход смещён в прямом направлении - входная характеристика похожа на прямую ветвь ВАХ диода (рис. 7).

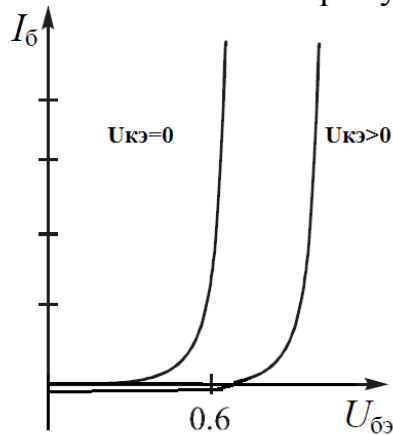


Рис. 7. Входная характеристика биполярного транзистора

При этом ток эмиттера и напряжение база-эмиттер связаны экспоненциальной зависимостью, описывающей вольтамперную характеристику диода, смещенного в прямом направлении

$$I_{э} = I_{э0} e^{U_{бэ} / \varphi_T}, \quad (3)$$

где $I_{э0}$ — обратный ток база-эмиттерного перехода, φ_T — температурный потенциал.

При $U_{кэ} > 0$ возникает тепловой ток через закрытый база-коллекторный переход, который направлен встречно $I_{б}$, что вызывает смещение входной характеристики транзистора вправо и вниз.

Учитывая (1), получаем связь между током коллектора и напряжением база-эмиттер

$$I_K = \alpha I_{Э0} e^{U_{БЭ} / \varphi_T} \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что в активном режиме ток коллектора зависит от напряжения $U_{БЭ}$ и не должен зависеть от $U_{КЭ}$.

По входной характеристике можно рассчитать дифференциальное сопротивление база-эмиттерного перехода $r_b = \Delta U_b / \Delta I_b$, величина которого существенно зависит от I_b .

Выходная характеристика биполярного транзистора показана на рис. 8.

Зависимость тока коллектора от напряжения между базой и эмиттером снимается при фиксированных токах базы.

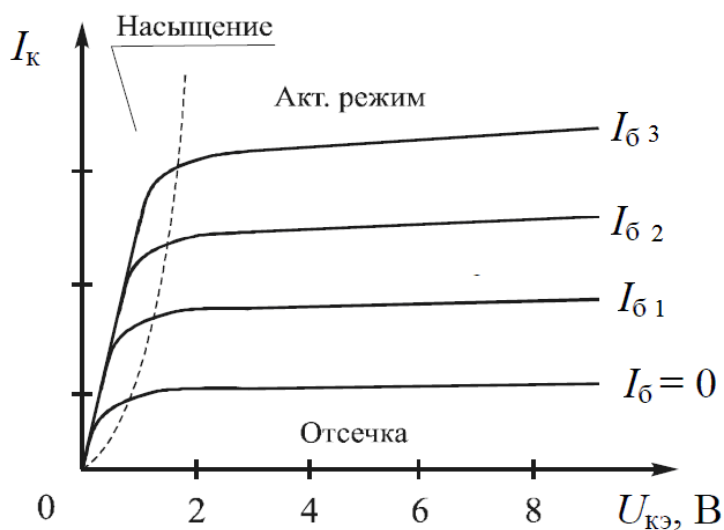


Рис. 8. Выходная характеристика биполярного транзистора

В активном режиме ток коллектора практически не зависит от напряжения на коллекторе, так как практически все заряды, выходящие из эмиттера, попадают в коллектор — ток коллектора в основном зависит от тока базы.

Незначительный наклон выходных характеристик связан с уменьшением толщины базы при росте $U_{КЭ}$, что в свою очередь уменьшает количество рекомбинаций зарядов в базе и соответственно ток через база-эмиттерный переход.

Область отсечки лежит ниже кривой $I_b = 0$. В области насыщения величина напряжения $U_{КЭ}$ столь мала, что становится недостаточной для создания обратного смещения на коллекторном переходе. В режиме насыщения ток коллектора не зависит от тока базы, и все ветви выходной характеристики сливаются в одну.

На рис. 9 показана характеристика прямой передачи транзистора по току, для схемы с общим эмиттером, которая представляет собой связь между входным и выходным токами при $U_{КЭ} = \text{const}$.

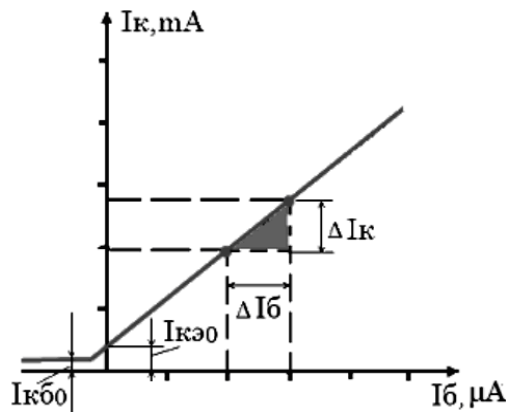


Рис. 9. Характеристика прямой передачи транзистора по току

По характеристике прямой передачи транзистора по току можно определить коэффициент передачи по току $\beta = \Delta I_K / \Delta I_B$ в схеме с ОЭ.

Сопротивление обратносмещенного коллекторного перехода очень велико — несколько мегом и более. Поэтому в цепь коллектора можно включать весьма большие сопротивления нагрузки, не изменяя величину коллекторного тока. Соответственно в цепи нагрузки может выделяться значительная мощность. Сопротивление прямосмещенного эмиттерного перехода, напротив, весьма мало (например, при токе 1 мА оно составляет всего 25 Ом). Поэтому при почти одинаковых токах мощность, потребляемая в цепи эмиттера, оказывается несравненно меньше, чем мощность, выделяемая в цепи нагрузки. Следовательно, транзистор способен усиливать мощность, т.е. является усилительным прибором [1, с. 29].

Для использования биполярного транзистора в качестве усилителя в цепь коллектора подключается сопротивление R_K (рис. 10), величина напряжения на котором зависит от тока коллектора $U_{R_K} = I_K R_K$.

Выходное напряжение усилителя $U_{ВЫХ} = U_{КЭ} = E_K - I_K R_K$.

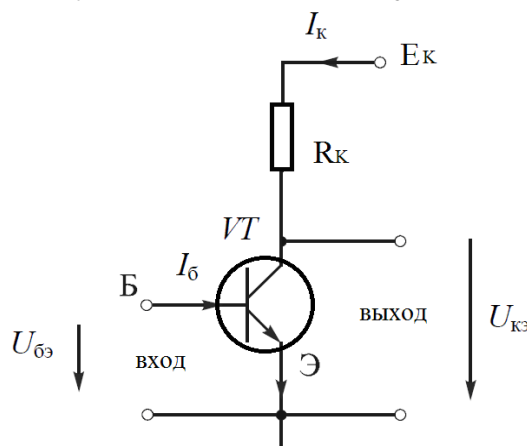


Рис. 10. Усилитель на биполярном транзисторе

Для обеспечения работы усилителя в линейном режиме необходимо выбрать начальную рабочую точку на выходной характеристике, при помощи построения нагрузочной прямой. Нагрузочная прямая проводится через точки E_K/R_K на оси коллекторных токов и E_K на оси коллекторных напряжений.

Точки пересечений нагрузочной прямой с выходными характеристиками показывают выходные напряжения $U_{вых} = U_{кэ}$ при различных токах базы (рис. 11).



Рис. 11. Выбор начальной рабочей точки

Обычно начальная рабочая точка выбирается посередине отрезка нагрузочной прямой между областью насыщения и областью отсечки, что позволяет получить максимальную амплитуду изменений $U_{вых}$.

После выбора начальной рабочей точки по выходной характеристике можно определить начальный ток базы $I_{б\text{нач}}$, по которому при помощи входной характеристики найти начальную величину $U_{бэ}$.

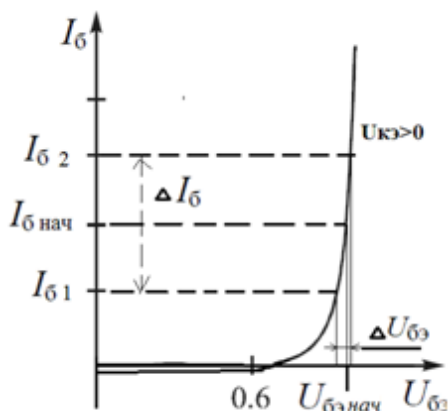


Рис. 12. Выбор начального напряжения $U_{бэ}$

Для установки начальной рабочей точки обычно используют источник питания E_K и делитель напряжения. Следует учитывать, что входные характеристики существенно зависят от температуры р-п перехода, при ее изменении начальная рабочая точка может сдвигаться. Необходимо принимать меры по температурной стабилизации рабочей точки.

Коэффициент усиления по напряжению в схеме, показанной на рис.10 можно определить по формуле $K_U = \Delta U_{кэ} / \Delta U_{бэ}$, коэффициент усиления по току по формуле $K_I = \Delta I_K / \Delta I_б$.

2.3. Полевые транзисторы

Полевой транзистор (рис. 13) представляет собой кристалл полупроводника, очень слабо легированного примесью (на рисунке - акцепторной), что обуславливает его малую проводимость (в данном случае р-типа). В кристалле создана область с противоположной проводимостью, образующая с основной частью кри-

сталла p-n переход. От противоположных концов области сделаны выводы: исток (И) и сток (С). От p-области третий вывод-затвор (З).

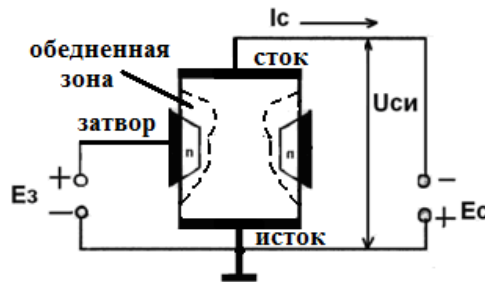


Рис. 13. Полевой транзистор с p-n переходом

Если напряжение на затворе относительно истока $U_{зи}=0$, вблизи p-n перехода образуется обедненная зона (её граница в p-области показана штриховой линией). При подаче на сток напряжения относительно истока через область пойдет ток. В обедненной зоне основные носители отсутствуют, поэтому проводящим будет канал в p-области сечением, лежащий за пределами обедненной зоны.

Из теории p-n перехода известно, что приложение к нему обратного (запирающего) напряжения приводит к расширению обедненной зоны и, следовательно, к уменьшению проводящего сечения канала. Его сопротивление возрастает, ток уменьшается [1, с. 37]. При увеличении до некоторого $U_{зи}$ называемого напряжением отсечки, проводящее сечение станет равным нулю, ток практически прекратится. Таким образом, изменяя $U_{зи}$ можно управлять I_c .

Подача прямого напряжения на p-n переход полевого транзистора не применяется, так как при прямых $U_{зи} > 0,1$ В, возникает значительный ток затвора и транзистор выходит из строя.

Полевой транзистор с p-n переходом работает при обратном напряжении, поэтому ток затвора чрезвычайно мал (порядка 10 нА), а входное сопротивление, в отличие от биполярных транзисторов, очень велико.

Полевые транзисторы могут быть как с p-каналом, так и с n-каналом. Для последних, полярность питающих напряжений — противоположная. Условные обозначения на принципиальных схемах показаны на рис. 14.

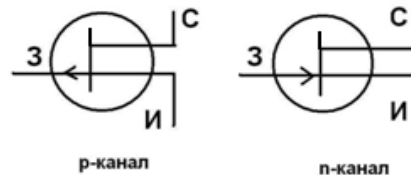


Рис. 14. Условные обозначения полевых транзисторов с p-n переходом

2.4. Полевые транзисторы с изолированным затвором

Полевой транзистор с изолированным затвором — это транзистор, затвор которого электрически изолирован от канала полупроводника слоем диэлектрика. Благодаря этому, у транзистора очень высокое входное сопротивление (у некоторых моделей оно достигает 10^{17} Ом).

В соответствии со своей физической структурой, полевой транзистор с изолированным затвором носит название МОП-транзистор (Металл-Оксид-Полупроводник), или МДП-транзистор (Металл-Диэлектрик-Полупроводник). Международное название прибора – MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor).

МДП-транзисторы делятся на два типа – со встроенным каналом и с индуцированным каналом[1, с. 38]. В каждом из типов есть транзисторы с n-каналом и p-каналом. На рис. 15 показано устройство МДП-транзистора с индуцированным каналом.

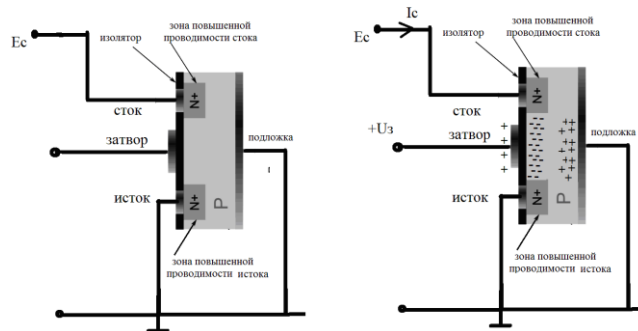


Рис. 15. МДП-транзистор с индуцированным каналом

При подключении напряжения между стоком и истоком ток через канал не проходит, поскольку между зонами n^+ находится область p , не пропускающая электроны. Если подать на затвор положительное напряжение относительно истока $U_{зи}$, возникнет электрическое поле, выталкивающее положительные ионы (дырки) из зоны p в сторону подложки. В результате под затвором концентрация дырок начнет уменьшаться, и их место займут электроны, притягиваемые положительным напряжением на затворе.

Когда $U_{зи}$ достигнет своего порогового значения, концентрация электронов в области затвора превысит концентрацию дырок и между стоком и истоком сформируется канал с электропроводностью n -типа, по которому пойдет ток $I_{си}$. Чем выше напряжение на затворе транзистора $U_{зи}$, тем шире канал и, следовательно, больше сила тока. Такой режим работы полевого транзистора называется режимом обогащения.

2.5. ВАХ полевого транзистора

Выходные характеристики полевого транзистора с изолированным затвором показаны на рис.16.

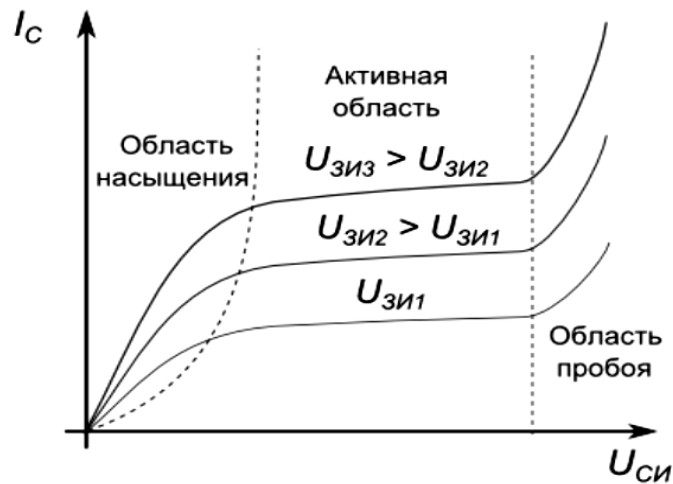


Рис. 16. Выходные характеристики МДП-транзистора

С увеличением напряжения $U_{си}$ ток стока I_c растет прямо пропорционально росту напряжения $U_{си}$. Этот участок называют **область насыщения** (канал транзистора насыщается носителями заряда). По достижении некоторого напряжения на стоке электрическое поле стока начинает противодействовать полю затвора и ширина канала уменьшается. При этом с ростом $U_{си}$ ток стока практически не возрастает. Этот участок называют **активная область**.

При достижении $U_{си}$ порогового значения (**область пробоя** p-n перехода), структура полупроводника разрушается, и транзистор превращается в обычный проводник. Данный процесс необратим, и транзистор приходит в негодность.

Входная сток-затворная характеристика МДП-транзистора с индуцированным затвором приведена на рис. 17.

Если $U_z < U_{порог}$ транзистор закрыт и ток стока очень мал. По достижении $U_{порог}$ транзистор переходит в открытое состояние.

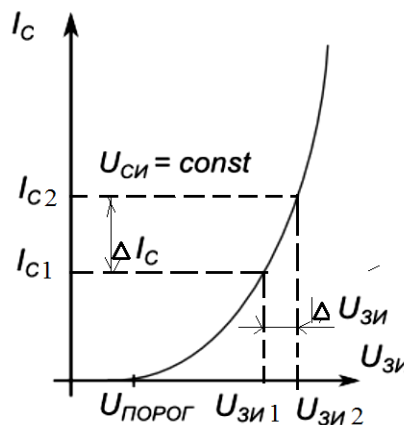


Рис. 17. Сток-затворная характеристика МДП-транзистора

Усилительные свойства полевого транзистора можно характеризовать крутизной проходной характеристики, которая вычисляется по формуле $S = \Delta I_{ст} / \Delta U_{зи}$ при $U_{си} = Const$.

При использовании полевого транзистора в усилителе необходимо выбрать начальную рабочую точку и определить начальное напряжение затвора.

На рис. 18 показана схема усилителя на МДП-транзисторе с общим истоком.

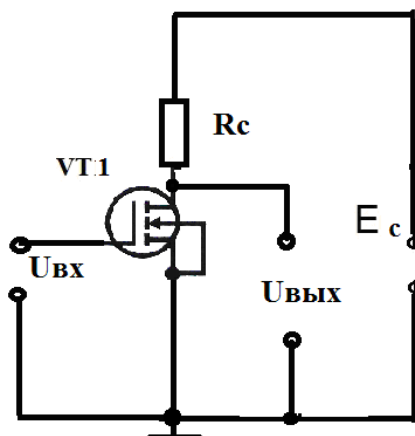


Рис. 18. Усилитель на биполярном транзисторе

Выбор начальной рабочей точки показан на рис. 19. Нагрузочная прямая проводится через точки E_c/R_c на оси коллекторных токов и E_c на оси коллекторных напряжений. Начальная точка выбирается на середине прямой.

Точки пересечений нагрузочной прямой с выходными характеристиками показывают выходные напряжения $U_{вых} = U_{си}$ при различных напряжениях на затворе. Коэффициент усиления по напряжению $K_U = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи}$.

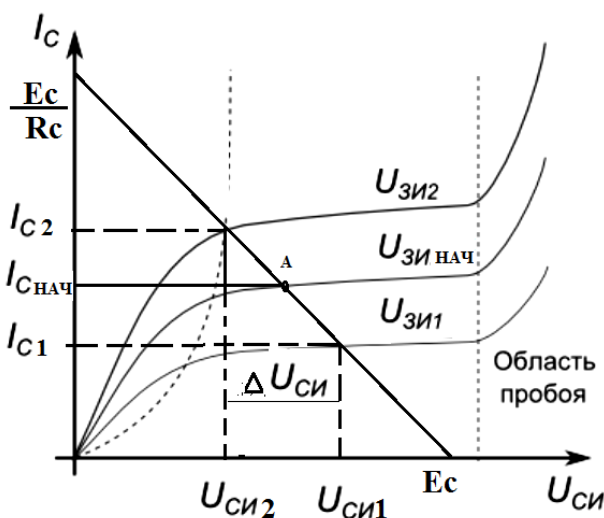


Рис. 19. Выбор начальной рабочей точки

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Модуль **ТРАНЗИСТОРЫ**, модуль **МУЛЬТИМЕТРЫ** и модуль **МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ** на стендах **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ – 2**.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Снятие входной характеристики транзистора

Снятие входной характеристики транзистора производится по схеме, показанной на рис. 20.

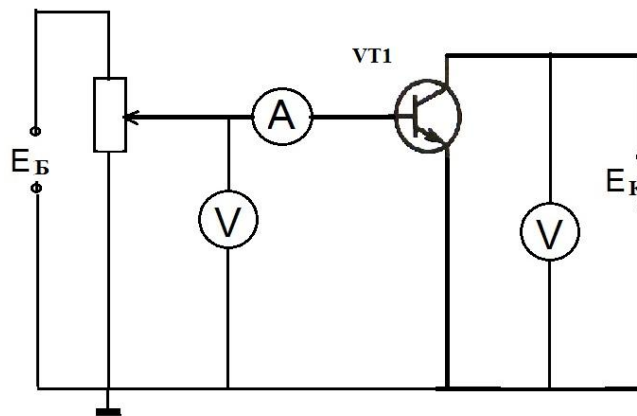


Рис. 20. Схема снятия входной характеристики биполярного транзистора

Для выполнения работы необходимо осуществить следующие действия:

1. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВЫКЛЮЧЕНО**. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** выключить питание.
2. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** извлечь из гнезд все перемычки (рис. 21).

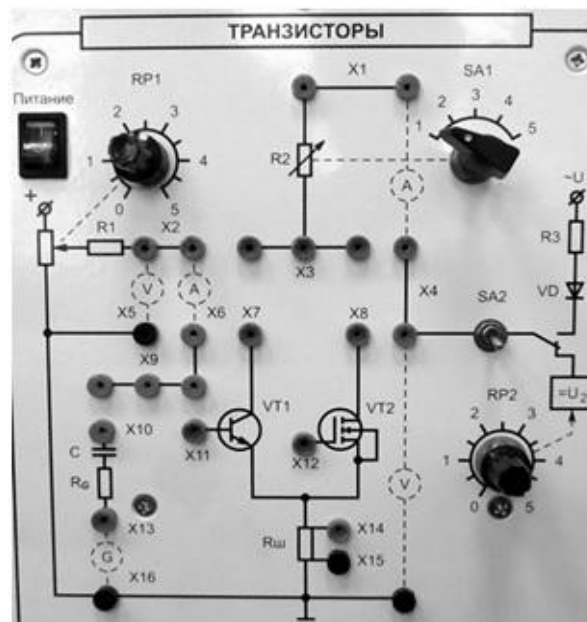


Рис. 21. Вид модуля **ТРАНЗИСТОРЫ** перед началом работы

3. Установить рычаг переключателя **SA2** в нижнее положение (**=U₂**).
4. Ручку потенциометра **RP1** повернуть против часовой стрелки до упора.
5. Ручку потенциометра **RP2** повернуть против часовой стрелки до упора.
6. На модуле **МУЛЬТИМЕТРЫ** установить переключатели режима измерения для левого и правого мультиметров в положение **постоянное напряжение 20 В** (рис. 22).



Рис. 22. Вид модуля **МУЛЬТИМЕТРЫ** перед началом работы

7. На модуле **МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ** установить переключатели масштаба измерения для левого прибора $\times 1$ для правого прибора $\times 100$ (предел измерений токов 100 мкА и 10 мА соответственно - рис. 23).



Рис. 23. Вид модуля **МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ** перед началом работы

8. Черный щуп левого мультиметра вставить в гнездо разъема **X5**.
9. Красный щуп левого мультиметра вставить гнездо разъема **X9**.
10. Красный щуп правого мультиметра вставить гнездо разъема **X4**.
11. Черный щуп правого мультиметра вставить в гнездо разъема **X15**.
12. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X4** и **X7**.
13. Соединить перемычкой гнездо + левого миллиамперметра с гнездом **X2**.
14. Соединить перемычкой гнездо - левого миллиамперметра с гнездом **X6**.
15. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X6** и **X11**.
16. Соединить перемычкой с конденсатором гнезда разъемов **X7** и **X16**.
17. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВКЛЮЧЕНО**.
18. Включить питание модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.
19. Поворачивая ручку потенциометра **RP2** по часовой стрелке установить напряжение на коллекторе транзистора $E_K = 3В$ (показания правого мультиметра).

20. Поворачивая ручку потенциометра RP1 по часовой стрелке изменять напряжение на базе транзистора. Наблюдая показания левого мультиметра и левого миллиамперметра занести в таблицу 1 величины токов базы при различных напряжениях на ней.

Таблица 1 - Сила тока через базу при различных напряжениях на ней.

U _б , В	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I _б , мкА, E _к =3В	0								

4.2. Снятие выходных характеристик транзистора

Снятие выходных характеристик транзистора производится по схеме показанной на рис. 24.

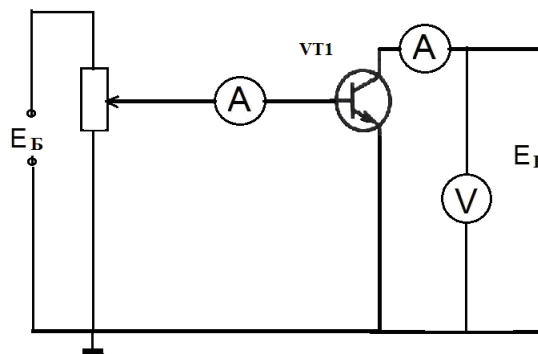


Рис. 24. Схема снятия выходных характеристик транзистора

Для выполнения работы необходимо осуществить следующие действия:

1. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВЫКЛЮЧЕНО**. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** выключить питание.
2. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** извлечь из гнезд все перемычки (рис. 21).
3. Установить рычаг переключателя SA2 в нижнее положение ($=U_2$).
4. Ручку потенциометра **RP1** повернуть против часовой стрелки до упора.
5. Ручку потенциометра **RP2** повернуть против часовой стрелки до упора.
6. На модуле **МУЛЬТИМЕТРЫ** установить переключатели режима измерения для левого и правого мультиметров в положение **постоянное напряжение 20 В** (рис. 22).
7. На модуле **МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ** установить переключатели масштаба измерения для левого прибора **x1** для правого прибора **x100** (предел измерений токов 100 мкА и 10 мА соответственно - рис. 23).
8. Красный щуп правого мультиметра вставить гнездо разъема **X4**.
9. Черный щуп правого мультиметра вставить в гнездо разъема **X15**.
10. Соединить перемычкой гнездо + левого миллиамперметра с гнездом **X2**.
11. Соединить перемычкой гнездо - левого миллиамперметра с гнездом **X11**.
12. Соединить перемычкой гнездо + правого миллиамперметра с гнездом **X4**.
13. Соединить перемычкой гнездо- правого миллиамперметра с гнездом **X7**.
14. Соединить перемычкой с конденсатором гнезда разъемов **X7** и **X16**.
15. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВКЛЮЧЕНО**.

16. Включить питание модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.

17. Поворачивая ручку потенциометра RP1 по часовой стрелке, изменяем напряжение на базе транзистора. Наблюдая показания левого миллиамперметра установить ток базы I_b равным 10 мкА.

18. Поворачивая ручку потенциометра RP2 по часовой стрелке, изменять напряжение на коллекторе транзистора E_k (правый мультиметр) и заносить величину тока коллектора I_k (правый миллиамперметр) в таблицу 2.

19. Поворачивая ручку потенциометра RP1 по часовой стрелке, изменяем напряжение на базе транзистора. Наблюдая показания левого миллиамперметра установить ток базы равным 15 мкА.

20. Поворачивая ручку потенциометра RP2 по часовой стрелке, изменять напряжение на коллекторе транзистора E_k (правый мультиметр) и заносить величину тока коллектора I_k (правый миллиамперметр) в таблицу 2.

20. Поворачивая ручку потенциометра RP1 по часовой стрелке, изменяем напряжение на базе транзистора. Наблюдая показания левого миллиамперметра установить ток базы равным 20 мкА.

21. Поворачивая ручку потенциометра RP2 по часовой стрелке, изменять напряжение на коллекторе транзистора E_k (правый мультиметр) и заносить величину тока коллектора I_k (правый миллиамперметр) в таблицу 2.

Таблица 2 - Сила тока коллектора при различных напряжениях на нём

	$E_k, В$	0	2	4	6	8	10	11
$I_b=10\text{мкА}$	$I_k, \text{мА}$	0						
$I_b=15\text{мкА}$		0						
$I_b=20\text{мкА}$		0						
$I_b=25\text{мкА}$		0						

22. Поворачивая ручку потенциометра RP2, установить напряжение на коллекторе транзистора $E_k = 3 В$ (правый мультиметр).

23. Поворачивая ручку потенциометра RP1, изменять ток базы транзистора I_b с шагом 5 мкА (левый миллиамперметр) и заносить в таблицу 3 величины токов коллектора I_k (правый миллиамперметр).

При изменении тока базы транзистора I_b напряжение на коллекторе транзистора E_k может изменяться, поэтому его необходимо поддерживать при помощи потенциометра RP2.

24. Поворачивая ручку потенциометра RP2, установить напряжение на коллекторе транзистора $E_k = 6 В$ (правый мультиметр).

25. Поворачивая ручку потенциометра RP1, изменять ток базы транзистора с шагом 5 мкА (левый миллиамперметр) и заносить в таблицу 3 величины токов коллектора I_k (правый миллиамперметр).

Таблица 3 - Сила тока коллектора при различных токах базы

	$I_b, \text{мкА}$	0	5	10	15	20	25
$E_k = 3В$	$I_k, \text{мА}$	0					
$E_k = 6В$		0					

4.3. Снятие характеристик мдп-транзистора

Снятие выходных характеристик транзистора производится по схеме, показанной на рис. 25.

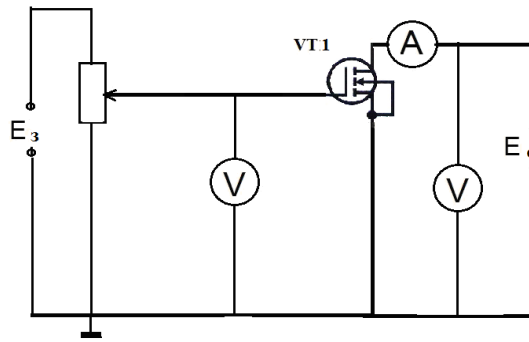


Рис. 25. Схема снятия выходных характеристик МДП-транзистора

Для выполнения работы необходимо осуществить следующие действия:

1. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВЫКЛЮЧЕНО**. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** выключить питание.
2. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** извлечь из гнезд все перемычки (рис. 21).
3. Установить рычаг переключателя SA2 в нижнее положение ($=U_2$).
4. Ручку потенциометра **RP1** повернуть против часовой стрелки до упора.
5. Ручку потенциометра **RP2** повернуть против часовой стрелки до упора.
6. На модуле **МУЛЬТИМЕТРЫ** установить переключатели режима измерения для левого и правого мультиметров в положение **постоянное напряжение 20 В** (рис. 22).
7. На модуле **МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ** установить переключатели масштаба измерения для левого прибора **x1** для правого прибора **x100** (предел измерений токов 100 мкА и 10 мА соответственно - рис. 23).
8. Красный щуп правого мультиметра вставить гнездо разъема **X4**.
9. Черный щуп правого мультиметра вставить в гнездо разъема **X15**.
10. Красный щуп левого мультиметра вставить в гнездо разъема **X2**.
11. Черный щуп левого мультиметра вставить в гнездо разъема **X5**.
12. Соединить перемычкой гнездо + правого миллиамперметра с гнездом **X4**.
13. Соединить перемычкой гнездо- правого миллиамперметра с гнездом **X8**.
14. Соединить перемычкой гнездо **X12** с гнездом **X2**.
15. Соединить перемычкой с конденсатором гнезда разъемов **X8** и **X16**.
16. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВКЛЮЧЕНО**. Включить питание модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.
17. Поворачивая ручку потенциометра **RP1** по часовой стрелке, устанавливаем напряжение на затворе транзистора $U_3=2,0$ В (левый мультиметр).
18. Поворачивая ручку потенциометра **RP2** по часовой стрелке, изменять напряжение на стоке транзистора E_c (правый мультиметр) и заносить величину тока стока I_c (правый миллиамперметр) в таблицу 4.
19. Поворачивая ручку потенциометра **RP1** по часовой стрелке, устанавливаем напряжение на затворе транзистора $U_3=2,2$ В (левый мультиметр).
20. Поворачивая ручку потенциометра **RP2** по часовой стрелке, изменять напряжение на стоке транзистора E_c (правый мультиметр) и заносить величину тока стока I_c (правый миллиамперметр) в таблицу 4.

21. Поворачивая ручку потенциометра RP1 по часовой стрелке, устанавливаем напряжение на затворе транзистора $U_3=2,4$ В (левый мультиметр).

22. Поворачивая ручку потенциометра RP2 по часовой стрелке, изменять напряжение на стоке транзистора E_c (правый мультиметр) и заносить величину тока стока I_c (правый миллиамперметр) в таблицу 4.

23. Поворачивая ручку потенциометра RP1 по часовой стрелке, устанавливаем напряжение на затворе транзистора $U_3=2,6$ В (левый мультиметр).

24. Поворачивая ручку потенциометра RP2 по часовой стрелке, изменять напряжение на стоке транзистора E_c (правый мультиметр) и заносить величину тока стока I_c (правый миллиамперметр) в таблицу 4.

Таблица 4 - Сила тока стока при различных напряжениях на нём

	E_c , В	0	2	4	6	8	10	11
$U_3=2,0$ В	I_c , мА	0						
$U_3=2,2$ В		0						
$U_3=2,4$ В		0						
$U_3=2,6$ В		0						

25. Поворачивая ручку потенциометра RP2, установить напряжение на стоке транзистора $E_c = 3$ В (правый мультиметр).

26. Поворачивая ручку потенциометра RP1, изменять напряжение на затворе транзистора U_3 в соответствии с таблицей 5 (левый мультиметр) и заносить в таблицу 5 величины тока стока I_c (правый миллиамперметр).

27. Поворачивая ручку потенциометра RP2, установить напряжение на стоке транзистора $E_c = 6$ В (правый мультиметр).

28. Поворачивая ручку потенциометра RP1, изменять напряжение на затворе транзистора U_3 в соответствии с таблицей 5 (левый мультиметр) и заносить в таблицу 5 величины тока стока I_c (правый миллиамперметр).

Таблица 5 - Сила тока стока при различных напряжениях на затворе

	U_3 , В	0	2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$E_c = 3$ В	I_c ,	0									
$E_c = 6$ В	мА	0									

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Используя данные таблицы 1, построить входную характеристику биполярного транзистора.

2. Рассчитать величину дифференциального сопротивления база-эмиттерного перехода для своего варианта I_6 (Приложение А).

3. Сделать выводы.

4. Используя данные таблицы 2, построить семейство выходных характеристик биполярного транзистора.

5. Построить на графике выходных характеристик нагрузочную прямую для своего варианта E_k и R_k (Приложение А).

6. Выбрать рабочую точку посередине нагрузочной прямой и определить начальный ток базы.

7. Рассчитать рассеиваемую мощность на коллекторном переходе транзистора и на R_k в рабочей точке.

8. Используя входную характеристику, определить начальное напряжение базы $U_{бэ}$.
9. Рассчитать коэффициенты усиления по напряжению и по току для своего варианта E_k и R_k .
10. Используя данные таблицы 3, построить характеристику прямой передачи по току.
11. Рассчитать коэффициент передачи транзистора по току β для своего варианта I_b (Приложение А).
12. Сделать выводы.
13. Используя данные таблицы 4, построить семейство выходных характеристик полевого транзистора.
14. Построить на графике выходных характеристик нагрузочную прямую для своего варианта E_k и R_k (Приложение А).
15. Выбрать рабочую точку посередине нагрузочной прямой и определить начальное напряжения затвора U_z .
16. Рассчитать рассеиваемую мощность на канале транзистора и на R_c в рабочей точке.
17. Рассчитать коэффициент усиления по напряжению для своего варианта E_c и R_c .
18. Используя данные таблицы 5, построить график зависимости тока стока I_c от напряжения на затворе.
19. Рассчитать крутизну характеристики транзистора для своего варианта U_z (Приложение А).
20. Сделать выводы.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель лабораторной работы;
- схемы экспериментов;
- таблицы и графики результатов;
- расчеты;
- выводы.

Отчёт по лабораторной работе должен быть выполнен в соответствии требованиями ГОСТ.

7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

Защита производится при наличии отчета и состоит в объяснениях полученных результатов и ответах на контрольные вопросы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков принцип действия биполярного транзистора?
2. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к транзистору типа n-p-n?
3. Как выглядят выходные и входные статические характеристики в схеме с общим эмиттером?

4. Что такое статическая характеристика прямой передачи по току? Как ее построить?
5. Как определить статический коэффициент передачи транзистора по току?
6. Как построить линию нагрузки?
7. Как выбрать рабочую точку покоя?
8. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим эмиттером.
9. Каково назначение элементов усилителя?
10. Как определить коэффициент усиления каскада по току и напряжению (графически и экспериментально)?
11. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
12. Каков принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором?
13. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к полевому транзистору с изолированным затвором и каналом n-типа, в усилительном каскаде с общим истоком?
14. Как выглядят выходные и сток-затворные статические характеристики в схеме с общим истоком?
15. Что такое статическая сток-затворная характеристика? Как ее построить?
16. Как определить крутизну сток-затворной характеристики?
17. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим истоком. Каково назначение элементов усилителя?
18. Как определить коэффициент усиления каскада по напряжению (графически и экспериментально)?
19. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миловзоров, О. В. Электроника: учебник для прикладного бакалавриата [Электронный ресурс] / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 344 с. — (Серия: Бакалавр. Прикладной курс). — ISBN 978-5-534-00077-1. — Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/F696F80B-830E-4E30-B5D5-46CD8BD69BCF.
2. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 2: учебное пособие для академического бакалавриата [Электронный ресурс] / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Г. И. Бабокин, Д. П. Вент. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 313 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05432-3. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/8EC6B1A3-1738-41C8-9162-64040F1017F4>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

№ варианта	I_B , мкА	E_C , E_K , В	R_C , R_K , кОм	U_3 , В
1	10	4	1	2,2
2	15	5	1,5	2,3
3	20	6	2	2,4
4	25	7	2,5	2,5
5	10	8	3	2,6
6	15	9	1	2,2
7	20	10	1,5	2,3
8	25	4	2	2,4
9	10	5	2,5	2,5
10	15	6	3	2,6
11	20	7	1	2,2
12	25	8	1,5	2,3
13	10	9	2	2,4
14	15	10	2,5	2,5
15	20	4	3	2,6
16	25	5	1	2,2
17	10	6	1,5	2,3
18	15	7	2	2,4
19	20	8	2,5	2,5
20	25	9	3	2,6
21	10	10	1	2,2
22	15	4	1,5	2,3
23	20	5	2	2,4
24	25	6	2,5	2,5
25	10	7	3	2,6

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания

Составитель: **Осадченко** Александр Евгеньевич

В авторской редакции

Изд. № 197/19. Объем 1,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет"