

С.Г.Камзолова

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторных работ по дисциплине

«Электроника и схемотехника».

Раздел «Электроника»

Работы 1-4.

*для студентов
специальности 090106
дневного обучения*

Рецензент: д.т.н., проф. В.Д. Рубцов

Камзолова С.Г.

Пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Электроника и схемотехника», раздел «Электроника», работы 1-4. М.:
МГТУ ГА, 2006 г. - с.

Данное пособие издается в соответствии с учебным планом для
студентов специальности 090106 дневного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры
методического совета
2006 г. и
2006 г.

Работа №1

Полупроводниковые диоды

Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование и анализ характеристик полупроводниковых диодов на базе p-n-переходов.

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Диодом называют электропреобразовательный прибор, содержащий один или несколько электрических переходов и два вывода для подключения к внешней цепи. Принцип работы большинства диодов основан на использовании физических явлений в электрическом переходе. Наиболее часто в диодах применяется p-n-переход, переход Шотки, гетеропереход. Однако существуют диоды, структура которых не содержит выпрямляющих электрических переходов (диод Ганна), либо содержит несколько переходов (p-i-n-диод, динистор). Электрическим переходом называется переходный слой между областями твердого тела с различными типами или значениями проводимости. Переход между областями полупроводника с электропроводностью p- и n-типа называют p-n-переходом.

Рассмотрим принцип работы p-n-перехода при равновесии, т.е. при нулевом внешнем напряжении на переходе (рис. 1.1).

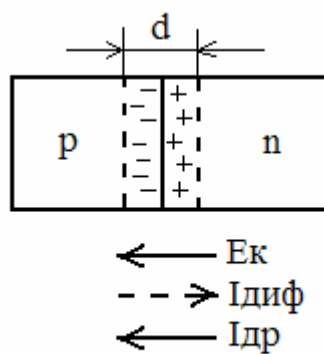


Рис. 1.1

Поскольку концентрация переходов в n-области значительно больше, чем в p-области, часть электронов диффундирует из n-области в p-область. При этом в p-области окажутся избыточные электроны, большая часть которых находится вблизи металлургической границы. Электроны будут рекомбинировать с дырками, соответственно концентрация дырок будет уменьшаться и обнажатся не скомпенсированные отрицательные заряды акцепторных ионов. С другой стороны, от металлургической границы (в n-области) из-за ухода электронов обнажатся не скомпенсированные положительные заряды донорных ионов. Аналогичные рассуждения можно провести для дырок, которые диффундируют из p-области в n-область. Вблизи металлургической границы по обе стороны ее образуется слой с пониженной концентрацией носителей заряда – обедненный слой. Существующие в нем объемные заряды ионов примесей и связанное с ними электрическое поле препятствуют диффузии носителей и обеспечивают состояние равновесия, при котором ток через переход равен нулю, т.е. напряженность внутреннего электрического поля нарастает до тех пор, пока вызванное им дрейфовое движение (ток дрейфа $I_{др}$) носителей не уравновесит встречное диффузионное движение (ток диффузии $I_{диф}$), обусловленное градиентами концентрации электронов и дырок. Электрическое поле обуславливает внутреннюю (контактную) разность потенциалов U_k между p- и n-областями, т.е. потенциальный барьер.

Таким образом, область p-n-перехода обеднена свободными носителями и содержит равные по абсолютному значению положительный и

отрицательный заряды не скомпенсированных ионов примесей. В ней существует внутреннее электрическое поле E_k и потенциальный барьер. Удельное сопротивление обедненной области на много порядков выше, чем соседних нейтральных областей. Переход в состояние равновесия характеризуется высотой потенциального барьера U_k и толщиной обедненного слоя $L_{об}$. Суммарный ток через переход, обусловленный противоположно направленными токами $I_{диф}$ и $I_{др}$, равен нулю.

Если к p-n-переходу подключить источник напряжения, то равновесное состояние, рассмотренное выше, нарушается – в цепи потечет ток. Если полярность источника питания совпадет с полярностью основных носителей, то такое включение называют прямым. При прямом напряжении потенциальный барьер понижается, поскольку внешнее поле $E_{пр}$ направлено навстречу внутреннему (рис. 1.2а) полю E_k перехода.

Понижение потенциального барьера приводит к увеличению тока диффузии, а на величину дрейфового тока не влияет. При комнатной температуре даже при незначительном понижении потенциального барьера $I_{диф} \gg I_{др}$, поэтому прямой ток $I_{пр} \approx I_{диф}$.

На рис. 1.2б показаны вольтамперные характеристики (ВАХ) германиевого и кремниевого переходов при прямом смещении. Начальные нелинейные участки ВАХ соответствуют наличию потенциального барьера. При дальнейшем повышении $U_{пр}$ зависимость $I_{пр} = f(U_{пр})$ становится практически линейной. Наклон прямой ветви ВАХ зависит от объемных сопротивлений p- и n-областей.

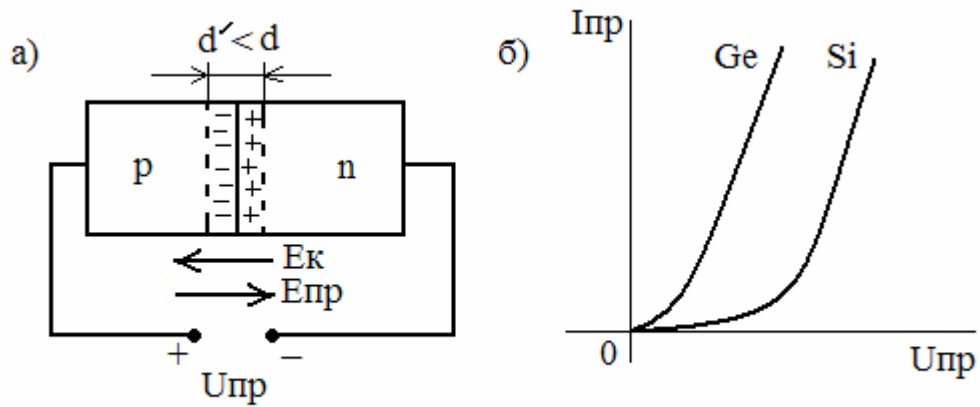


Рис.1.2

При обратном напряжении на переходе потенциальный барьер повышается, т.к. внешнее поле $E_{обр}$ складывается с внутренним E_k . Ток диффузии уменьшается, а дрейфовый ток остается практически неизменным, поэтому

$$I_{обр} \approx I_{др}.$$

Однако в реальном p-n-переходе обратный ток увеличивается с ростом обратного напряжения из-за расширения обедненного слоя. Обратный ток резко снижается с ростом ширины запрещенной зоны. Для кремния он меньше, чем для германия приблизительно в 10 раз. ВАХ для обратного смещения приведена на рис. 1.3б.

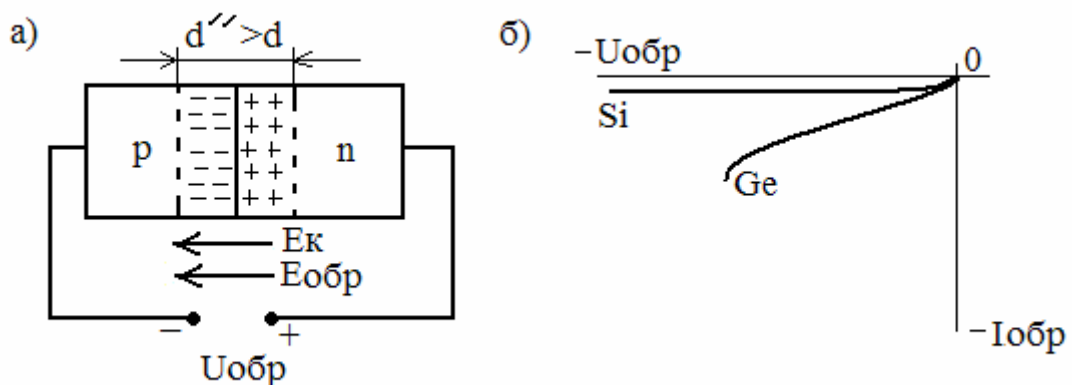


Рис.1.3

Явление резкого увеличения дифференциальной проводимости p-n-перехода при достижении обратным напряжением (током) критического для

данного перехода значения называется пробоем р-n-перехода. Электрический пробой – явление обратимое, т.е. при снятии обратного напряжения свойства р-n-перехода полностью восстанавливаются. Тепловой пробой – необратимый процесс, в результате которого разрушается кристаллическая решетка полупроводника и р-n-переход выходит из строя. Явление электрического пробоя в р-n-переходах используется при создании специальных полупроводниковых диодов.

Основное свойство р-n-перехода – односторонняя проводимость тока. Это свойство используется в выпрямительных и переключательных диодах. Кроме того, р-n-переход обладает рядом других свойств, которые позволили разработать диоды для различных назначений. Например, явление электрического пробоя используется в стабилитронах и лавинно-пролетных диодах, туннельный диод – в туннельных диодах, зависимость барьерной емкости от обратного напряжения – в варикапах, нелинейность ВАХ – в смесительных и преобразовательных диодах и т.д.

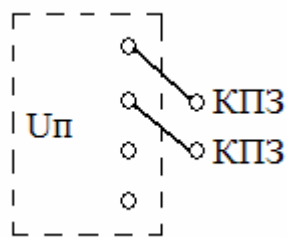
Лабораторное задание

Выполнение работы производится на стенде ЛУ-1 «Полупроводниковые диоды».

Для снятия вольтамперных характеристик диодов VD1, VD2, VD4 используется «Схема исследования ВАХ». Для подключения соответствующего диода в разрыв цепи Катод–корпус включается амперметр АВМ–1. Изменение напряжения на входе схемы производится потенциометром РР–1. В качестве вольтметра РВ–1, измеряющего напряжение на соответствующем диоде, применяется прибор АВМ–2.

1. Снятие прямых ветвей.

Подать прямое напряжение, установив короткозамкнутые перемычки (КЗП) в соответствии с рисунком:



Изменяя входное напряжение, контролировать $U_{пр}$ (АВМ–2) и $I_{пр}$ (АВМ–1) диода VD1. Данные занести в таблицу №1.

Таблица №1

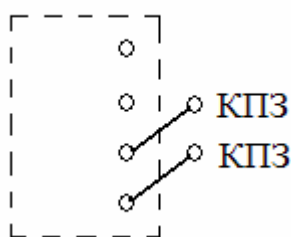
| | |
|---------------|--|
| $U_{пр}$, В | |
| $I_{пр}$, мА | |

Аналогичные измерения провести с диодами VD2 и VD4.

Построить ВАХ прямых ветвей диодов на одном графике. Определить материал диодов (германий, кремний). Рассчитать прямое дифференциальное сопротивление на линейном и квадратичном участках ВАХ германиевого диода.

2. Снятие обратных ветвей диодов.

Подать обратное напряжение, установив КПЗ в соответствии с рисунком:



В качестве амперметра для диодов VD1, VD2 использовать прибор АВО на шкале 10 мкА. Измерения начать с диода VD1. Изменяя входное напряжение, контролировать $U_{обр}$ (АВМ–2) и $I_{обр}$ (АВМ–1). Данные занести в таблицу №2.

Таблица №2

| | |
|------------------------------|--|
| $U_{\text{обр}}, \text{В}$ | |
| $I_{\text{обр}}, \text{мкА}$ | |

При измерении $I_{\text{обр}}$ диода VD2 стрелка амперметра АВО не отклоняется, т.к. чувствительности прибора недостаточно для измерения малого $I_{\text{обр}}$ диода VD2.

Построить ВАХ диодов для обратного включения на предыдущем графике. Рассчитать дифференциальное сопротивление VD1 в точке, заданной преподавателем. При измерении $I_{\text{обр}}$ диода VD4 использовать амперметр АВМ–1.

Построить ВАХ $I_{\text{обр}} = f(U_{\text{обр}})$ для VD4 и отметить участок, где есть стабилизация напряжения. Рассчитать на этом участке дифференциальное сопротивление стабилитрона (VD4). Анализируя ВАХ диодов, сделать выводы об их применении.

3. Работа выпрямительного диода в выпрямителе.

Для исследования используется схема стенда ЛУ-1 «Выпрямитель однополупериодный».

Зарисовать осциллограммы входного ($U_{\text{п}}$) и выходного сигналов. Сделать выводы о выпрямительных свойствах диода. Включить С1. Измерить постоянное напряжение.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение дрейфа.
2. Дайте определение диффузии.
3. Объясните процесс образования потенциального барьера.
4. Процессы в р-п-переходе при прямом включении.
5. Процессы в р-п-переходе при обратном включении.
6. Основное свойство р-п-перехода.
7. Чем отличаются ВАХ германиевого и кремниевого диодов?

8. Особенности ВАХ стабилитрона.
9. Поясните, как использовать исследуемые диоды в соответствии с их ВАХ?

Работа №2

Схема с общей базой

Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование и анализ характеристик биполярного транзистора (БТ), включенного по схеме с общей базой (ОБ).

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Биполярный транзистор - полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р-п-переходами и тремя выводами, пригодный для усиления мощности электрических сигналов. В БТ физические процессы определяются движением носителей заряда обоих знаков – основных и не основных.

Биполярный транзистор содержит три полупроводниковые области с чередующимися типами проводимости n-p-n или p-n-p (рис.2.1), которые называются соответственно эмиттером, базой и коллектором, а переходы, разделяющие эти области – эмиттерным (Э) и коллекторным (К). Взаимодействие между переходами обеспечивается благодаря тому, что толщина базы много меньше диффузионной длины не основных носителей в базе.

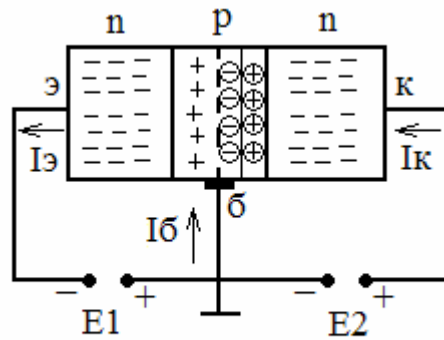


Рис.2.1

Рассмотрим принципы действия БТ типа n-p-n. Для p-n-p полярность рабочих напряжений и направления токов противоположны. В активном режиме, являющемся основным для усилительных схем, на эмиттерный переход подается прямое напряжение, а на коллекторный – обратное. Электроны, инжектированные в базу, движутся к коллекторному переходу. Часть электронов, инжектированных в базу, не доходит до коллекторного перехода вследствие рекомбинации. Однако их число не велико, т.к. толщина базы мала по сравнению с диффузионной длиной электронов. Электроны, достигающие коллекторного перехода, втягиваются в него электрическим полем и перебрасываются в коллектор. Таким образом, в активном режиме коллектор собирает инжектированные в базу электроны. Процесс освобождения базы от не основных носителей (электронов) называется экстракцией. Таким образом, следующие процессы обеспечивают токи транзистора: инжекция – ток эмиттера $I_э$, рекомбинация – ток базы $I_б$, экстракция – ток коллектора $I_к$.

Понимание характера этих процессов помогает запомнить следующее выражение:

$$I_э = I_к + I_б, I_б \ll I_к, I_к \approx I_э,$$

но всегда $I_к < I_б$

Изменением потенциального барьера Э-го перехода изменяется уровень инжекции, т.е. $I_э$, а как результат, $I_к$. Т.е. входной ток ($I_э$) изменяет выходной ($I_к$) – в этом заключается управление транзистором. Ток

коллекторного перехода определяется током эмиттерного перехода – в этом проявляется взаимодействие переходов БТ.

После того, как изучено движение носителей заряда в активном режиме, нетрудно перейти к пониманию процессов в режимах отсечки и насыщения. Обратите внимание, что в режиме отсечки $I_э = 0$, а ток коллектора не равен 0. Обратный ток коллекторного перехода $I_{к0}$ (иногда его называют тепловым из-за его сильного возрастания при повышении температуры) незначителен по величине, но может привести к нестабильной работе схемы. Режим насыщения связан с изменением смещения коллекторного перехода с обратного на прямое. Реально полярность E_2 не меняют, инверсия смещения происходит из-за накопления не основных носителей в Б около К-го перехода вследствие его ограниченной пропускной способности, т.е. уровень экстракции падает. При дальнейшем возрастании прямого смещения К-го перехода экстракция прекращается и $I_к = 0$.

На рис. 2.3 показаны входные и выходные ВАХ транзистора, включенного по схеме ОБ (рис. 2.2).

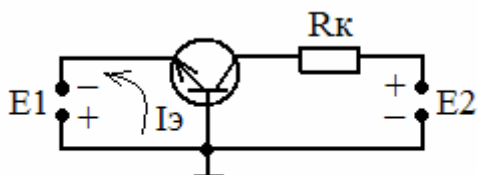


Рис.2.2

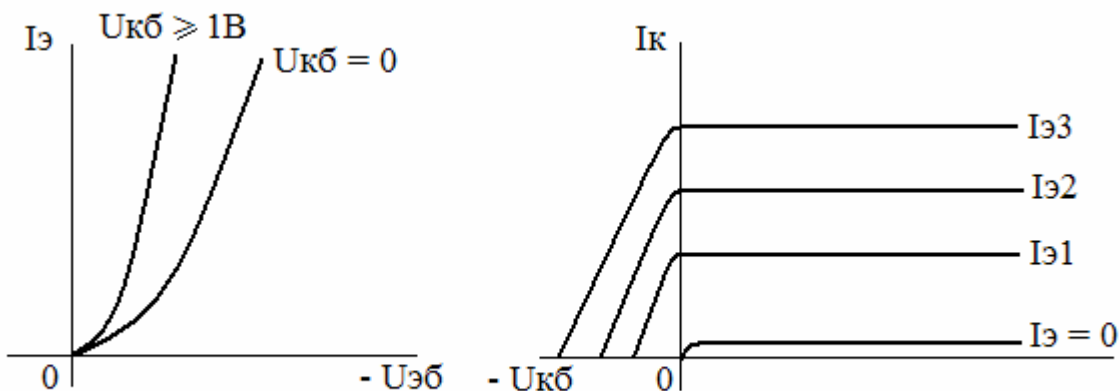


Рис.2.3

Входное напряжение $U_{вх} = U_{ЭБ}$, $U_{вых} = U_{КБ}$, т.е. входное и выходное напряжения задают и измеряют относительно общего электрода – базы. Входным током $I_{вх}$ является $I_{Э}$, выходной ток $I_{вых} = I_{К}$.

Параметрами входных характеристик является $U_{КБ}$. При $U_{КБ} = 0$ зависимость $I_{Э} = f(U_{ЭБ})$ практически не отличается от ВАХ диода.

При $U_{КБ} > 1В$, кривые сливаются. Отметим, что входные ВАХ имеют криволинейный характер и линейные участки, т.е. входная цепь БТ может быть источником нелинейных искажений. По входной ВАХ можно определить дифференциальное сопротивление БТ, которое примерно равно малосигнальному параметру

$$h_{11б} = \Delta U_{ЭБ} / \Delta I_{Э} \Big|_{U_{КБ} = \text{const}}$$

Параметром выходных характеристик является $I_{Э}$. Кривая с параметром $I_{Э} = 0$ соответствует режиму отсечки. Кривые при $U_{КБ} > 0$ соответствуют режиму насыщения. Между этими двумя режимами находится активный режим. Отметим, что в активном режиме кривые выходного семейства эквидистанты, что обеспечивает хорошую линейность усиления. По выходным ВАХ можно определить дифференциальный коэффициент передачи $I_{Э}$

$$h_{21б} = \frac{\Delta I_{К}}{\Delta I_{Э}} \Big|_{U_{КБ} = \text{const}}$$

и дифференциальное выходное сопротивление БТ

$$r_{вых} = \frac{1}{h_{22б}}, \text{ где } h_{22б} = \Delta I_{К} / \Delta U_{КБ} \Big|_{I_{Э} = \text{const}}$$

Применяя формулы для расчета $h_{11б}$ и $h_{22б}$, можно убедиться, что входное сопротивление схемы невелико – единицы-десятки Ом, а выходное большое – сотни кОм и даже несколько Мом. Схема усиливает напряжение и мощность, но не усиливает ток ($h_{11б} < 1$).

Лабораторное задание

Установить сменную плату №5, наборное поле - в положение 1. Исследуемый транзистор p-n-p. Соединить ГТ стенда с соответствующими точками платы, при этом ГТ будет источником тока эмиттера – $I_{Э}$.

Подключить прибор АВМ–1 для измерения напряжения Э–Б, учитывая, что $U_{ЭБ} < 1В$. Закоротить точки Х1- Х2. Подключить прибор АВМ–2 для измерения тока коллектора I_K . Соединить источник ГН1 стенда с соответствующими точками платы, при этом он задает напряжение на коллекторный переход транзистора, т.е. $U_{КБ}$.

1. Снятие входных характеристик.

Установить $U_{КБ} = 0В$. Контролировать $U_{КБ}$ по прибору ИВ (измеритель выхода), установив его переключатель в положение ГН1, при этом он индицирует значение $I_Э$. Изменять $I_Э$ потенциометром ГТ и контролировать $U_{ЭБ}$ (по АВМ–1); значения $I_Э$ и $U_{ЭБ}$ занести в таблицу № 2.1.

Таблица № 2.1

| | |
|-----------------------------------|--|
| $I_Э, мА$ | |
| $U_{ЭБ}, В$ при $U_{КБ} = 0В$ | |
| $U_{ЭБ}, В$ при $U_{КБ} = -5В$ | |

Построить по результатам измерений график $I_Э = f(U_{ЭБ}) | U_{КБ}=0В$. Установить $U_{КБ} = -5В$ и снять, аналогично предыдущему, график $I_Э = f(U_{ЭБ}) | U_{КБ} = -5В$.

Сделать выводы о характере зависимостей. Рассчитать $h_{11б}$ в рабочей точке, заданной преподавателем.

2. Снятие выходных характеристик.

Установить $I_Э = 1мА$. Контролировать $I_Э$ по ИВ, положение переключателя которого «ГТ». Установить переключатель ИВ в положение ГН1, начиная со значения -5В в сторону уменьшения абсолютного значения до 0; измерять ток I_K прибором АВМ–2. Далее увеличивать $+ U_{КБ}$ до значения, при котором I_K станет равным 0. Результаты измерений занести в таблицу № 2.2. Построить по результатам измерений график $I_K = f(U_{КБ}) | I_Э = 1мА$.

Таблица № 2.2

| | |
|-------------|--|
| $U_{КБ}, В$ | |
|-------------|--|

| | |
|--------------------------------|--|
| I_K , мА при $I_E = 1$ мА | |
| I_K , мА при $I_E = 2$ мА | |
| I_K , мА при $I_E = 3$ мА | |

Устанавливая $I_E = 2$ мА и $I_E = 3$ мА, снять (аналогично описанному выше) графики $I_K = f(U_{КБ})|_{I_E=2\text{мА}}$ и $I_K = f(U_{КБ})|_{I_E=3\text{мА}}$.

Сделать выводы о характере зависимостей. Рассчитать h_{216} , h_{226} и выходное сопротивление схемы ($\sim 1/h_{226}$).

Контрольные вопросы

1. Физические процессы в биполярном транзисторе.
2. Покажите, что активный режим БТ является управляемым.
3. Усилительные свойства схемы ОБ.
4. Почему схема ОБ не усиливает ток?
5. Определение входного сопротивления.
6. Определение выходного сопротивления.
7. Физический смысл h -параметров.

Работа №3

Схема с общим эмиттером

Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование и анализ характеристик транзистора (БТ), включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ).

Методические указания к выполнению лабораторной работы

На рис. 3.1 представлена схема ОЭ. Входным является напряжение Б-Э ($U_{БЭ}$), выходным К-Э ($U_{КЭ}$), т.е. вывод эмиттера является общим для входной и выходной цепей, что и определяет название схемы (ОЭ). Входной ток – ток базы I_B , выходной – ток коллектора I_K , ток в общем проводе ($I_Э$) не изменяется.

Рассмотрим усилительные свойства БТ в схеме ОЭ.

Коэффициент усиления напряжения

$$K_U = U_{КЭ} / U_{БЭ} > 1,$$

коэффициент усиления тока

$$K_I = \frac{I_K}{I_B} > 1$$

коэффициент усиления мощности

$$K_P = K_I \cdot K_U$$

Схема ОЭ обладает лучшими усилительными свойствами, чем ОБ (и ОК). Рассмотрим семейства статистических вольтамперных характеристик (ВАХ) схемы ОЭ. Типичные входные характеристики для маломощного транзистора $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ представлены на рисунке 3.2.

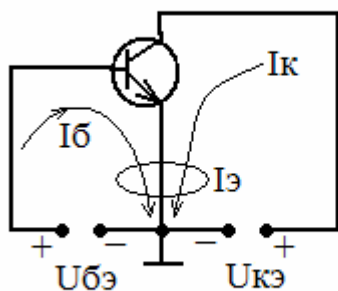


Рис. 3.1

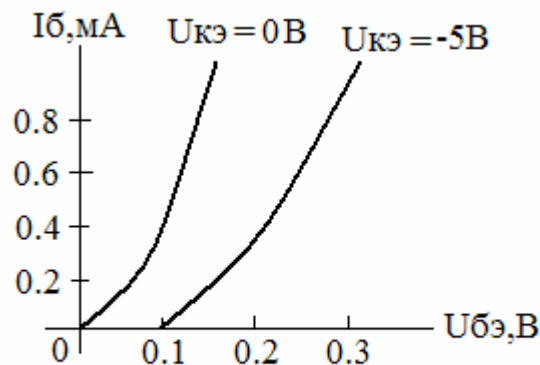


Рис. 3.2

Напряжение, приложенное к переходу Б-Э, является прямым. Поэтому входная характеристика $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = 0$ представляет собой обычную ВАХ p-n-перехода при прямом смещении. При этом оба перехода смещены в прямом направлении и электроны инжектируются в базу как из эмиттера, так и из коллектора. Поэтому при заданном напряжении $U_{БЭ}$ входной ток, определяемый инжекцией дырок из базы в коллектор и эмиттер, а также

рекомбинацией электронов в базе, имеет наибольшее значение. При повышении $U_{кэ}$ коллекторный переход смещается в обратном направлении, входной ток уменьшается, т.к. прекращается инжекция дырок из базы в коллектор и уменьшается ток рекомбинации из-за снижения заряда электронов в базе.

В области больших прямых напряжений и токов на входные характеристики сильно влияет сопротивление базы. В результате характеристика на этом участке приближается к линейной. При больших обратных напряжениях на эмиттерном переходе наблюдается пробой. Механизм пробоя на эмиттерном переходе является туннельным вследствие высокой концентрации примесей.

Выходные характеристики представлены на рисунке 3.3. Параметром семейства является ток базы. Пологий участок характеристик соответствует активному режиму. На этом участке ток коллектора заметно увеличивается с ростом $U_{кэ}$. Таким образом, дифференциальное выходное сопротивление в активном режиме для схемы ОЭ значительно ниже, чем для схемы ОБ. Кроме того, характеристики неэквидистантны, т.е. при одинаковом изменении тока базы характеристики располагаются на разных расстояниях друг от друга.

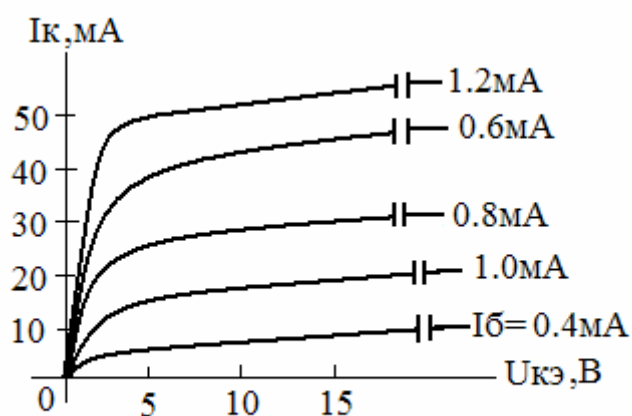


Рис. 3.3

Крутые участки характеристик при малых напряжениях $U_{кэ}$ соответствуют режиму насыщения. При больших напряжениях $U_{бэ}$

наблюдается резкое увеличение тока, обусловленное пробоем. Усилительные свойства БТ в схеме ОЭ характеризуются коэффициентом передачи тока

базы: $\beta = \frac{I_K}{I_B}$.

Он связан с коэффициентом передачи тока эмиттера: $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$.

Малосигнальные h- параметры определяются по ВАХ:

$$h_{11_{\text{Э}}} = \Delta U_{\text{БЭ}} / \Delta I_{\text{Б}} \mid U_{\text{КЭ}} = \text{const}$$

$$h_{12_{\text{Э}}} = \Delta U_{\text{БЭ}} / \Delta U_{\text{КЭ}} \mid I_{\text{Б}} = \text{const}$$

$$h_{21_{\text{Э}}} = \Delta I_{\text{К}} / \Delta I_{\text{Б}} \mid U_{\text{КЭ}} = \text{const}; \quad h_{21_{\text{Э}}} \approx \beta$$

$$h_{22_{\text{Э}}} = \Delta I_{\text{К}} / U_{\text{КЭ}} \mid I_{\text{Б}} = \text{const}$$

Применяя формулы для расчета $h_{11_{\text{Э}}}$ и $h_{22_{\text{Э}}}$, можно убедиться, что входное и выходное сопротивления – сотни Ом.

Сделайте вывод о достоинствах и недостатках схемы ОЭ. Сравните схемы ОЭ и ОБ.

Лабораторное задание

Установить сменную плату №6, наборное поле в положении 1. Исследуемый транзистор р-п-р. Соединить ГТ стенда с соответствующими точками, при этом ГТ будет источником тока базы - $I_{\text{Б}}$. Подключить прибор АВМ-1 для измерения напряжения Б-Э, учитывая, что $U_{\text{БЭ}} < 1\text{В}$. Закоротить точки Х1-Х2.

Подключить прибор АВМ-2 для измерения тока коллектора $I_{\text{К}}$. Соединить источник ГН2 стенда с соответствующими точками платы, при этом он задает напряжение $U_{\text{КЭ}}$.

1. Снятие входных характеристик.

Установить $U_{\text{КЭ}} = 0\text{В}$. Контролировать $U_{\text{КЭ}}$ по прибору ИВ, установив его переключатель в положение ГН2.

Установить переключатель прибора ИВ в положение ГТ, при этом он индицирует значение $I_{\text{Б}}$. Изменять ток базы $I_{\text{Б}}$ потенциометром ГТ и

контролировать $U_{БЭ}$ (по АВМ–1); значение I_B и $U_{БЭ}$ занести в таблицу №3.1. Построить по результатам измерений график $I_B = f(U_{БЭ})|_{U_{КЭ} = 0В}$.

Таблица №3.1

| | |
|------------------------------------|--|
| I_B , мА | |
| $U_{БЭ}$, В при $U_{КЭ} = 0В$ | |
| $U_{БЭ}$, В при $U_{КЭ} = -5В$ | |

Установить $U_{КЭ} = -5В$ и снять (аналогично предыдущему) график $I_B = f(U_{БЭ})|_{U_{КЭ} = -5В}$. Сделать выводы о характере зависимостей. Рассчитать $h_{11Э}$, $h_{12Э}$ в рабочей точке, выбранной на линейном участке входной ВАХ.

2. Снятие выходных характеристик.

Установить $I_B = 0.1мА$; контролировать I_B по ИВ, положение переключателей которого «ГТ». Установить переключатель ИВ в положение ГН2. Изменять напряжение $U_{КЭ}$ потенциометром ГН2, начиная с $-10В$ в сторону уменьшения абсолютного значения до 0 ; измерять ток I_K прибором АВМ–2. Результаты измерений занести в таблицу №3.2. Построить по результатам измерений график $I_K = f(U_{КЭ})|_{I_B = 0.1мА}$.

Таблица №3.2

| | |
|---------------------------------|--|
| $U_{КЭ}$, В | |
| I_K , мА при $I_B = 0.1мА$ | |
| I_K , мА при $I_B = 0.2мА$ | |
| I_K , мА при $I_K = 0.3мА$ | |

Устанавливая $I_B = 0.2мА$ и $I_B = 0.3 мА$, снять (аналогично описанному выше) графики $I_K = f(U_{КЭ})|_{I_B = 0.2мА}$ и $I_K = f(U_{КЭ})|_{I_B = 0.3мА}$. Сделать выводы о

характере зависимостей. Оценить дифференциальное выходное сопротивление схемы ($\sim 1/h_{22\varepsilon}$) в активном режиме. Рассчитать $h_{21\varepsilon}$.

Сравнить схемы ОБ и ОЭ по следующим признакам: усилительные свойства, входное и выходное сопротивления, линейность характеристик.

Контрольные вопросы

1. Почему схема на рисунке 3.1 называется схемой с ОЭ?
2. Покажите, что $K_U > 1$.
3. Покажите, что $K_I > 1$.
4. Покажите на схеме ОЭ контура токов I_{ε} , I_B , I_K .
5. Почему при больших прямых напряжениях входная характеристика линейна?
6. Укажите области, соответствующие активному режиму и режиму насыщения.

Работа №4

Биполярный транзистор в усилительных каскадах

Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование и анализ работы биполярного транзистора в усилительных каскадах, включенного по схеме ОЭ.

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Одним из важнейших применений транзистора является усиление переменного сигнала с допустимым или заданным уровнем искажений.

Усиление сигнала происходит за счет энергии источника постоянного тока в цепи коллектора с помощью транзистора. Напомним, что наилучшими усилительными свойствами обладает схема ОЭ, поэтому она получила наибольшее распространение. Однако, с точки зрения нелинейных искажений лучше схема ОБ, поэтому она используется в выходных каскадах, где на транзистор подаются большие входные сигналы.

Для правильного использования транзистора в режиме усиления необходимо изучить особенности его режимов и способы их обеспечения. Для этого построим нагрузочную прямую постоянного тока для схемы, представленной на рис. 4.1.

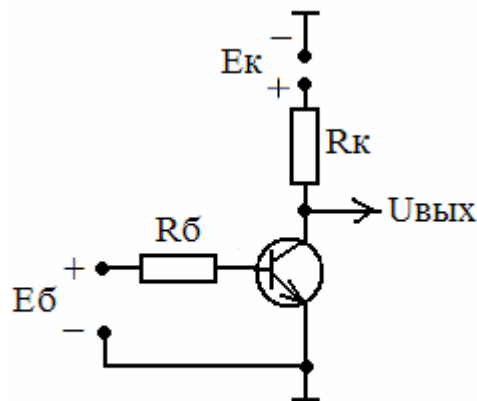


Рис.4.1

Правило построения нагрузочной прямой постоянного тока (рис.4.2)

$$U_{кэ} = E_k, I_k = 0 \text{ (холостой ход)}$$

$$U_{кэ} = 0, I_{кз} = \frac{E_k}{R_k} \text{ (короткое замыкание)}$$

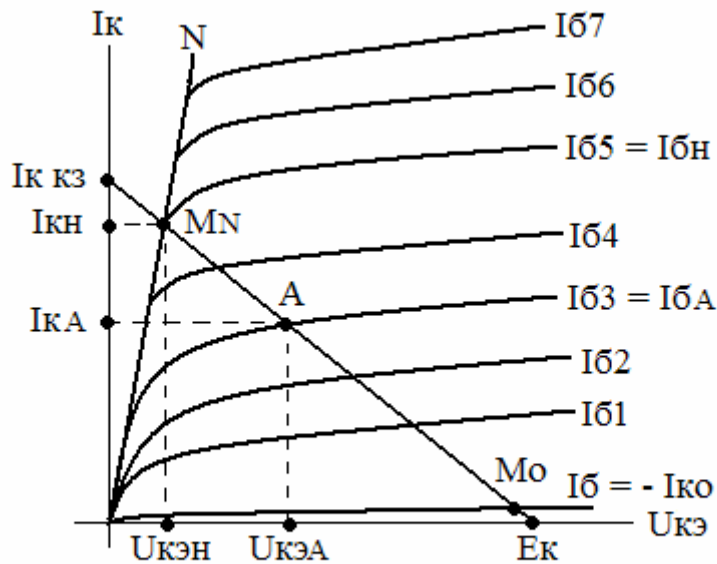


Рис.4.2

а) Режим отсечки:

M_0 – точка, соответствующая режиму отсечки.

Параметры этого режима:

$$I_{Э} = 0, \quad I_{Б} = -I_{К0}, \quad I_{К} = I_{К0}$$

$$U_{ВЫХ} = U_{КЭ} = E_{К} - I_{К0} R_{К} \cong E_{К}$$

Сопротивление БТ в режиме отсечки $\bar{r}_{ТР} \approx \frac{E_{К}}{I_{К0}}$ – самое большое для

данной схемы. Часто считают, что $\bar{r}_{ТР} = \infty$.

Обеспечение режима:

$E_{Б}$ – отрицательное, при этом $|E_{Б}| > |I_{К0max} \cdot R_{Б}|$ (рис.4.3).

Обычно $E_{Б}$ больше правой части на 0.2.....0.5В.

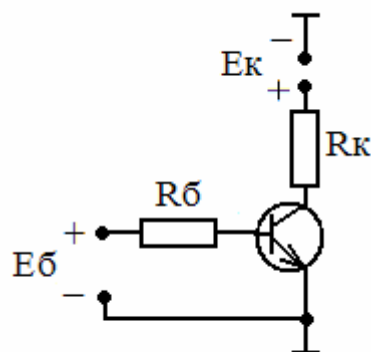


Рис.4.3

б) Активный режим.

В этом режиме E_B – положительное (рис.4.1). С увеличением тока базы (входного) будет увеличиваться выходной ток I_K и уменьшаться выходное напряжение $U_{KЭ}$ и сопротивление транзистора $r_{тр}$. Это говорит об управляемости режима. Для обеспечения любой точки активного режима, например, А, нужно задать E_K , R_K таким образом, чтобы нагрузочная прямая проходила через точку А; а также задать $I_{БА}$ (для схемы на рис.4.1 – сопротивление $R_b = \frac{E_B}{I_{БА}}$). При этом фиксируется точка А и $I_{КА}$, $U_{KЭА}$.

в) Режим насыщения.

Линия ON – касательная к кривым семейства выходных характеристик (рис. 4.2) – линия насыщения. Точка пересечения нагрузочной прямой постоянного тока и линии ON определяет положение точки M_N , рабочей точки БТ в режиме насыщения. Ей соответствуют ток $I_{КН}$ и напряжение $U_{KЭН}$ насыщения. Очевидно, что $I_{КН}$ - самый большой коллекторный ток, который может быть достигнут в схеме при заданных E_K и R_K , а $U_{KЭН}$ - самое малое $U_{KЭ}$. Поэтому сопротивление БТ в режиме насыщения $r_{тр} = \frac{U_{KЭН}}{I_{КН}}$ - минимальное. Часто считают его равным нулю.

Параметр кривой семейства, на рис.4.3 исходящей из точки M_N , является током базы насыщения $I_{БН}$ (на рис. 4.2 – это $I_{Б5}$). При $I_B > I_{БН}$ положение точки M_N не изменяется, т.е. изменение входного параметра (I_B) не вызывает изменения выходных параметров (I_K , $U_{KЭ}$), что говорит о неуправляемости режима насыщения. Увеличивается $S = \frac{I_B}{I_{БН}}$ - степень насыщения.

Обеспечение режима: напряжение E_B положительное, при этом необходимо задать ток базы $I_B = S \cdot I_{БН}$ для режима насыщения $S \geq 1$.

$I_{БН}$ можно определить графически (см. выше) или аналитически (для рис.4.1):

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta} = \frac{E_K}{\beta \cdot R_K}$$

Задается I_B выбором R_B . Основным режимом при усилении является активный.