

Лабораторная работа № 1

Исследование характеристик биполярного транзистора

Цель работы: Изучить принцип работы биполярного транзистора, получить входные и выходные вольт-амперные характеристики (ВАХ) при включении его по схеме с общим эмиттером (ОЭ), рассчитать основные параметры по переменному току.

Краткие теоретические сведения

Биполярный транзистор представляет собой полупроводниковый прибор с тремя областями чередующейся электропроводности, двумя электронно-дырочными переходами и тремя электродами. Транзистор в схему включают так, что один из его выводов является входным, второй – выходным, а третий – общим для входной и выходной цепей. В зависимости от того, какой электрод является общим, различают **три схемы подключения биполярного транзистора**: с общей базой (ОБ), с общим коллектором (ОК) и с общим эмиттером (ОЭ).

Структура транзистора типа n-p-n и схема включения с ОЭ в электрическую цепь представлены на рис. 1.1. При работе транзистора в активном режиме (режиме усиления) к эмиттерному p-n-переходу должно быть подключено прямое напряжение (p-n-переход открыт), а к коллекторному – обратное (p-n-переход закрыт).

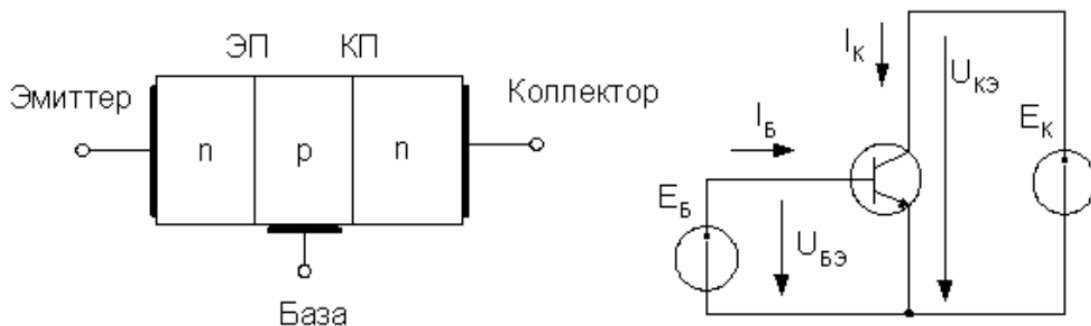


Рис.1.1. Биполярный транзистор и схема его включения

При включении транзистора по схеме с ОЭ входной является цепь базы, а выходной – цепь коллектора (эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей). Такая схема является наиболее распространенной, поскольку обладает наилучшими свойствами усиления мощности электрического сигнала.

Входной вольт-амперной характеристикой (ВАХ) транзистора в схеме с ОЭ является зависимость тока базы I_B от напряжения база-эмиттер $U_{БЭ}$, а **выходной** ВАХ – зависимость тока коллектора I_K от напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$.

Семейство входных характеристик $I_B(U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = const$ изображено на рис. 1.2, а. При $U_{КЭ} = 0$ входная ВАХ имеет вид прямой ветви ВАХ электронно-дырочного перехода, поскольку эмиттерный переход (ЭП) и коллекторный переход (КП) при этом смещены в прямом направлении и соединены параллельно друг

другу ($E_K = 0$ и внутреннее сопротивление этой ЭДС равно нулю, рис. 1.1). При $U_{KЭ} > 0$ входная ВАХ смещена вправо вследствие дополнительного падения напряжения на ЭП от протекающего по транзистору коллекторного тока. Это падение напряжения существует даже при отсутствии тока базы и соответствует участку «о-а» на рис. 1.2, а. При уменьшении $U_{БЭ}$ до нуля (выводы базы и эмиттера соединены между собой) ток базы является обратным током КП и направлен противоположно указанному на рис. 1.1, однако этот отрицательный ток базы незначителен, и практически его бывает трудно зафиксировать.

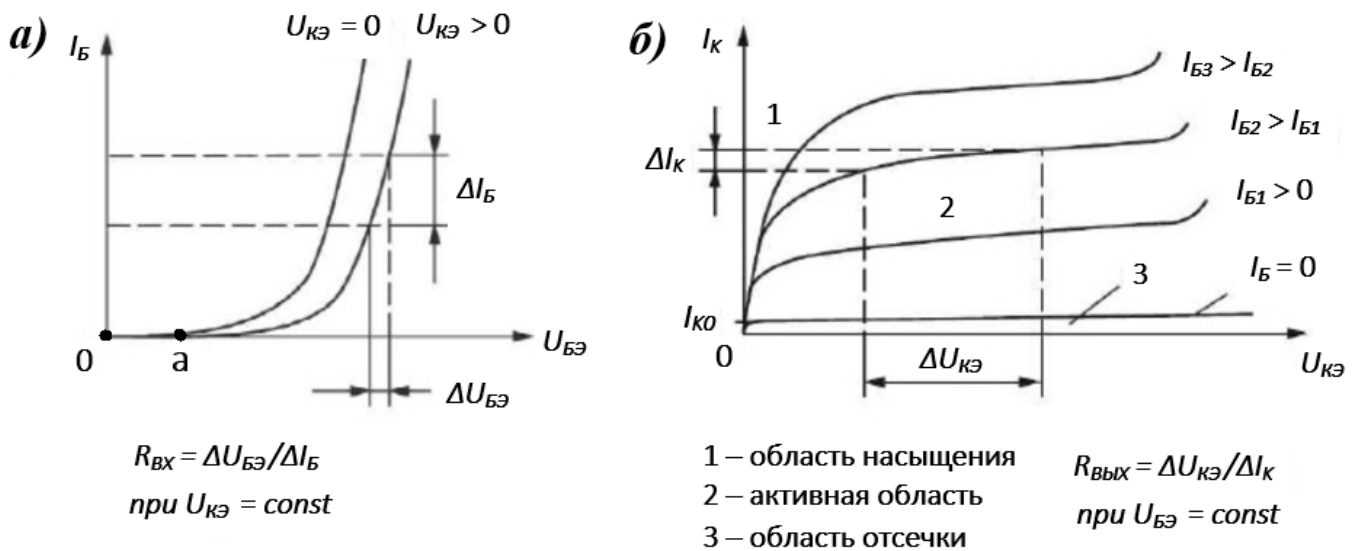


Рис.1.2. Семейства ВАХ биполярного n-p-n транзистора в схеме с ОЭ: а - входных, б – выходных

Семейство выходных характеристик $I_K(U_{KЭ})$ при $I_B = const$ изображено на рис. 1.2, б. При $I_B = 0$ выходная ВАХ имеет вид обратной ветви ВАХ электронно-дырочного перехода, увеличенной в $(\beta+1)$ раз (где β – коэффициент передачи тока), поскольку КП при этом смещен в обратном направлении. При увеличении тока базы выходные ВАХ смещаются вверх на величину βI_B .

Входные и выходные характеристики транзистора обычно приводятся в справочниках (каталогах) транзисторов, которые широко используют для анализа работы транзисторов. В режиме усиления малых переменных сигналов (напряжений и/или токов) транзистор в схеме с ОЭ часто представляют в виде линейного четырехполюсника, входные и выходные параметры которого связаны следующими уравнениями:

$$\Delta U_{БЭ} = h_{11Э} \Delta I_B + h_{12Э} \Delta U_{KЭ},$$

$$\Delta I_K = h_{21Э} \Delta I_B + h_{22Э} \Delta U_{KЭ},$$

где $h_{11Э} = \left. \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} \right|_{U_{KЭ}=const}$ (при $\Delta U_{KЭ} = 0$) – входное динамическое сопротивление транзистора (его значение лежит в пределах от 100 до 1000 Ом);

$h_{12Э} = \left. \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{KЭ}} \right|_{I_B=const}$ (при $\Delta I_B = 0$) – безразмерный коэффициент внутренней обратной связи по напряжению ($h_{12Э} = 0,002 \div 0,0002$ и при расчетах им часто

пренебрегают, то есть полагают равным нулю);

$h_{21Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{КЭ}=const}$ (при $\Delta U_{КЭ} = 0$) – коэффициент передачи (усиления) тока при постоянном напряжении на коллекторе (его также обозначают K_i или β , он принимает значения из диапазона $0 \div 200$);

$h_{22Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} \right|_{I_B=const}$ (при $\Delta I_B = 0$) – выходная проводимость транзистора при постоянном токе базы ($h_{22Э} = 10^{-6} \div 10^{-4}$).

Параметры схемы замещения транзистора с ОЭ в h-форме определяют по его входным и выходным характеристикам (см. рис. 1.2).

Характеристикой передачи тока транзистора в схеме с ОЭ является зависимость тока коллектора I_K от тока базы I_B при фиксированном напряжении коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$. Семейство характеристик передачи тока транзистора в схеме с ОЭ изображено на рис. 1.3.

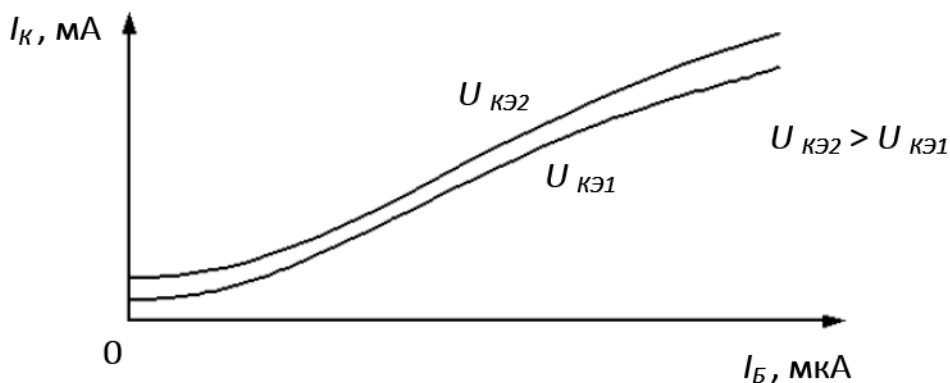


Рис.1.3. Семейство характеристик передачи транзистора в схеме с ОЭ

Характеристика передачи тока показывает, что при изменении небольшого по абсолютной величине (микроамперы) тока базы практически пропорционально изменяется значительный ток коллектора (миллиамперы), т. е. в транзисторе происходит процесс усиления электрического сигнала. Некоторая нелинейность характеристик передачи тока транзистора в схеме с ОЭ приводит к нелинейным искажениям усиленного сигнала. Следует отметить, что характеристики передачи могут быть построены без специальных измерений. Для этого можно определить соответствующие параметры по семействам входных и выходных характеристик. Применяются и другие характеристики передачи.

Коэффициент передачи переменного тока на выходе определяется по формуле: $\beta_{ac} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$. Коэффициент обратной связи по переменному напряжению на входе определяется по формуле: $\alpha_{ac} = \frac{\Delta U_{КЭ}}{\Delta U_{БЭ}}$. Соответствующие приращения токов и напряжений определяются по ВАХ транзистора (см. рис. 1.2) при заданном режиме его работы.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запустите программу Electronics Workbench (модуль Multisim). При этом автоматически будет создан и открыт новый файл, который следует сохранить, используя команду **Файл → Сохранить как**.
2. Нарисуйте схему, приведенную на рис. 1.4. Мультиметр в режиме работы амперметра ХММ1 измеряет ток базы, вольтметр U1 – напряжение база-эмиттер, вольтметр U2 – напряжение $U_{КЭ}$, а амперметр ХММ2 – ток коллектора транзистора.

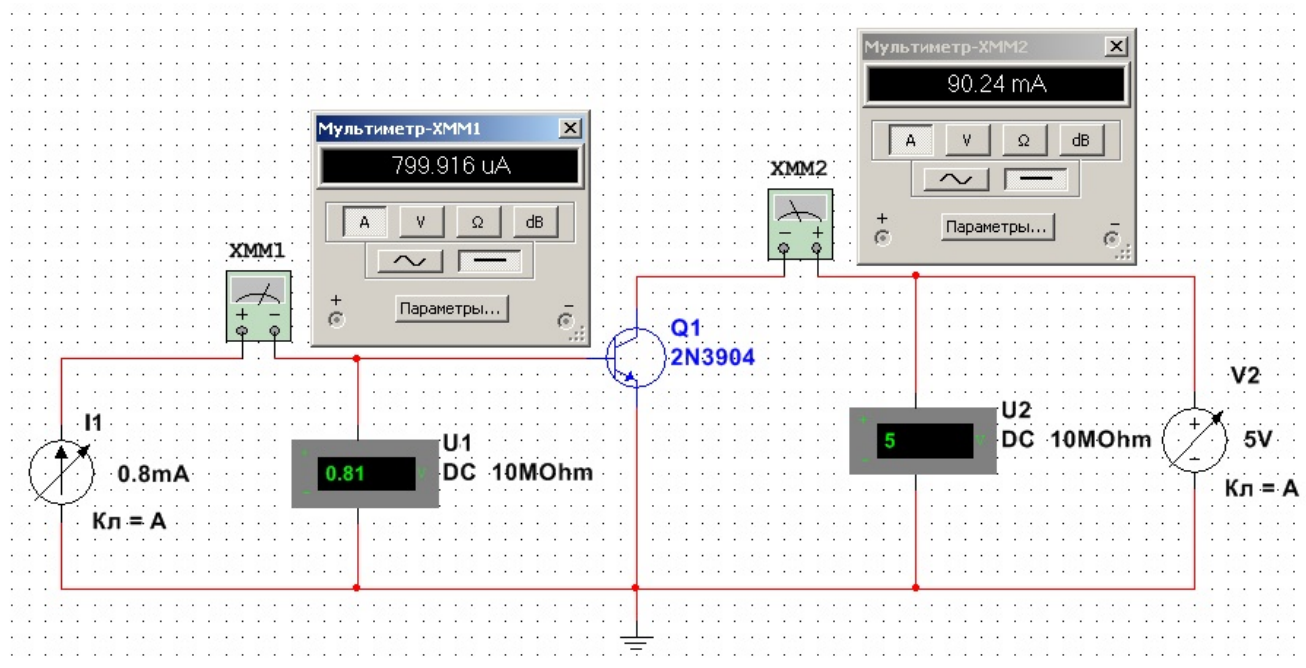


Рис. 1.4. Схема для измерения ВАХ транзистора

3. Измерьте напряжения и токи входной ВАХ транзистора при фиксированном значении $U_{КЭ} = 5\text{В}$. Для этого установите с помощью источника напряжения V2 указанное напряжение, контролируя его по показаниям вольтметра U2. Увеличивая ток базы в диапазоне от 0 до 1 мА с помощью источника тока I1, запишите показания вольтметра U1 в таблицу 1.1. Повторите измерения при $U_{КЭ} = 0\text{В}$ и 3В.

Таблица 1.1. Входные ВАХ транзистора в схеме с ОЭ

I_B , мкА		0	10	50	100	200	400	600	800	1000
$U_{КЭ} = 5\text{ В}$	$U_{БЭ}$, В									
$U_{КЭ} = 3\text{ В}$										
$U_{КЭ} = 0\text{ В}$										

4. Измерьте напряжения и токи выходных ВАХ транзистора при различных фиксированных токах базы. Для этого установите с помощью источника тока I1 наименьшее из указанных в табл. 1.2 значений токов базы, контролируя его по

показаниям амперметра ХММ1. Регулируя напряжение источника V_2 в диапазоне от 0 до 5 В соответственно табл. 1.2 (контролируйте его по показаниям вольтметра U_2), запишите показания амперметра ХММ2 в табл. 1.2. Повторите измерения для всех остальных фиксированных токов базы, указанных в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Семейство выходных ВАХ транзистора в схеме с ОЭ

$U_{кэ}, В$		0	0,1	0,2	0,5	1	3	5
$I_{к}, мА$	$I_{б} = 10 мкА$							
	$I_{б} = 200 мкА$							
	$I_{б} = 400 мкА$							
	$I_{б} = 600 мкА$							
	$I_{б} = 800 мкА$							
	$I_{б} = 1000 мкА$							

5. Сформируйте таблицу результатов измерения характеристик передачи тока транзистора для фиксированных значений $U_{кэ} = 5В, 3В$ и $0В$. Для этого из табл. 1.2 выберите соответствующие численные значения измеренных ранее параметров для значений $U_{кэ}$ и запишите их в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Характеристики передачи тока транзистора в схеме с ОЭ

$I_{б}, мкА$		
$U_{кэ} = 5 В$	$I_{к}, мА$	
$U_{кэ} = 3 В$		
$U_{кэ} = 0 В$		

6. По значениям табл. 1.1–1.3 постройте отдельные характеристики транзистора и их семейства.

7. По ВАХ транзистора определите его коэффициент передачи переменного тока β_{ac} и коэффициент обратной связи по переменному напряжению α_{ac} для заданного преподавателем режима работы (варианта): $I_{б}, мкА$; $U_{кэ}, В$.

8. По ВАХ рассчитайте входное динамическое сопротивление $h_{11э}$ и выходную динамическую проводимость $h_{22э}$ транзистора.

9. Сделайте выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроен биполярный транзистор, из каких материалов его изготавливают?
2. Какие существуют схемы включения биполярного транзистора в электрическую цепь?
3. Как происходит в транзисторе процесс усиления мощности электрических сигналов?
4. Почему схема включения транзистора с ОЭ является наиболее распространенной?
5. Какие существуют режимы работы биполярного транзистора?
6. Как зависит ток I_K от токов $I_Э$ и $I_Б$?
7. Как рассчитать h-параметры биполярного транзистора по постоянному току?
8. Определите значение $I_Э$, если $\beta = 100$, $I_Б = 0,1$ мА?
9. Определите β , если $I_K = 9,5$ мА, $I_Э = 10$ мА?
10. Как h-параметры связаны с коэффициентами α_{ac} и β_{ac} ?
11. Поясните особенности и область применения биполярных транзисторов.

Варианты заданий к лабораторной работе № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

$U_{КЭ}, В$		0	0,1	0,2	0,5	1	3	5
$I_K, мА$	$I_Б = 10 мкА$			9 вар.	1 вар.	21 вар.	27 вар.	15 вар.
	$I_Б = 200 мкА$			10 вар.	23 вар.	22 вар.	4 вар.	16 вар.
	$I_Б = 400 мкА$		26 вар.	11 вар.	2 вар.	3 вар.	28 вар.	17 вар.
	$I_Б = 600 мкА$		20 вар.	12 вар.	7 вар.	24 вар.	5 вар.	18 вар.
	$I_Б = 800 мкА$		29 вар.	13 вар.	25 вар.	8 вар.	6 вар.	19 вар.
	$I_Б = 1000 мкА$					30 вар.	14 вар.	

Вариант	Тип транзистора	Вариант	Тип транзистора
1 – 5	2N3904	16 – 20	BD537
6 – 10	2N2218	21 – 25	BD535
11 – 15	2N4401	26 – 30	BD533