

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический
университет"

Кафедра радиотехники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам 1-4
по курсу «Электроника»
для студентов направления 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы» (направленность
«Радиоэлектронные системы передачи информации») очной и
заочной форм обучения



Воронеж 2017

Составитель канд. техн. наук Р.П. Краснов
УДК 621.396
ББК 32.85

Методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу «Электроника» для студентов направления 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» (направленность «Радиоэлектронные системы передачи информации») очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Р.П. Краснов. Воронеж, 2017. 30 с.

В методических указаниях приводится описание лабораторных работ по дисциплине «Электроника» для студентов 2 курса очной и заочной форм обучения направления 11.05.01 ««Радиоэлектронные системы и комплексы». Каждая лабораторная работа снабжена краткими теоретическими сведениями и контрольными вопросами.

Табл. 2. Ил. 19. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.В. Володько

Ответственный за выпуск зав. кафедрой канд. техн. наук, проф. Б.В. Матвеев

Печатается по решению учебно-методического совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2017

ВВЕДЕНИЕ

На лабораторных занятиях по курсу «Электроника» каждый студент выполняет лабораторное задание, включающее теоретическую и экспериментальную части.

Лабораторные занятия предполагают выполнение подготовительных (домашних) заданий, основным содержанием которых является ознакомление с принципом работы электронного прибора, его паспортными данными, изучение измерительных схем и методик проведения измерений.

Контроль правильности выполнения подготовительного задания и теоретической готовности к выполнению лабораторной работы проводится преподавателем перед началом занятия.

Заключительным этапом лабораторной работы является защита отчета, которая проводится в виде устного собеседования в рамках контрольных вопросов, помещенных в конце каждой работы.

Техника безопасности в лаборатории

Режим техники безопасности на лабораторных занятиях по курсу «Электроника» включает:

- изучение правил техники безопасности при обслуживании электроустановок с напряжением до 1000 В и дополнительный инструктаж по электробезопасности в конкретных условиях учебной лаборатории;

- документальную регистрацию студентами знаний правил техники безопасности и дополнительного инструктажа в специальном журнале.

Дополнительный инструктаж включает в себя следующие рекомендации по сборке измерительных схем.

Перед началом сборки измерительной схемы убедиться, что все источники питания лабораторной установки выключены, а их регуляторы установлены в крайнее левое положение.

При сборке измерительной схемы использовать только надежные клеммные и штепсельные соединения и соединительные провода. Основания клемм должны иметь надежную фиксацию в посадочные отверстия. Соединение и разъединение штепсельных разъемов должно осуществляться при отключенных источниках питания плавно и с небольшим усилием.

Только после тщательной проверки собранной измерительной схемы и с разрешения преподавателя или лаборанта можно включать тумблеры источников питания.

Электрическая схема собирается без установленной на панели ИМС. С помощью вольтметра выставляется необходимое напряжение питания. Затем при выключенном источнике питания производится установка разъема с микросхемой.

О всех замеченных технических неисправностях немедленно сообщать преподавателю или лаборанту

Запрещается в процессе измерений прикасаться к токоведущим элементам (клеммам).

Перед внесением изменений в схему необходимо выключить источники питания лабораторной установки.

После окончания измерений необходимо установить регуляторы напряжения всех источников питания в крайнее левое положение, выключить источники питания и другие приборы, обесточить измерительный стенд, разобрать измерительную схему, привести в порядок рабочее место.

Краткие сведения об учебном измерительном оборудовании

Для проведения учебной исследовательской работы в лаборатории электронных приборов используется стенд лабораторный универсальный типа СПЭ-8. Он предназначен для исследования полупроводниковых приборов в статическом режиме.

Для задания статических режимов полупроводниковых приборов и подключения дополнительного оборудования в стенде имеется пять источников питания.

Два источника стабилизированного постоянного напряжения, регулируемого в пределах 0...15В, с максимальным значением выходного тока 100 мА, при уровне пульсаций выходного напряжения не более 0,5%.

Источник переменного напряжения 12,6В частотой 50Гц;

Два источника переменного напряжения 220В частотой 50Гц.

Для измерения тока, протекающего в цепях с исследуемыми приборами и напряжений на них, имеется шесть электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы.

Для проведения измерений при различных температурах используется нагреватель, устанавливаемый сверху на исследуемые приборы. Он подключается к источнику переменного напряжения 12,6В. Температура внутри нагревателя 60°C время нагрева рабочего объема - 5 минут.

Исследуемая схема собирается на макетной плате «Полупроводники-микросхемы», которая позволяет исследовать различные схемы, собранные на полупроводниковых приборах и ИС.

Макет выполнен в виде самостоятельного устройства настольного типа. Все органы управления и коммутации расположены на лицевой стороне панели макета. На левой и правой сторонах каркаса установлены по четыре пары гнезд Г4 и 116, соединенных между собой, для подключения радиоизмерительных приборов.

Одно- и двухполярное напряжение питания подводится к гнездам Г4, обозначенных на макете «+», «⊥», «-». Индикация наличия напряжения осуществляется тумблером, обозначенным U, при этом загораются светодиоды. Дополнительное однополярное напряжение может быть также подведено к гнездам Г4, расположенным в правом верхнем

углу макета. Напряжение от генератора подводится к гнездам Г4 «Генератор».

Макет имеет набор постоянных и переменных резисторов, емкостей, диодов, стабилитронов, светодиодов, транзисторов, номиналы которых указаны на лицевой панели стенда.

К разъемам ХТ4, ХТ5, ХТ6, ХТ9, ХТ10 подключаются их ответные части с распаянными на них полупроводниковыми приборами и интегральными схемами. Сами разъемы распаяны на гнезда Г1-6, расположенные около них.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование ВАХ полупроводникового диода

Цели работы:

1. Углубление и расширение теоретических знаний по физическим основам полупроводниковой электроники и работы полупроводниковых диодов.
2. Знакомство с конструкцией выпрямительных диодов.
3. Освоение методики снятия вольтамперных характеристик (ВАХ).
4. Освоение графоаналитического метода расчета основных статических параметров диодов.

Состав используемого оборудования:

1. Источники питания постоянного напряжения 0...15В.
2. Вольтметр постоянного напряжения.
3. Амперметр постоянного тока.
4. Макет «Полупроводники-микросхемы» с исследуемым диодом типа Д226.
5. Соединительные провода.

Подготовительное (домашнее) задание

1. Записать название, цель работы.
2. Изучить ВАХ выпрямительного диода и основные статические характеристики.

Краткие теоретические сведения

Выпрямительным диодом называется полупроводниковый прибор, предназначенный для выпрямления переменного тока. По конструкции полупроводниковые диоды могут быть плоскостными и точечными.

Для плоскостного диода на базу накладывается материал акцепторной примеси и в вакуумной печи при высокой температуре (порядка 500 °С) происходит диффузия акцепторной примеси в базу диода, в результате чего образуется область р-типа проводимости и рп-переход большой

плоскости (отсюда название). Вывод от р-области называется анодом, а вывод от n-области – катодом (рис. 1.1 а).

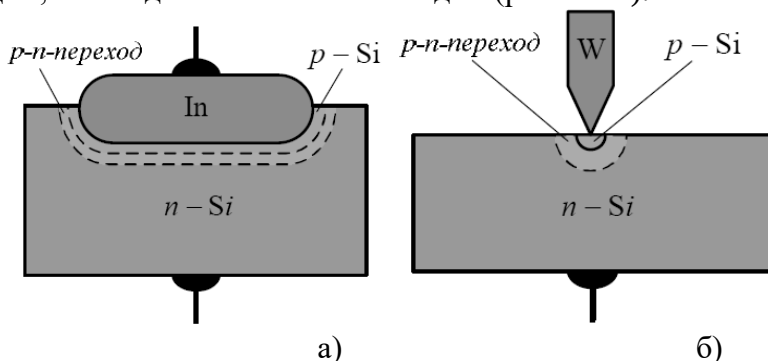


Рис. 1.1. Конструкция плоскостного (а) и точечного (б) диода

Большая плоскость рп - перехода плоскостных диодов позволяет им работать при больших прямых токах, но за счёт большой барьерной ёмкости они будут низкочастотными.

К базе точечного диода подводят вольфрамовую проволоку, легированную атомами акцепторной примеси, и через неё пропускают импульсы тока силой до 1А. В точке разогрева атомы акцепторной примеси переходят в базу, образуя р-область (рис. 1.1, б).

Получается рп-переход очень малой площади. За счёт этого точечные диоды будут высокочастотными, но могут работать лишь на малых прямых токах (десятки миллиампер).

Под ВАХ выпрямительного диода понимают зависимость тока, протекающего через диод, от приложенного напряжения. ВАХ диода (рис. 1.2) хорошо аппроксимируется выражением:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U_{pn}}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

где U_{pn} - приложенное к переходу напряжение; φ_T – тепловой потенциал (для $T=300K$ равный около 26 мВ); I_0 - обратный (тепловой) ток.

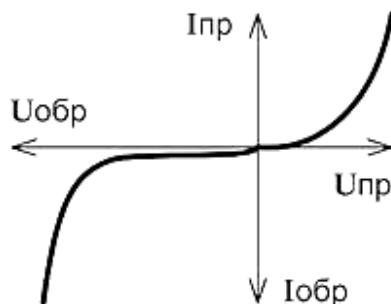


Рис. 1.2. ВАХ выпрямительного диода

К основным параметрам выпрямительного диода относятся прямое и обратное сопротивление для постоянного тока (статические сопротивления):

$$R_{np} = \frac{U_{np}}{I_{np}}, R_{обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}}.$$

Аналогичные дифференциальные сопротивления выпрямительного диода определяются как

$$r_{np} = \frac{dU_{np}}{dI_{np}}, r_{обр} = \frac{dU_{обр}}{dI_{обр}}.$$

Последние характеризуют свойства выпрямительного диода по отношению к малым приращениям или к переменным составляющим, наложенным на относительно большие постоянные токи и напряжения, и могут значительно отличаться от сопротивлений для постоянного тока. Статические и дифференциальные сопротивления можно определить по ВАХ выпрямительного диода, задавшись определенной рабочей точкой и аппроксимировав производные конечными разностями.

Лабораторное задание

1. Получить у преподавателя допуск к лабораторной работе.
2. Начертить в тетради исследуемую схему для снятия прямой и обратной ветви ВАХ диода, руководствуясь рис. 1.3,

указав пределы и полярность, измерительных приборов.

3. Собрать исследуемую схему для снятия прямой ВАХ выпрямительного диода. Получив допуск у преподавателя или лаборанта, подать питание на лабораторный стенд. Снять по точкам прямую ветвь ВАХ, занести результаты в табл. 1.1.

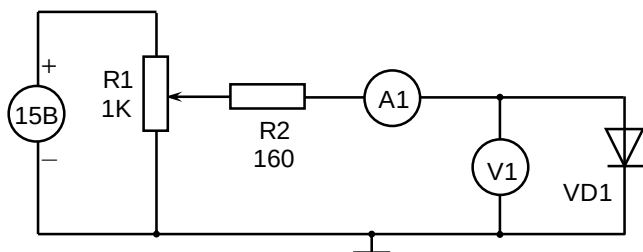


Рис. 1.3. Схема для снятия прямой ветви ВАХ выпрямительного диода

Таблица 1.1

№	Прямая ветвь		Обратная ветвь	
	U, В	I, мА	U, В	I, мкА

4. Отключить питание лабораторного стенда.

5. Собрать исследуемую схему для снятия обратной ветви ВАХ выпрямительного диода (рис. 1.4). Получив допуск у преподавателя или лаборанта, подать питание на лабораторный стенд. Снять по точкам прямую ветвь ВАХ, занести результаты в табл. 1.1.

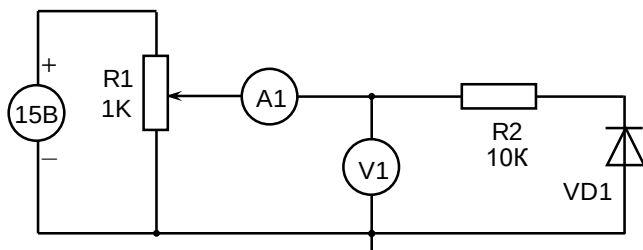


Рис. 1.4. Схема для снятия обратной ветви ВАХ выпрямительного диода

6. По данным табл. 1.1 построить ВАХ выпрямительного диода.

7. По полученным данным, задавшись определенными значениями прямого и обратного напряжения на линейных участках ВАХ, рассчитать статические и динамические сопротивления выпрямительного диода в прямом и обратном включении. Показать преподавателю полученные результаты.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы, состав используемого оборудования.
2. Схема для снятия ВАХ.
3. Результаты выполнения подготовительного задания.
4. Данные расчетов и измерений.
5. Краткие выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводник? Каким образом получают полупроводник р- и n-типа?
2. Каков принцип действия pn-перехода?
3. Приведите области применения полупроводниковых диодов.
4. Чем отличаются точечные и плоскостные диоды?
5. В чем отличие ВАХ идеального и реального выпрямительного диода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование ВАХ стабилитрона

Цели работы:

1. Углубление и расширение теоретических знаний по физическим основам полупроводниковой электроники и работы стабилитронов.
2. Знакомство с работой стабилитронов.
3. Освоение методики снятия вольтамперных характеристик (ВАХ).
4. Освоение графоаналитического метода расчета основных статических параметров.

Состав используемого оборудования:

1. Источник питания постоянного напряжения 0... 15 В.
2. Вольтметр постоянного напряжения.
3. Амперметр постоянного тока.
4. Макет «Полупроводники микросхемы» с исследуемыми стабилитронами типа Д818Е и КС156А.
5. Соединительные провода.

Подготовительное (домашнее) задание

1. Записать название, цель работы.
2. Изучить ВАХ стабилитрона и основные статические характеристики.

Краткие теоретические сведения

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации напряжения. Действие полупроводниковых стабилитронов основано на электрическом (лавинном или туннельном) пробое рп-перехода, при котором происходит резкое увеличение обратного тока, а обратное напряжение изменяется очень мало. Это свойство использовано для стабилизации напряжения в электрических цепях.

Пробой рп-перехода связан с резким возрастанием тока. Величина стабилизируемого напряжения, при котором

наступает пробой $U_{ст.}$ зависит от типа рп-перехода и составляет от нескольких вольт до нескольких киловольт (рис. 2.1).

Различают следующие виды пробоя: электрический и тепловой, а электрический в свою очередь разделяют на туннельный и лавинный.

Лавинный пробой вызывается ударной ионизацией: неосновные носители, образующие обратный ток, ускоряются приложенным напряжением настолько, что при их соударении с атомами кристаллической решетки происходит ионизация атомов. В результате генерируется пара свободных носителей заряда: электрон и дырка. Вновь появившиеся носители заряда также ускоряются электрическим полем и в свою очередь могут вызвать ионизацию других атомов. Процесс приобретает лавинообразный характер. Это приводит к резкому увеличению обратного тока, который может быть ограничен только внешним сопротивлением.

Тепловой пробой возникает в результате разогрева рп-перехода, когда количество теплоты, выделяемой при протекании тока, больше отводимой. При этом происходит интенсивная тепловая генерация свободных носителей заряда. Это приводит к увеличению тока, что в свою очередь приводит к дальнейшему повышению температуры, т.е. возникает обратная положительная связь. Происходит тепловой пробой ($I > I_{ст\ max}$) и прибор выходит из строя.

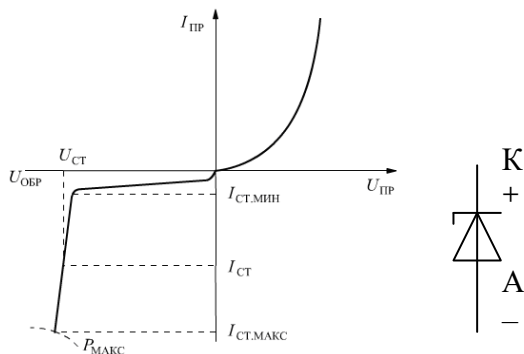


Рис. 2.1. ВАХ стабилитрона

Исходным материалом для стабилитронов служит кремний. Для стабилитрона пробой является нормальным режимом работы. Пробивное напряжение диода является напряжением стабилизации, которая зависит от толщины рп-перехода или от удельного сопротивления базы диода. Поэтому разные типы стабилитронов имеют различные напряжения стабилизации U_{cm} (от единиц до сотен вольт).

Для стабилизации напряжения разной полярности выпускаются симметричные стабилитроны, имеющие симметричную ВАХ. Для получения симметричной ВАХ с двух сторон пластинки кремния одновременно формируют два рп-перехода. При подаче напряжения на крайние области структуры эти переходы оказываются включенными встречно.

Помимо стабилизации напряжения источников, стабилитроны нашли применение в качестве ограничителей, фиксаторов уровня, развязывающих элементов переключающих устройств.

Важным параметром при расчете цепей, содержащих стабилитроны, является его дифференциальное сопротивление, которое определяется аналогично выпрямительному диоду (при напряжении на стабилитроне равном напряжению стабилизации).

Лабораторное задание

1. Начертить исследуемую схему, руководствуясь рис. 2.2, указав полярность и пределы измерительных приборов.

2. Для первого вида стабилитрона, воспользовавшись его паспортными данными, рассчитать величину ограничительного резистора $R2$:

$$R2 = \frac{U_{вх\max} - U_{cm}}{I_{cm\max}},$$

где $U_{вх\max}$ – наибольшее входное напряжение схемы, U_{cm} – номинальное напряжение стабилизации, $I_{cm\max}$ – максимально допустимый обратный ток стабилитрона.

3. Собрать измерительную схему согласно рис. 2.2. Номинал ограничительного сопротивления $R2$ округлить до ближайшего значения из имеющихся на стенде. Получив допуск у преподавателя или лаборанта, подать питание на измерительную схему.

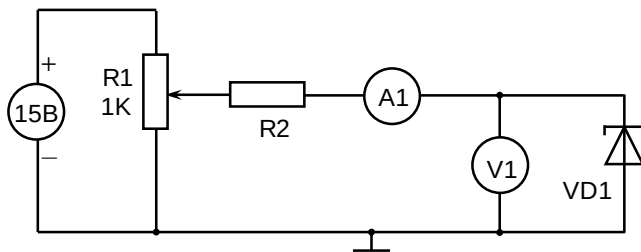


Рис. 2.2. Схема для снятия ВАХ стабилитрона

4. Снять по точкам рабочую (обратную) ветвь ВАХ стабилитрона. Результаты занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№	Д818Е		KC156A	
	U, В	I, мА	U, В	I, мА

5. Обесточить лабораторный стенд. Подключить второй стабилитрон. Провести необходимые расчеты и измерения аналогично первому.

6. По данным табл. 2.1 построить ВАХ стабилитронов.

7. По полученным ВАХ, задавшись определенной рабочей точкой, рассчитать основные параметры стабилитронов: номинальный ток стабилизации, напряжение стабилизации, дифференциальное сопротивление стабилитрона.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы, исследуемые полупроводниковые приборы.
2. Схема для снятия ВАХ.

3. Результаты выполнения подготовительного задания.
4. Данные расчетов и измерений.
5. Краткие выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности пробоев и механизм их возникновения.
2. Поясните принцип действия стабилитрона.
3. Каково назначение резистора R_2 в схеме на рис. 2.2?
4. Перечислите основные разновидности стабилитронов.
5. Чем определяется величина напряжения стабилизации?

Лабораторная работа № 3

Исследование статических характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

Цели работы:

1. Углубление и расширение теоретических знаний по физическим основам полупроводниковой электроники и работы биполярных транзисторов.
2. Знакомство с конструкцией транзисторов различного назначения.
3. Освоение методики снятия вольт-амперных характеристик (ВАХ).
4. Освоение графоаналитического метода расчета основных статических параметров.

Состав используемого оборудования:

1. Источник питания постоянного напряжения 0...15 В.
2. Вольтметры постоянного напряжения.
3. Амперметры постоянного тока.
4. Стенд лабораторный с исследуемыми биполярными транзисторами типа КТ3102.
5. Соединительные провода.

Подготовительное (домашнее) задание

1. Записать название, цель работы.
2. Зарисовать измерительную схему.
3. Изучить ВАХ транзистора в схеме с общим эмиттером и основные статические характеристики.

Краткие теоретические сведения

Биполярным транзистором называют полупроводниковый прибор, состоящий из трех областей с чередующимися типами электропроводности и предназначенный для усиления сигнала.

Биполярный транзистор представляет собой полупроводниковый кристалл, в котором созданы три области

с различной электропроводностью. Соответственно, различают транзисторы ррп и рпр – типа.

Средняя область транзистора называется базой, одна крайняя область – эмиттером, вторая – коллектором. Таким образом в транзисторе имеются два рп- перехода: эмиттерный – между эмиттером и базой и коллекторный – между базой и коллектором (рис. 3.1).

В зависимости от того, какой из выводов является общим для входной и выходной цепей, различают три схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК) (рис. 3.2).

Входная, или управляющая, цепь служит для управления работой транзистора. В выходной, или управляемой, цепи получают усиленные колебания. Источник усиливаемых колебаний включается во входную цепь, а в выходную включается нагрузка.

Рассмотрим принцип действия транзистора на примере транзистора рпр – типа, включенного по схеме с общей базой (ОБ).

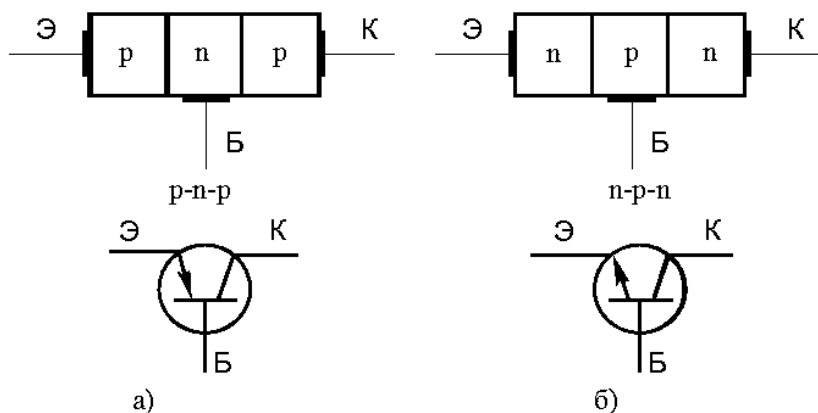


Рис. 3.1. Структура и условно-графическое обозначение транзисторов рпр (а) и рпр (б) типа

Внешние напряжения двух источников питания подключают к транзистору таким образом, чтобы обеспечивалось смещение эмиттерного перехода в прямом направлении, а коллекторного перехода – в обратном направлении.

Выходной ток транзистора зависит от входного тока. Поэтому транзистор- прибор, управляемый током.

Для транзисторов pnp и npn в схемах включения изменяются лишь полярности напряжений и направление токов. При любой схеме включения транзистора, полярность включения источников питания должна быть выбрана такой, чтоб эмиттерный переход был включен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном.

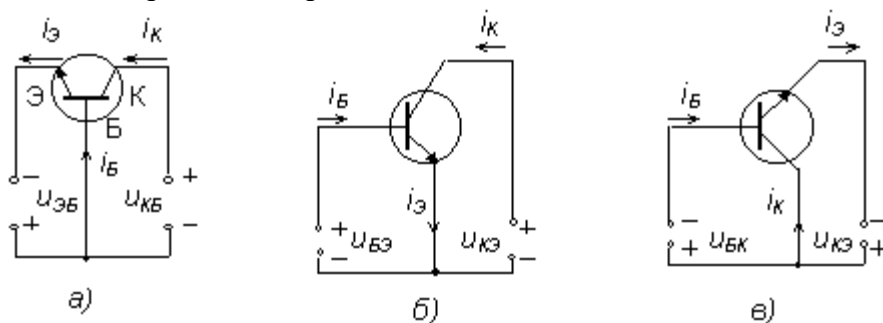


Рис. 3.2. Схемы включения биполярного транзистора: с общей базой – ОБ (а), с общим эмиттером – ОЭ (б), с общим коллектором – ОК (в).

Статическим режимом работы транзистора называется режим при отсутствии нагрузки в выходной цепи.

Статическими характеристиками транзисторов называют графически выраженные зависимости напряжения и тока входной цепи (входные ВАХ) и выходной цепи (выходные ВАХ). Вид характеристик зависит от способа включения транзистора.

Всего таких характеристик три:

- *входная*, представляющая собой зависимость входного тока от входного напряжения,

- *выходная*, представляющая собой зависимость выходного тока от выходного напряжения и

- *проходная (сквозная)*, представляющая собой зависимость выходного тока от входного напряжения.

Для схемы включения ОЭ эти характеристики приобретут следующий вид (рис. 3.3):

- входная характеристика: $I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}})$;

- выходная характеристика: $I_{\text{к}} = f(U_{\text{кэ}})$;

- сквозная характеристика: $I_{\text{к}} = f(U_{\text{бэ}})$;

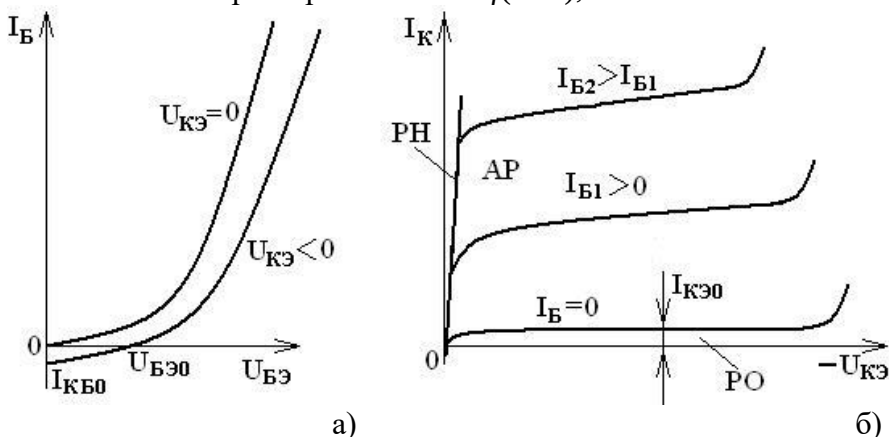


Рис. 3.3. Общий вид входной (а) и выходной (б) характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ



Рис. 3.4. Представление транзистора в виде линейного четырехполюсника

Транзисторный каскад усиления как четырехполюсник (рис. 3.4) описывают при помощи совокупности четырех характеристик, называемых h -параметрами. В системе h -

параметров токи и напряжения четырехполюсника связаны следующими линейными уравнениями:

$$\begin{cases} \Delta U_{\bar{\sigma}\bar{\varepsilon}} = h_{11}\Delta I_{\bar{\sigma}} + h_{12}\Delta U_{\kappa\bar{\varepsilon}} \\ \Delta I_{\kappa} = h_{21}\Delta I_{\bar{\sigma}} + h_{22}\Delta U_{\kappa\bar{\varepsilon}}. \end{cases} \quad (3.1)$$

Решая систему, определим h -параметры четырехполюсника и найдем физическую интерпретацию каждого из них, полагая, что четырехполюсник описывает включение биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером. Принадлежность параметра к соответствующей схеме включения транзистора отражается добавлением индексов «э», «б» или «к».

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{\bar{\sigma}\bar{\varepsilon}}}{\Delta I_{\bar{\sigma}}} \right|_{\Delta U_{\kappa\bar{\varepsilon}}=0} \quad (3.2)$$

- входное сопротивление транзистора при короткозамкнутой выходной цепи;

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{\bar{\sigma}\bar{\varepsilon}}}{\Delta U_{\kappa\bar{\varepsilon}}} \right|_{\Delta I_{\bar{\sigma}}=0} \quad (3.3)$$

- коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе входной цепи;

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\bar{\sigma}}} \right|_{\Delta U_{\kappa\bar{\varepsilon}}=0} \quad (3.4)$$

- коэффициент передачи тока при коротком замыкании выходной цепи. Этот параметр описывает усилительные свойства транзистора и иногда обозначается также символом β ;

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta U_{\kappa\bar{\varepsilon}}} \right|_{\Delta I_{\bar{\sigma}}=0} \quad (3.5)$$

- выходная проводимость при холостом ходе входной цепи.

Преимущество системы h -параметров состоит в удобстве экспериментального определения параметров, поскольку осуществление холостого хода входной цепи и короткого замыкания выходной цепи (шунтированием конденсатором) транзистора затруднений не вызывает.

На рис. 3.5 показана эквивалентная схема, составленная на основании системы уравнений. Задавшись определенной рабочей точкой графоаналитическим методом по семействам входных и выходных ВАХ биполярного транзистора можно найти входное и выходное сопротивления, коэффициент усиления по току и, соответственно, h -параметры (первый параметр определяется по семейству входных ВАХ, остальные – выходных).

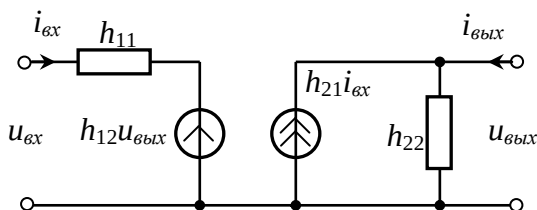


Рис. 3.5. Формальная эквивалентная схема транзистора в системе h -параметров

Лабораторное задание

1. Получить допуск у преподавателя или лаборанта.
2. Включить стенд, установить напряжение источников питания согласно значениям, указанным на рис. 3.6, контролируя результат по вольтметру.

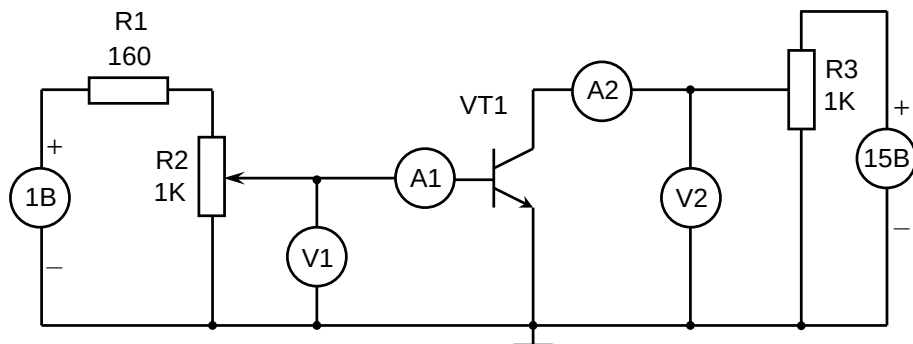


Рис. 3.6. Схема для снятия семейства входных и выходных ВАХ биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ

3. Собрать схему для снятия семейства ВАХ биполярного транзистора в схеме с ОЭ аналогично приведенной на рис. 3.6. После разрешения преподавателя или лаборанта подать питание на лабораторный стенд.

4. Установив согласно данным табл. 3.1 фиксированное напряжение $U_{кэ}$, снять по точкам семейство входных ВАХ (две кривые), результаты занести в табл.3.1. Количество точек выбирать исходя из удобства получения ВАХ.

5. Установив согласно данным табл. 3.1 фиксированный ток $I_б$, снять по точкам семейство выходных ВАХ (две кривые), результаты занести в табл.3.1. Количество точек выбирать исходя из удобства получения ВАХ.

Табл.1.1 ВАХ биполярного транзистора

Входная характеристика			Выходная характеристика		
$U_{бэ}$	$I_б$	Условие изм.	$U_{кэ}$	$I_к$	Условие изм.
		$U_{кэ}=4В$			$I_б=1\text{ мА}$
		$U_{кэ}=8В$			$I_б=1,5\text{мА}$

6. Отключить питание лабораторного стенда. По данным табл. 3.1 построить семейство входных и выходных ВАХ биполярного транзистора. Представить преподавателю полученные результаты.

7. Определить набор h – параметров транзистора: h_{11} , h_{21} , h_{22} . Расчет h – параметров проводится по семейству входных и выходных ВАХ. Необходимо выбрать расчетную точку на линейном участке ВАХ, затем, задав малые приращения токов и напряжений, рассчитать основные параметры каскада с общим эмиттером: входное, выходное сопротивления, коэффициент усиления по току.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы, состав используемого оборудования.

2. Измерительная схема.

3. Данные измерений и результаты расчетов.
4. Краткие выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия биполярного транзистора.
2. В чем отличие работы биполярных транзисторов ррр и прп – типа?
3. Приведите схемы включения биполярного транзистора, поясните их отличия.
4. Перечислите основные режимы работы транзистора в усилительном каскаде.
5. Перечислите виды и поясните смысл ВАХ биполярного транзистора в схеме с ОЭ.
6. Каков физический смысл h -параметров биполярного транзистора в схеме с ОЭ?
7. Поясните назначение смещения в усилительных схемах на биполярных транзисторах.

Лабораторная работа № 4

Исследование статических характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком

Цели работы:

1. Углубление и расширение теоретических знаний по физическим основам полупроводниковой электроники и работы полевых транзисторов с управляющим рп–переходом.
2. Знакомство с конструкцией полевых транзисторов различного назначения.
3. Освоение методики снятия вольтамперных характеристик (ВАХ).
4. Освоение графоаналитического метода расчета основных статических параметров.

Состав используемого оборудования:

1. Источник питания постоянного напряжения 0...15 В.
2. Вольтметры постоянного напряжения.
3. Амперметры постоянного тока.
4. Стенд лабораторный с исследуемыми полевыми транзисторами типа КП303.
5. Соединительные провода.

Подготовительное (домашнее) задание

1. Записать название, цель работы.
2. Зарисовать измерительную схему.
3. Изучить ВАХ транзистора в схеме с общим истоком и основные статические характеристики.

Краткие теоретические сведения

В полевом транзисторе с управляющим рп-переходом затвор отделяется в электрическом отношении от канала рп-переходом, смещенным в обратном направлении.

Оставшаяся область в полупроводнике, где протекает ток основных носителей заряда, носит название канала. Ток может регулироваться изменением его поперечного сечения.

Устройство полевого транзистора представлено на рис. 4.1.

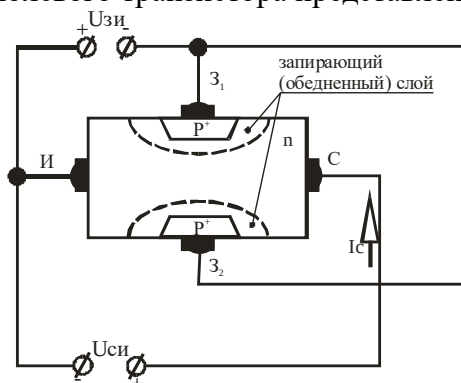


Рис.4.1. Полевой транзистор с каналом n-типа

Управляющее (входное) напряжение подается между затвором и истоком. Напряжение $U_{зи}$ является обратным для обоих рп- переходов. Если между истоком и стоком включить источник напряжения $U_{си}$, то с помощью напряжения, подаваемого на затвор, можно регулировать его толщину, и, следовательно, ток I_c .

Электрод (вывод), через который в канал входят основные носители заряда, называют истоком (source). Электрод, через который из канала уходят основные носители заряда, называют стоком (drain). Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала за счет управляющего напряжения, называют затвором (gate). Условные обозначения полевых транзисторов с каналом n- и p- типов приведены на рис. 4.2.



Рис.4.2. Условное обозначение полевого транзистора с рп- переходом и каналом n- типа (а) и каналом p- типа (б)

Полевой транзистор в качестве элемента схемы представляет собой активный несимметричный

четырёхполюсник, у которого один из зажимов является общим для цепей входа и выхода. В зависимости от того, какой из электродов полевого транзистора подключен к общему выводу, различают схемы: с общим истоком (ОИ); с общим стоком (ОС); с общим затвором (ОЗ). Схемы включения полевого транзистора показаны на рис. 4.3. Схема с общим истоком позволяет усиливать мощность сигнала.

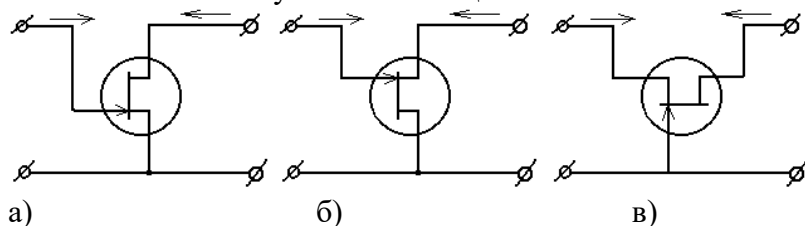


Рис. 4.3. Схемы включения полевого транзистора: с общим истоком (а), общим стоком (б), общим затвором (в)

Для полевых транзисторов представляют интерес два вида вольт - амперных характеристик: стоковые (выходные) и стоко - затворные (сквозные).

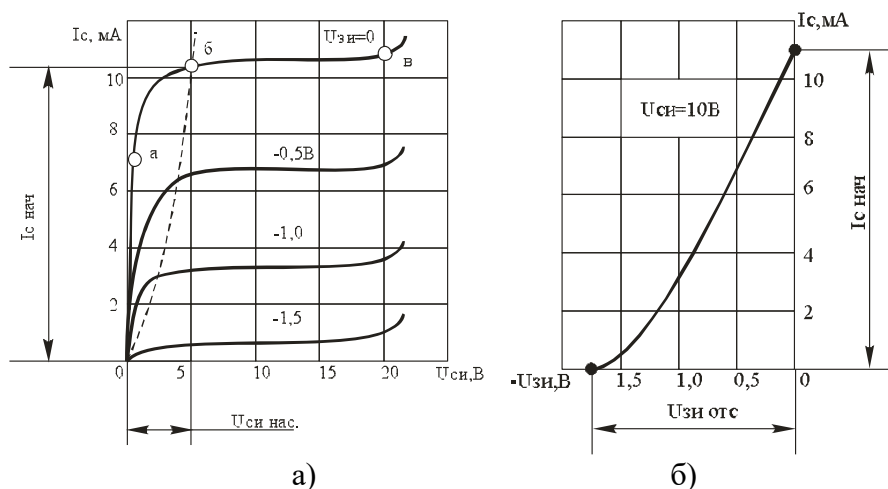


Рис. 4.4. Выходные (а) и сквозная (б) вольт-амперные характеристики полевого транзистора

Стоковые (выходные) характеристики полевого транзистора отражают зависимость тока стока от напряжения $U_{си}$ при фиксированном напряжении $U_{зи}$ (рис. 4.4, а). Сток - затворная характеристика полевого транзистора показывает зависимость тока I_c от напряжения $U_{зи}$ при фиксированном напряжении $U_{си}$ (рис. 4.4, б).

Основными параметрами полевого транзистора являются:

1) внутреннее (выходное) сопротивление r_i – представляет собой сопротивление транзистора между стоком и истоком (сопротивление канала) для переменного тока:

$$r_i = \left. \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c} \right|_{U_{зи} = \text{const}} ;$$

2) крутизна сток-затворной характеристики:

$$S = \left. \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \right|_{U_{си} = \text{const}} ;$$

3) коэффициент усиления по напряжению:

$$\mu = S \cdot r_i = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta U_{зи}} .$$

Лабораторное задание

1. Получить допуск у преподавателя или лаборанта.

2. Включить стенд, установить напряжение источников питания согласно значениям, указанным на рис. 4.5, контролируя результат по вольтметру.

3. Собрать схему для снятия семейства ВАХ полевого транзистора в схеме с ОИ аналогично приведенной на рис. 4.5. После разрешения преподавателя или лаборанта подать питание на лабораторный стенд.

4. Установив согласно данным табл. 4.1 фиксированное напряжение $U_{си}$, снять по точкам семейство сквозных ВАХ (две кривые), результаты занести в табл.4.1. Количество точек выбирать исходя из удобства получения ВАХ.

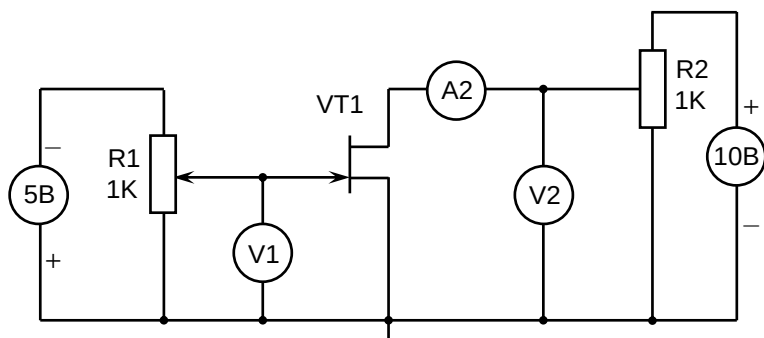


Рис. 4.5. Схема для снятия семейства входных и выходных ВАХ полевого транзистора в схеме с ОИ

5. Установив согласно данным табл. 4.1 фиксированное напряжение $U_{зи}$, снять по точкам семейство выходных ВАХ (две кривые), результаты занести в табл.4.1. Количество точек выбирать исходя из удобства получения ВАХ.

Таблица 4.1

Сквозная характеристика			Выходная характеристика		
$U_{зи}$	I_c	Условие изм.	$U_{си}$	I_c	Условие изм.
		$U_{си}=4В$			$U_{зи}=0,2 В$
		$U_{си}=8В$			$U_{зи}= 0,4 В$

6. Отключить питание лабораторного стенда. По данным табл. 4.1 построить семейство сквозных и выходных ВАХ полевого транзистора. Представить преподавателю полученные результаты.

7. По результатам измерений определить внутреннее сопротивление, крутизну характеристики, коэффициент усиления по напряжению исследуемого транзистора. Результаты расчетов занести в отчет.

Содержание отчета:

1. Название, цель работы, состав используемого оборудования.

2. Измерительная схема.
3. Данные измерений и результаты расчетов.
4. Краткие выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия полевого транзистора.
2. Приведите схемы включения полевого транзистора, пояснить их отличия.
3. Перечислите виды и поясните смысл ВАХ полевого транзистора в схеме с ОИ.
4. Какими характеристиками описывается полевой транзистор?
5. В чем заключаются основные различия между полевыми и биполярными транзисторами?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наундорф, У. Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование [Текст] / У. Наундорф. – М.: Техносфера, 2008. – 472 с.
2. Кучумов, А. И. Электроника и схемотехника [Текст] / А. И. Кучумов. – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 336 с.
3. Краснов, Р. П. Основы электроники [Текст] / Р. П. Краснов, Б. В. Матвеев. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. – 165 с.
4. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника [Текст] / В. Г. Гусев. – М.: Высшая школа, 2005. – 396 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	1
Техника безопасности в лаборатории.....	1
Краткие сведения об учебном измерительном оборудовании.....	2
Лабораторная работа № 1 Исследование ВАХ полупроводникового диода.....	5
Лабораторная работа № 2 Исследование ВАХ стабилитрона.....	10
Лабораторная работа № 3 Исследование статических характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером	15
Лабораторная работа № 4 Исследование статических характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком	23
Библиографический список.....	29

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам 1-4 по курсу «Электроника»
для студентов направления 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы» (направленность
«Радиоэлектронные системы передачи информации») очной и
заочной форм обучения

Составитель
Краснов Роман Петрович

В авторской редакции

Подписано в печать
Формат 60х84/16. Бумага для множительных аппаратов.
Усл. печ. л 2,1, Уч.-изд. л. 1,6. Тираж экз. «С»
Заказ №

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026, Воронеж, Московский просп., 14