

Лабораторная работа 4. Исследование характеристик транзистора

Центральный слой транзистора называют базой, источник носителей заряда (для п-р-п - электроны), левый по схеме слой - эмиттер, слой, собирающий носители зарядов - коллектор. На переход эмиттер-база напряжение подается в прямом направлении, поэтому даже при малых напряжениях через него проходит значительный ток. На переход коллектор-база напряжение подается в обратном направлении. Это напряжение должно быть значительно больше напряжения эмиттер-база.

Пока I_3 равен нулю, в коллекторе ток обусловлен движением только неосновных носителей зарядов (дырок), которые находятся в коллекторе и базе и имеют малую величину $I_{К0}$.

При подключении напряжения E_3 возникает ток эмиттера I_3 . Электроны, попавшие в область базы, частично рекомбинируют с ее дырками. Однако, базу обычно выполняют с малой концентрацией примесей и лишь немного электроны, попавшие в область базы, рекомбинируют с ее дырками, образуя базовый ток I_6 . Большинство электронов под воздействием электрического поля коллектора (направление поля от коллектора к базе) достигает коллектора, образуя ток $I_к$.

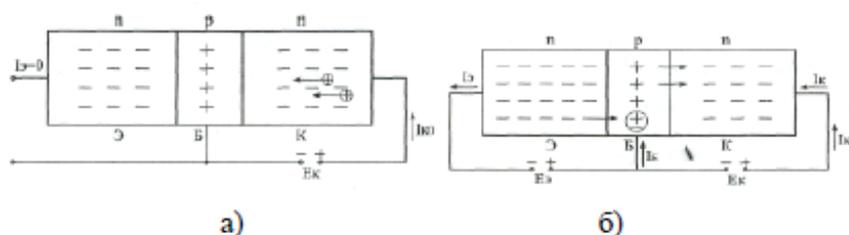


Рисунок 2. - Движение носителей заряда в транзисторе:

а) - при $I_3 = 0$; б) - $I_3 > 0$

Связь между приращением эмиттерного и коллекторного токов характеризуется коэффициентом передачи тока:

$$\alpha = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} < 1.$$

В рассмотренном случае база является общим электродом для эмиттерной и коллекторной цепей. Такая схема включения транзисторов называется схемой с общей базой, при этом эмиттерная цепь является входной, а коллекторная - выходной. Однако, схему с общей базой применяют редко из-за низкого коэффициента передачи тока.

Основной схемой включения транзистора считают схему, в которой общим электродом для входной и выходной цепей по переменному току является эмиттер (Рис. 3)

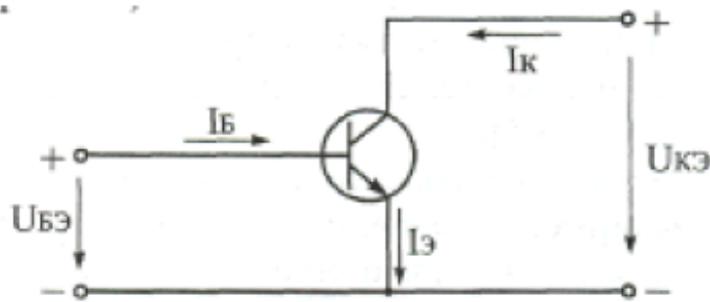


Рисунок. 3. - Включение биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером

Для такой схемы включения соблюдается равенство:

$$I_{\epsilon} = I_{\epsilon} - I_{\kappa} = (1 - \alpha) \cdot I_{\epsilon} - I_{\kappa 0}$$

$$I_{\epsilon} \ll I_{\kappa} \approx I_{\epsilon}$$

Малая величина управляющего тока I_{ϵ} обусловила широкое применение схемы с общим эмиттером. Коэффициент передачи тока для этой схемы

$$\beta = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\epsilon}} = 10 \dots 1000$$

Зависимость $I_B = I(U_{B3})$ при постоянном напряжении U_{K3} называют входной характеристикой, а зависимость тока $I_C = f(U_{B3})$ при постоянном токе I_B называют выходной характеристикой (Рис. 4).

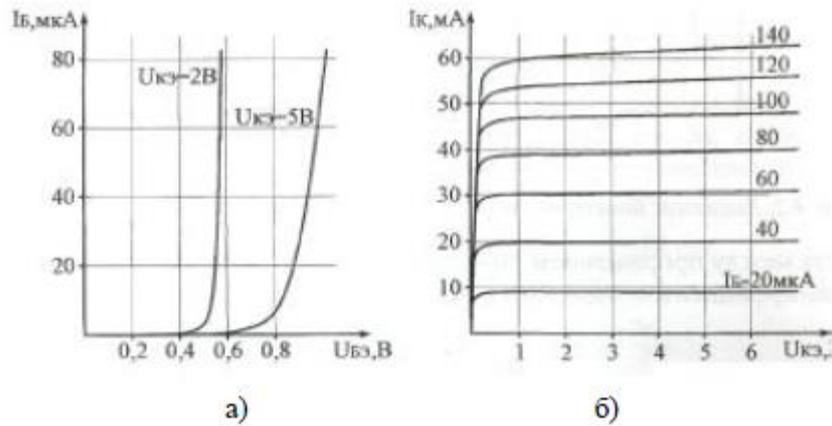


Рисунок 4. - Семейство вольтамперных характеристик биполярного транзистора: а) - входные; б) - выходные

2. Принцип действия полевого транзистора

Полевым транзистором называют прибор, в котором ток через канал управляется электрическим полем, возникающим с приложением напряжения между затвором и истоком.

Если на стержень полупроводника, например, р-типа, нанести поясok примеси n-типа, то на границе раздела областей с разной проводимостью образуется р-n-переход (Рис. 5).

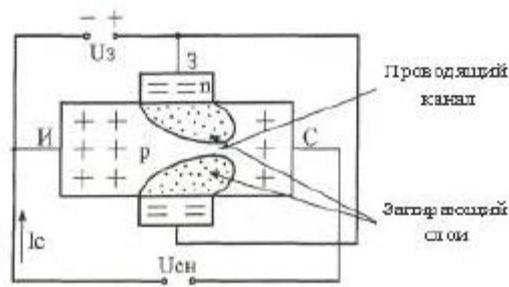


Рисунок 5 – Структурная схема полевого транзистора

Концентрация примеси в *n*-области делается значительно выше, чем в *p*-области. При этом запирающий слой, обедненный основными носителями, возникающий под действием приложенного через переход обратного напряжения (U_3) будет почти целиком расположен в участке *p*-типа.

При подаче напряжения U_C между точками И и С полупроводниками *p*-типа проводимость его будет, в основном, определяться проводимостью проводящего канала. Возникающий ток I_C будет состоять из потока дырок полупроводника *p*-типа. Дырки будут двигаться в направлении электрического поля E . Вывод И, от которого начинается движение дырок - исток; вывод С, носит название сток. Управляющий электрод З носит название затвор.

Полевые транзисторы часто называют униполярными, поскольку носителями тока являются заряды одного знака (либо *n*, либо *p*). Условное изображение полевого транзистора показано на Рис. 6.



Рисунок 6. - Условное обозначение полевого транзистора:

а) - канал *n*-типа; б) - канал *p*-типа.

Отключим источник напряжения U_3 и соединим точки И и З накоротко. С увеличением U_C будет возрастать ток стока I_C и возрастет обратное смещение *p-n*-перехода (затвор - полупроводниковый стержень). При этом запирающий слой будет расширяться, проводящий канал - сужаться. При определенном токе I_C увеличение напряжения U_C настолько сузит канал, что ток I_C перестанет увеличиваться.

Это напряжение называется напряжением отсечки, а ток, соответствующий этому напряжению, называют током насыщения $I_{нас}$ (рис. 7).

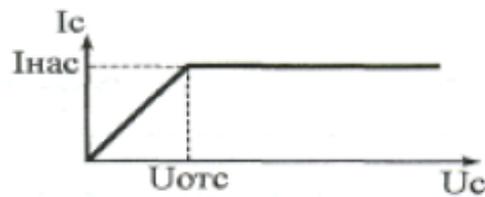


Рисунок 7. - Зависимость тока стока от напряжения сток-исток

Если отсоединить затвор от истока и подать между И и З напряжение U_3 , то при увеличении U_3 , даже при отсутствии напряжения $U_{СИ}$, канал будет сужаться.

Если одновременно с подачей U_3 , подключить $U_{СИ}$, то отсечка наступит раньше, чем при отсутствии напряжения U_3 (Рис. 8).

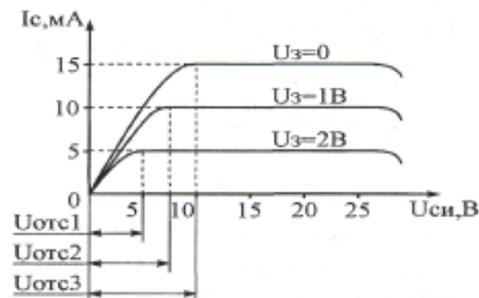


Рисунок 8. - Семейство стоковых характеристик полевого транзистора

С целью дальнейшего уменьшения тока затвора применяют полевые транзисторы с изолированным затвором, в которых между затвором и каналом помещают тонкий слой диэлектрика, р-п-переход отсутствует.

В таких транзисторах на затвор можно подать как положительное, так и отрицательное напряжение относительно истока. Вольтамперные характеристики транзисторов с изолированным затвором в основном аналогичны характеристикам транзисторов с неизолированным затвором.

3. Транзистор как активный четырёхполюсник

Транзистор можно представить в виде активного линейного четырёхполюсника, т.е. устройства имеющего два входных и два выходных зажима.

Режим работы четырёхполосника характеризуется двумя входными параметрами (U_1 и i_1) и двумя выходными (U_2 и i_2).



Рисунок 9. - Транзистор как активный четырёхполосник

Достаточно задать две из этих входных величин, чтобы графически (по характеристикам) или аналитически вычислить две остальные. В зависимости того, какие величины принимают независимыми переменными, получают различные системы параметров.

Наиболее близко соответствует рабочему режиму транзистора система h -параметров.

В этой системе в качестве независимых переменных выбирают i_2 и U_2 , что приводит к следующим уравнениям:

$$\begin{cases} U_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot U_2; \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot U_2. \end{cases}$$

Входное сопротивление транзистора при короткозамкнутой выходной цепи.

$$h_{11} = \frac{U_1}{i_1}, \quad U_2 = 0.$$

Коэффициент обратной передачи напряжения при разомкнутой выходной цепи

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2}, \quad i_1 = 0.$$

Коэффициент прямой передачи тока при короткозамкнутой выходной цепи

$$h_{21} = \frac{i_2}{i_1}, \quad U_2 = 0.$$

Выходная проводимость при разомкнутой входной цепи

$$h_{22} = \frac{i_2}{U_2}, \quad i_1 = 0.$$

Однотипные h -параметры получаются различными для различных схем включения транзисторов, поэтому их снабжают дополнительным индексом. Например: $h_{11б}$, $h_{22б}$ и т.д. - для схемы с ОБ, $h_{11э}$, $h_{22э}$, и т.д. - для схемы с ОЭ.

h -параметры можно определить по статическим характеристикам. По входным характеристикам определяют h_{11} , h_{22} .

В качестве примера рассмотрим определение h -параметров транзистора, включенного по схеме с ОЭ. В этом случае

$$i_1 = i_б, \quad U_1 = U_бэ, \quad i_2 = i_к, \quad U_2 = U_кэ.$$

Допустим, что режим работы транзистора, статические характеристики которого приведены на рисунках, задан следующими величинами:

$$U_{кэ} = -3В, \quad I_б = 400 \text{ мкА}.$$

Необходимо определить h -параметры.

Давая приращение току базы $\pm I_б$ вблизи выбранной точки А (A' и A''), находим приращение $\pm U_бэ$ при $\Delta U_к = 0$, после чего определяем

$$h_{11} = \frac{\Delta U_бэ}{\Delta I_б} = \frac{0,19 - 0,115}{600 - 200} = 18,75 \text{ Ом}.$$

Вычисляем

$$h_{12э} = \frac{\Delta U_бэ}{\Delta U_кэ} = \frac{0,25 - 0,085}{5 - 1} = 0,0412.$$

Определяем $h_{21э}$ по рисунку, на котором точка Г соответствует выбранному режиму, а точки Г' и Г'' - приращению $\Delta I_к = 0$ при $\Delta U_кэ = 0$.

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} = \frac{22 - 7,5}{0,6 - 0,2} = 36,25.$$

Определяем $h_{22э}$, по треугольнику KCF, в котором катет KC параллелен оси абсцисс:

$$h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_{KЭ}} = \frac{16 - 14}{5 - 0,6} = 0,00046 \frac{1}{\text{Ом}}$$

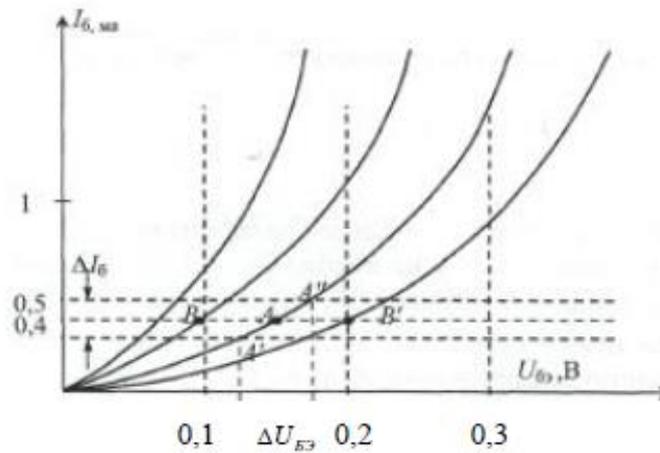


Рис. 4.10. Входные характеристики транзисторов в схеме с ОЭ

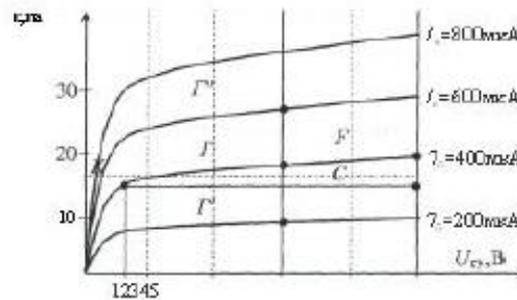


Рисунок 11 - Выходные характеристики транзисторов в схеме с ОЭ

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Исследование биполярного транзистора.

4.1.1. Исследование входных характеристик транзистора

4.1.2. Перечень приборов

- Источник постоянного напряжения – 2 шт.;
- Подстроечный резистор (100 Ом);
- Вольтметр – 2 шт.;

- Амперметр;
- Биполярный транзистор 2N2218.

4.1.3. Соберите схему для снятия входных вольтамперных характеристик биполярного транзистора (Рисунок 12, а).

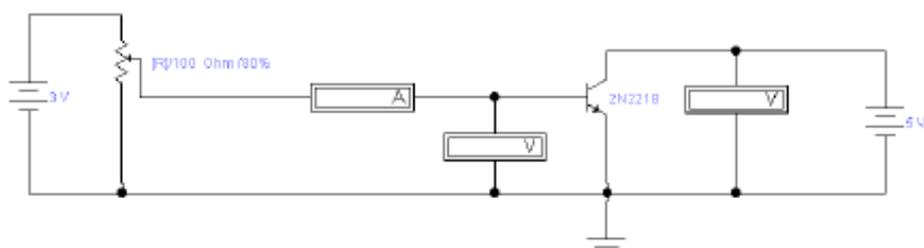


Рисунок 12 - Схема для снятия входных вольтамперных характеристик биполярного транзистора

Снимите входные характеристики транзистора $I_b = f(U_{be}), U_{ce} = const$. Исследования производить следующим образом: Напряжение источника питания коллектор-эмиттер установить равным 0 В, а величину тока базы изменять путем изменения номинального значения подстроечного резистора (от 0% до 100% с шагом в 20%). При каждом шаге снимать показания вольтметра эмиттер-база и амперметра. Этими значениями заполнить строки 1 и 2 таблицы 1 соответственно. Затем установить напряжение источника питания коллектор-эмиттер, равным 5 В, и повторить те же действия, заполняя третью строку таблицы 1.

Таблица 1

Исследование входных характеристик транзистора

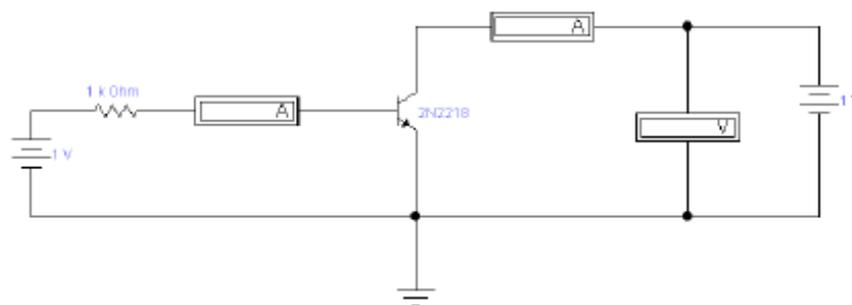
$U_{бэ}, В$							$U_{кэ}, В$
$I_{б1}, мкА$							0
$I_{б2}, мкА$							5 В

4.1.4. Исследование выходных характеристик транзистора

4.1.5. Перечень приборов

- Источник постоянного напряжения – 2 шт.;
- Резистор на 100 Ом;
- Вольтметр;
- Амперметр – 2 шт.;
- Биполярный транзистор 2N2218.

4.1.6. Соберите схему для снятия входных вольтамперных характеристик биполярного транзистора (Рисунок 12, б).



б)

Рисунок 12, б - Схема снятия выходных вольтамперных характеристик биполярного транзистора

Снимите выходные характеристики транзистора $I_c = f(U_{кэ}), I_b = const$. Установить значение тока базы (показания амперметра в цепи базы) путем изменения номинального значения сопротивления. При этом следует учитывать, что номинальные значения сопротивления резистора необходимо подбирать такими, чтобы ток базы соответствовал заданным в таблице 2 значениям (подбор выполнять при любых значениях $U_{кэ}$, кроме 0). Величины подобранных номинальных значений сопротивлений внести в колонку R. Затем, изменяя величину напряжения источника питания коллектор-эмиттер

от 0 В до 5В, фиксировать показания амперметра в коллекторной цепи и эти данные занести в таблицу 2, строка 2. Затем устанавливаются следующие значения токов базы и опыты повторяются.

Таблица 2

Исследование выходных характеристик транзистора

$U_{кз}, В$	0	1	2	3	4	5	R	$I_б, мкА$
$I_{к1}, мА$								200
$I_{к2}, мА$								300
$I_{к3}, мА$								400

По данным таблиц 1 и 2 построить семейство входных и выходных характеристик транзистора.

По выходной характеристике определите коэффициент передачи тока β транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

4.2. Исследование стоковых характеристик полевого транзистора

4.2.1. Перечень приборов

- Источник постоянного напряжения – 2 шт;
- Вольтметр – 2 шт.;
- Амперметр;
- Полевой транзистор MPF971.

4.2.2. Соберите схему для снятия входных вольтамперных характеристик биполярного транзистора (Рисунок 12, б).

Соберите схему для снятия семейства стоковых характеристик полевого транзистора – Рисунок 13.

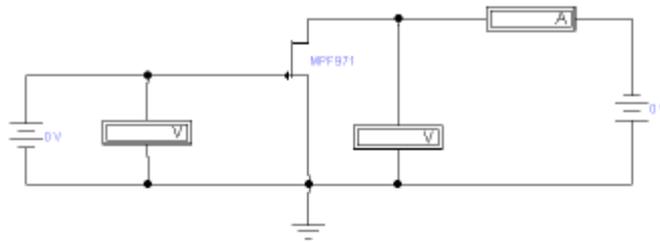


Рисунок 13 - Схема для снятия стоковых характеристик полевого транзистора

Снимите стоковые характеристики транзистора $U_g = const, I_c = f(U_{cd})$.

Опыты производить, как и в предыдущих двух исследованиях. Данные измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

Исследование стоковых характеристик полевого транзистора

$U_{сн}, В$	0	2	4	6	8	10	$U_3, В$
$I_{c1}, мА$							0
$I_{c2}, мА$							0,5
$I_{c3}, мА$							1

5. Контрольные вопросы к работе

1. Какое назначение элементов биполярного транзистора?
2. Почему в каждом элементе транзистора различная концентрация примесей?
3. В каком направлении необходимо подключить р-п-переходы эмиттер-база и база-коллектор?
4. Изобразить транзистор n-p-n структуры включенный по схеме с общим эмиттером.
5. Изобразить входные и выходные вольтамперные характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.
6. Объяснить принцип действия полевого транзистора.
7. Изобразить семейство стоковых характеристик полевого транзистора.
8. В чём заключается преимущество полевого транзистора?