

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение Образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра электроники

Лабораторная работа № 2, 3
«Исследование биполярных транзисторов»

Проверил:
Стома С. С

Выполнили:
ст. гр. 950501
Романчук А. В.
Деркач А. В.

Минск 2020

Порядок выполнения первой части работы:

1 Ознакомиться с методическим описанием лабораторной работы. (Теоретическое описание лабораторной работы изложено в методическом пособии [1], стр. 28-40).

2 Получить у преподавателя необходимый комплект для проведения лабораторной работы.

3 Уточнить тип исследуемого транзистора у преподавателя.

4 Собрать схему, представленную на рисунке 1 данного отчета, для исследования параметров биполярного транзистора р-п-р типа.

5 Исследовать входные характеристики биполярного транзистора с общей базой для двух вариантов выходного напряжения ($U_{кб}$). Полученные результаты записать в таблицы 1 – 2 данного отчета. (Качественный вид и описание входных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).

6 Исследовать выходные характеристики биполярного транзистора с общей базой для двух вариантов входного тока ($I_{э}$). Полученные результаты записать в таблицы 3 – 4 данного отчета. (Качественный вид и описание выходных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).

7 Исследовать параметры генератора на основе биполярного транзистора в схеме с общей базой.

8 Предоставить измеренные данные на проверку преподавателю.

Порядок оформления отчета:

1 По измеренным данным построить соответствующие графики.

2 По построенным графикам рассчитать h -параметры биполярного транзистора в схеме с общей базой в окрестностях рабочей точки.

3 Записать общие выводы по проделанной лабораторной работе.

[1] – Электронные приборы. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. В 2 частях. Часть 1: Активные компоненты полупроводниковой электроники / А. Я. Бельский – Минск : БГУИР, 2012

1 Цель работы

Изучить, режим работы, принцип действия, схемы включения и классификацию биполярных транзисторов (БТ). Экспериментально исследовать статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) транзисторов и рассчитать дифференциальные параметры в заданной рабочей точке.

2 Ход работы

2.1 Исследование входных характеристик БТ в схеме с общей базой (ОБ)

Для исследования характеристик БТ собрана цепь по схеме, представленной на рисунке 1.

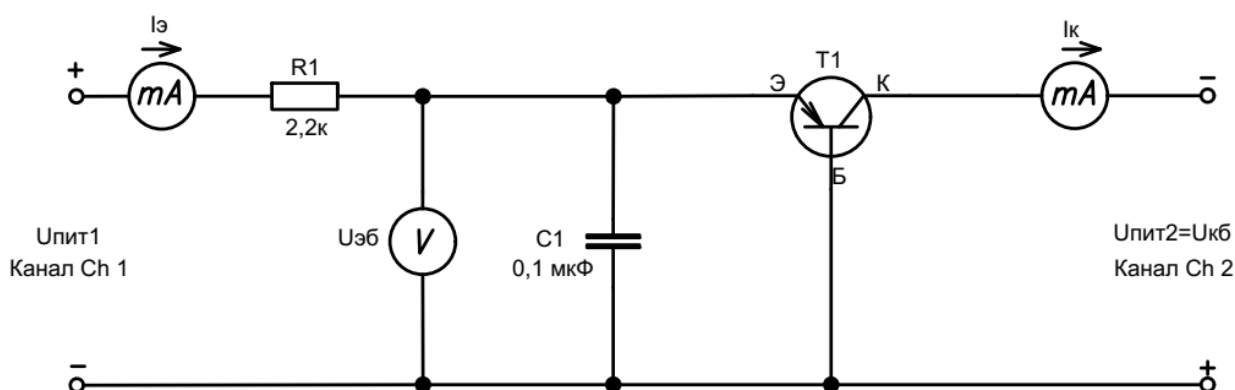


Рисунок 1 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОБ

Семейство входных характеристик БТ в схеме с ОБ $I_{\text{э}} = f(U_{\text{эб}})$ измерено для двух фиксированных значений напряжения коллектора-база $U_{\text{кб}} = 1; 10\text{В}$. Результаты исследований занесены в таблицу 1 и таблицу 2 соответственно.

Таблица 1 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{\text{пит1}}$) $I_{\text{э}} = f(U_{\text{эб}})$, при фиксированном значении $U_{\text{пит2}} = U_{\text{кб}} = 1\text{В}$

$I_{\text{к}}, \text{мА}$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{\text{эб}}, \text{В}$	0	0,526	0,5656	0,5834	0,602	0,6123
$I_{\text{э}}, \text{мА}$	0	0,11	0,506	1	2,045	3,048
$I_{\text{к}}, \text{мА}$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{\text{эб}}, \text{В}$	0,6193	0,625	0,6298	0,6338	0,637	0,639
$I_{\text{э}}, \text{мА}$	4,007	5,01	6,061	7,065	8,024	9,072

Таблица 2 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_{э} = f(U_{эб})$, при фиксированном значении $U_{пит2} = U_{кб} = 10В$

$I_{к}, мА$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{эб}, В$	0	0,522	0,5618	0,5794	0,5974	0,6068
$I_{э}, мА$	0	0,112	0,507	1,002	2,047	3,049
$I_{к}, мА$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{эб}, В$	0,6124	0,617	0,6197	0,6219	0,6223	0,6235
$I_{э}, мА$	4,008	5,058	6,065	7,07	8,074	9,08

2.2 Исследование выходных характеристик БТ в схеме с общей базой (ОБ)

Семейство выходных характеристик $I_{к}=f(U_{кб})$ измерено для двух фиксированных значений входного тока эмиттера $I_{э} = 3; 9 мА$. Результаты исследований занесены в таблицу 3 и таблицу 4 соответственно.

Таблица 3 – Результаты измерения (изменять значение $U_{пит2}$) выходной характеристики БТ $I_{к}=f(U_{кб})$, при фиксированном значении $I_{э} = 3мА$

$U_{кб}, В$	10	9	8	7	6	5	4
$I_{к}, мА$	2,983	2,982	2,981	2,981	2,98	2,979	2,978
$U_{эб}, В$	0,5987	0,5996	0,6004	0,6017	0,6025	0,6042	0,605
$U_{кб}, В$	3	2	1	0,6	0,3	0,1	0,01
$I_{к}, мА$	2,98	2,977	2,976	2,976	2,975	2,975	2,975
$U_{эб}, В$	0,606	0,6068	0,6078	0,6087	0,6091	0,6097	0,6107

Таблица 4 – Результаты измерения (изменять значение $U_{пит2}$) выходной характеристики БТ $I_{к}=f(U_{кб})$, при фиксированном значении $I_{э} = 9мА$

$U_{кб}, В$	10	9	8	7	6	5	4
$I_{к}, мА$	8,951	8,949	8,947	8,945	8,944	8,942	8,942
$U_{эб}, В$	0,6217	0,6241	0,6265	0,6279	0,6305	0,6324	0,6343
$U_{кб}, В$	3	2	1	0,6	0,3	0,1	0,01
$I_{к}, мА$	8,939	8,938	8,937	8,937	8,936	8,935	8,937
$U_{эб}, В$	0,6364	0,6375	0,6388	0,6395	0,6397	0,6399	0,6398

2.3 Исследование генератора синусоидальных сигналов на основе биполярного транзистора в схеме с общей базой

Генераторы представляют собой устройства, преобразовывающие энергию питающего их источника постоянного напряжения в периодические колебания различной формы, определенные собственной схемой генератора. На рисунке 2 представлен генератор на биполярном транзисторе типа «емкостная трехточка», генерирующего синусоидальные сигналы. Рабочая частота данного генератора определяется колебательным контуром, образованным C1, C2 и L1.

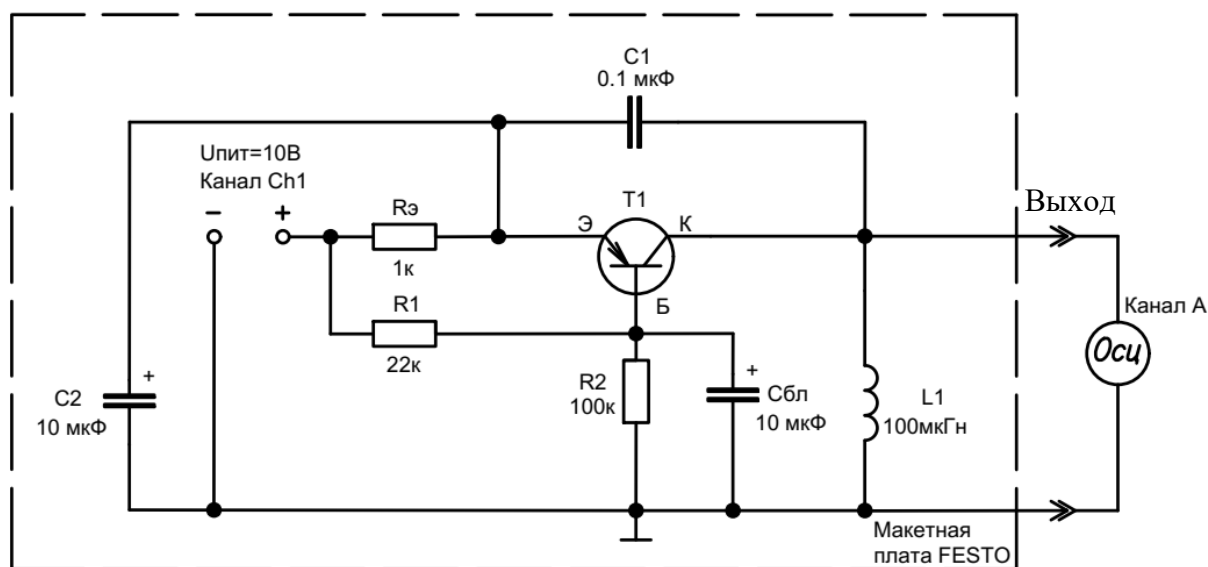


Рисунок 2 – Генератор на основе биполярного транзистора

Для исследования параметров генератора собрана схема (рисунок 2). Напряжение питания генератора – 10В. Для оценки параметров выходного сигнала подключен канал А (1) осциллографа (Осц, рисунок 2).

Амплитуда выходного сигнала без нагрузки составила $U_{xx} = 9$ В.

Амплитуда выходного сигнала с подключенной на выходе нагрузкой 10кОм (параллельно осциллографу) составила $U_n = 4$ В.

Частота выходного сигнала составила $f = 1,637$ кГц.

Выходное сопротивление генератора рассчитали по формуле:

$$R_{\text{вых}} = 10 \text{ кОм} * \left(\frac{U_{xx}}{U_n} - 1 \right) = 10 \text{ кОм} * \left(\frac{9}{4} - 1 \right) = 12,5 \text{ кОм}$$

2.4 Результаты экспериментальных исследований

По результатам измерений БТ в схеме с ОБ построены графики входных, выходных, передаточных характеристик БТ (рисунки 3, 4, 5, 6).

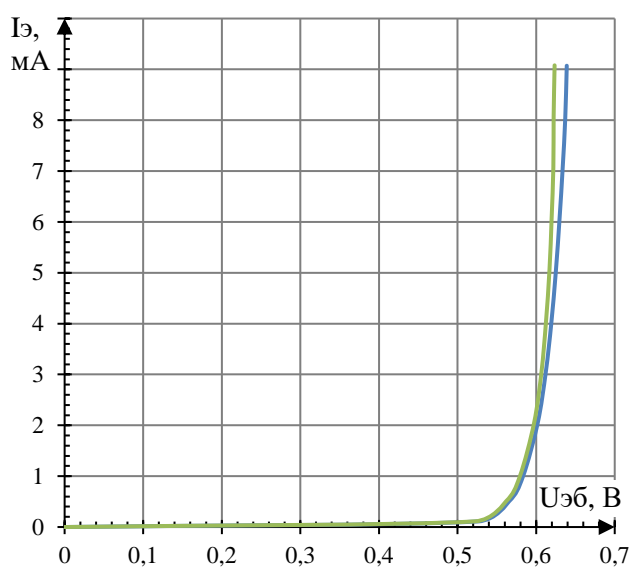


Рисунок 3 – Входные характеристики БТ в схеме с ОБ

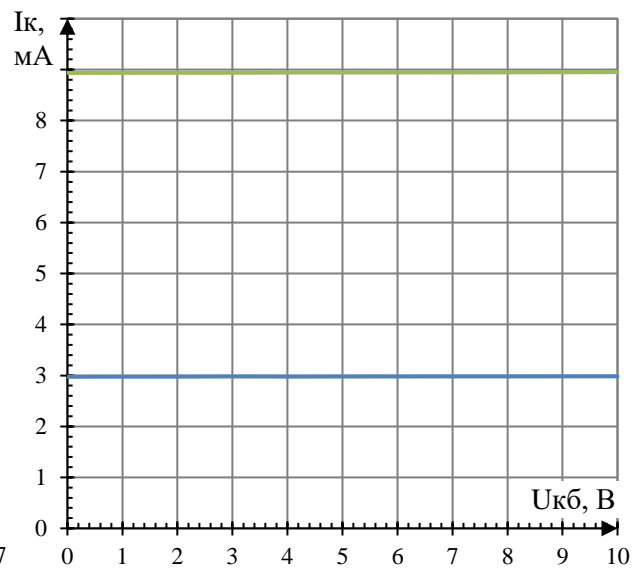


Рисунок 4 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОБ

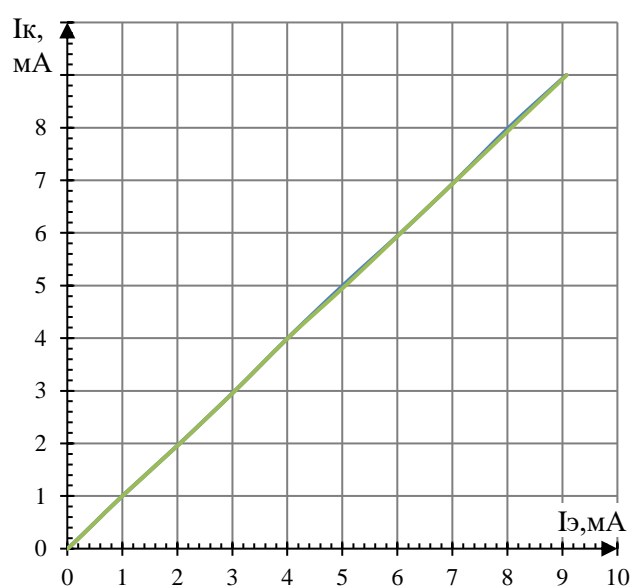


Рисунок 5 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОБ

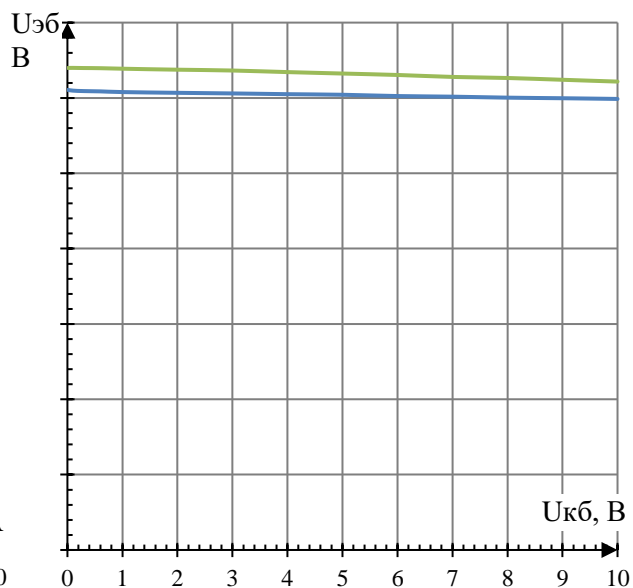


Рисунок 6 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОБ

2.5 Расчет дифференциальных параметров БТ в схеме с ОБ

По построенным графикам характеристик БТ в схеме с ОБ рассчитаны его дифференциальные параметры в окрестностях рабочей точки $I_э = 9$ мА, $U_{кб} = 10$ В.

$$h_{11Б} = \frac{\Delta U_{БХ}}{\Delta I_{БХ}} = \frac{\Delta U_{эб}}{\Delta I_э} = \frac{0,6235 - 0,6223}{(9,08 - 8,074) \cdot 10^{-3}} = \frac{0,0012}{1,006 \cdot 10^{-3}} = 1,193 \text{ Ом.}$$

$$h_{12Б} = \frac{\Delta U_{БХ}}{\Delta U_{БЫХ}} = \frac{\Delta U_{эб}}{\Delta U_{кб}} = \frac{0,639 - 0,6235}{10 - 1} = \frac{0,008}{9} = 0,0009.$$

$$h_{21Б} = \frac{\Delta I_{БЫХ}}{\Delta I_{БХ}} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} = \frac{8,951 - 2,983}{9 - 3} = \frac{5,968}{6} = 0,995.$$

$$h_{22Б} = \frac{\Delta I_{БЫХ}}{\Delta U_{БЫХ}} = \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кб}} = \frac{8,951 - 8,947}{10 - 8} = \frac{0,004}{2} = 0,002 \text{ Ом}^{-1}$$

Порядок выполнения второй части работы:

1 Ознакомиться с методическим описанием лабораторной работы. (Теоретическое описание лабораторной работы изложено в методическом пособии [1], стр. 28-40).

2 Получить у преподавателя необходимый комплект для проведения лабораторной работы.

3 Уточнить тип исследуемого транзистора у преподавателя.

4 Собрать схему, представленную на рисунке 2 данного отчета, для исследования параметров биполярного транзистора n-p-n типа.

5 Исследовать входные характеристики биполярного транзистора с общим эмиттером для двух вариантов выходного напряжения ($U_{кэ}$). Полученные результаты записать в таблицы 5 – 6 данного отчета. (Качественный вид и описание входных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).

6 Исследовать выходные характеристики биполярного транзистора с общим эмиттером для двух вариантов входного тока ($I_б$). Полученные результаты записать в таблицы 7 – 8 данного отчета. (Качественный вид и описание выходных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).

7 Исследовать параметры усилителя на основе биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.

8 Предоставить измеренные данные на проверку преподавателю.

Порядок оформления отчета:

1 По измеренным данным построить соответствующие графики.

2 По построенным графикам рассчитать h-параметры биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером в окрестностях рабочей точки.

3 Записать общие выводы по проделанной лабораторной работе.

[1] – Электронные приборы. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. В 2 частях. Часть 1: Активные компоненты полупроводниковой электроники / А. Я. Бельский – Минск : БГУИР, 2012

2.6 Исследование входных характеристик БТ в схеме с общим эмиттером (ОЭ)

Для исследования характеристик БТ собрана цепь по схеме, представленной на рисунке 7.

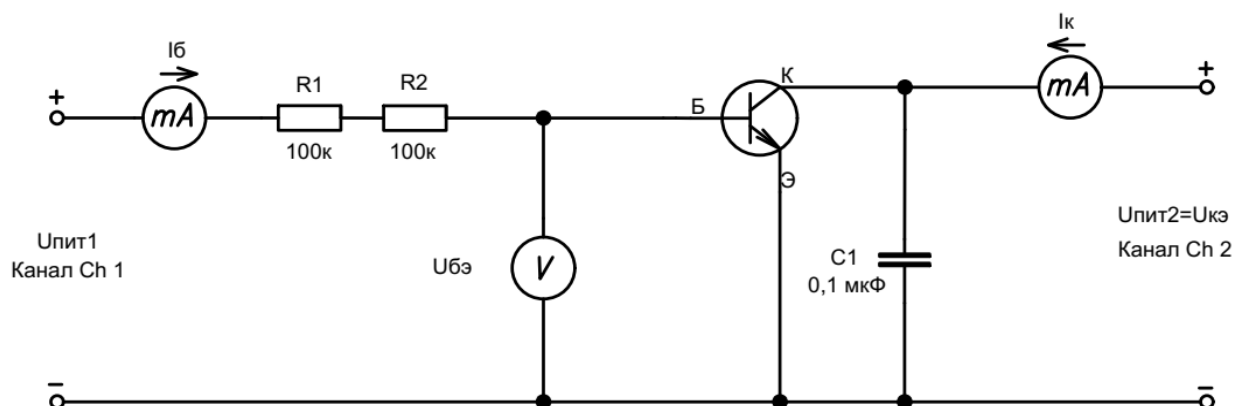


Рисунок 7 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОЭ

Семейство входных характеристик БТ в схеме с ОЭ $I_b = f(U_{be})$ измерено для двух фиксированных значений напряжения коллектора-эмиттер: $U_{кэ} = 1; 10\text{В}$. Результаты исследований занесены в таблицу 5 и таблицу 6 соответственно.

Таблица 5 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_b = f(U_{be})$, при фиксированном значении $U_{кэ} = U_{пит2} = 1\text{В}$

$I_{к}, \text{мА}$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{бэ}, \text{В}$	0	0,5961	0,6251	0,6486	0,6681	0,6788
$I_{б}, \text{мА}$	0	0,004	0,005	0,006	0,010	0,015
$I_{к}, \text{мА}$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{бэ}, \text{В}$	0,6862	0,6937	0,6989	0,7043	0,7084	0,7113
$I_{б}, \text{мА}$	0,017	0,023	0,025	0,030	0,035	0,037

Таблица 6 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_b = f(U_{be})$, при фиксированном значении $U_{кэ} = U_{пит2} = 10\text{В}$

$I_{к}, \text{мА}$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{бэ}, \text{В}$	0	0,5853	0,6212	0,6405	0,6575	0,6650
$I_{б}, \text{мА}$	0	0,002	0,004	0,006	0,009	$x_1 = 0,014$
$I_{к}, \text{мА}$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{бэ}, \text{В}$	0,6702	0,6749	0,6780	0,6812	0,6842	0,6872
$I_{б}, \text{мА}$	0,016	0,020	0,024	0,026	0,031	$x_2 = 0,034$

Значения в ячейках, обозначенных x_1, x_2 , будут использованы в дальнейшем.

2.7 Исследование выходных характеристик БТ в схеме с общим эмиттером (ОЭ)

Семейство выходных характеристик $I_k=f(U_{kэ})$ измерено для двух фиксированных значений входного тока базы $I_b = x_1; x_2$ мА. Результаты исследований занесены в таблицу 7 и таблицу 8 соответственно.

Таблица 7 – Результаты измерения выходной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит2}$) $I_k=f(U_{kэ})$, при фиксированном значении **$I_b = x_1$** (из таблицы 9) = **0,014 мА**

$U_{кэ}, В$	0,01	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, мА$	0,002	0,777	3,517	3,550	3,582	3,608	3,632	3,660	3,681	3,706	3,733	3,753	3,780
$U_{бэ}, В$	0,5628	0,6426	0,6825	0,6824	0,6818	0,6813	0,6803	0,6794	0,6785	0,6776	0,6766	0,6756	0,6741

Таблица 8 – Результаты измерения выходной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит2}$) $I_k=f(U_{кэ})$, при фиксированном значении **$I_b = x_2$** (из таблицы 9) = **0,034 мА**

$U_{кэ}, В$	0,01	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, мА$	0,003	1,523	6,693	7,433	7,548	7,632	7,727	7,810	7,889	7,959	8,014	8,056	8,076
$U_{бэ}, В$	0,5887	0,6635	0,7033	0,7080	0,7003	0,6985	0,6965	0,6944	0,6922	0,6904	0,6890	0,6879	0,6876

2.8 Исследование усилителя на основе биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

Усилители — это устройства, как правило, четырехполюсники, имеющие входные и выходные клеммы, и предназначенные для увеличения амплитуды напряжения (либо тока) входного сигнала. Выходной сигнал усилителя формируется активным элементом (транзистором) за счет энергии питающего источника постоянного напряжения и оказывается пропорционален входному. На рисунке 8 представлен усилитель сигналов на биполярном транзисторе с коллекторной стабилизацией. Транзистор включен по схеме с общим эмиттером, что позволяет усилить входной сигнал как по напряжению, так и по току.

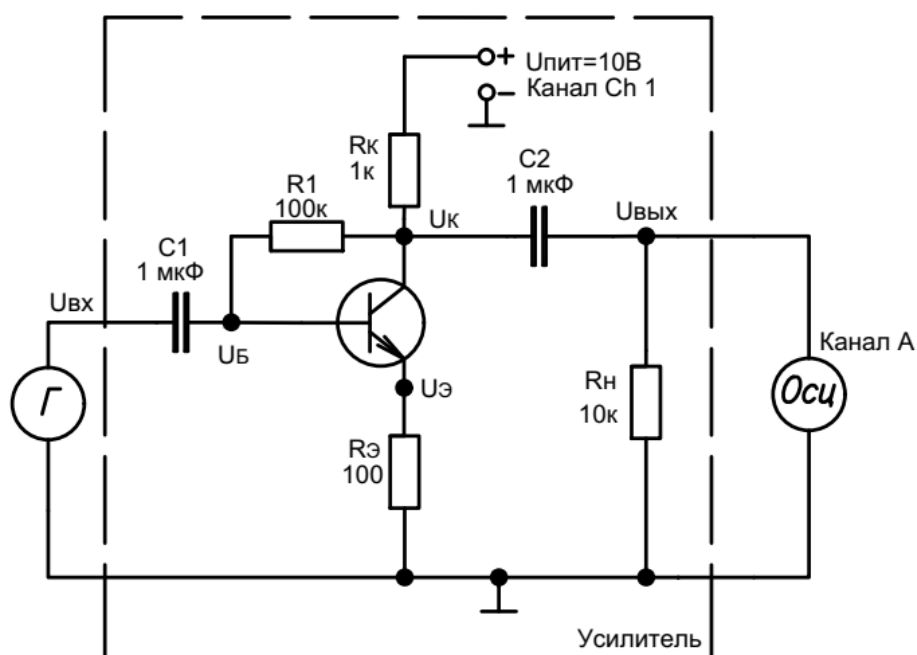


Рисунок 8 – Усилитель с коллекторной стабилизацией

Для исследования усилителя собрана схема (рисунок 8). Параметры входного сигнала: размах сигнала $U_{вх} = 30 \text{ mV}_{pp}$, частота $f = 1 \text{ кГц}$, форма сигнала – синусоидальная. Напряжение питания усилителя – 10В. Для оценки параметров выходного сигнала усилителя подключен канал А (1) осциллографа (Осц, рисунок 8).

Размах выходного сигнала составил $U_{вых} = 0,292 \text{ В}$.

Коэффициент усиления по напряжению $K_u = U_{вых}/U_{вх} = 9,73$

Увеличивая размах входного сигнала, определили максимальный размах выходного сигнала без искажения его формы, он составил $U_{вых_{max}} = 0,292 \text{ В}$. Размах входного сигнала при этом составил $U_{вх_{max}} = 730 \text{ мВ}$.

2.9 Результаты экспериментальных исследований

По результатам измерений БТ в схеме с ОЭ построены графики входных, выходных, передаточных характеристик БТ (рисунки 9, 10, 11, 12).

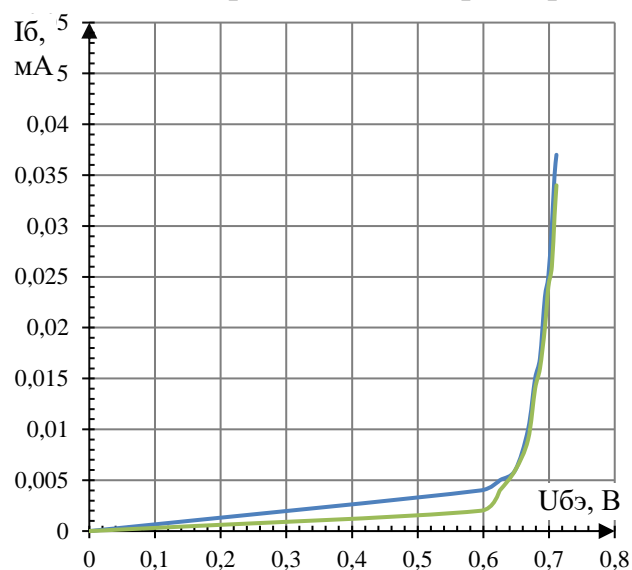


Рисунок 9 – Входные характеристики БТ в схеме с ОЭ

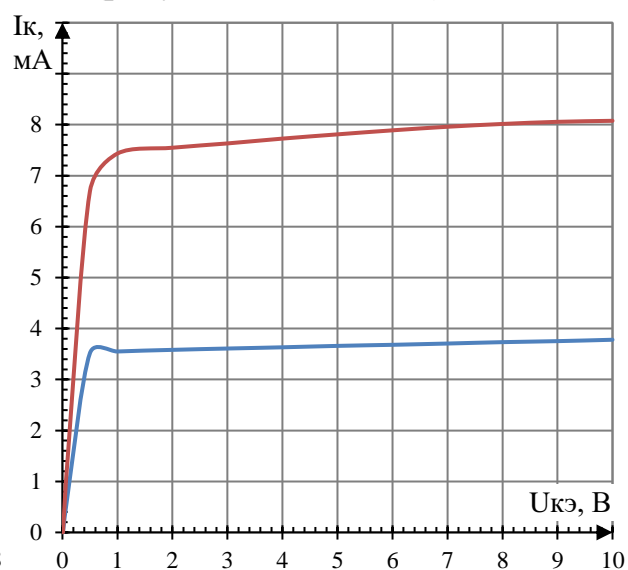


Рисунок 10 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОЭ

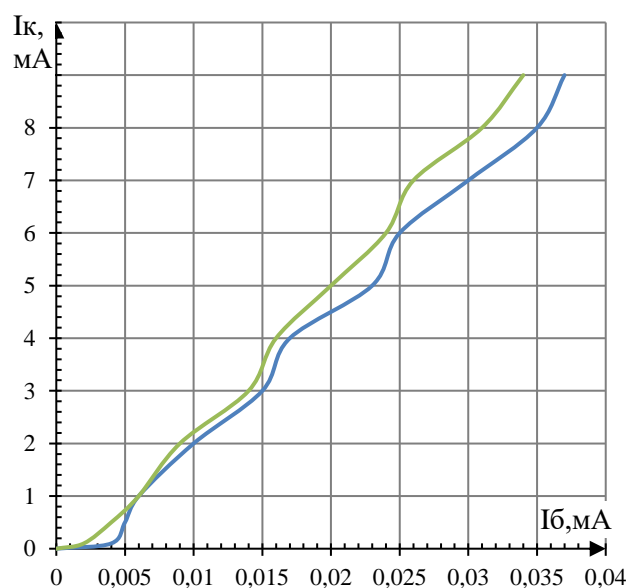


Рисунок 11 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОЭ

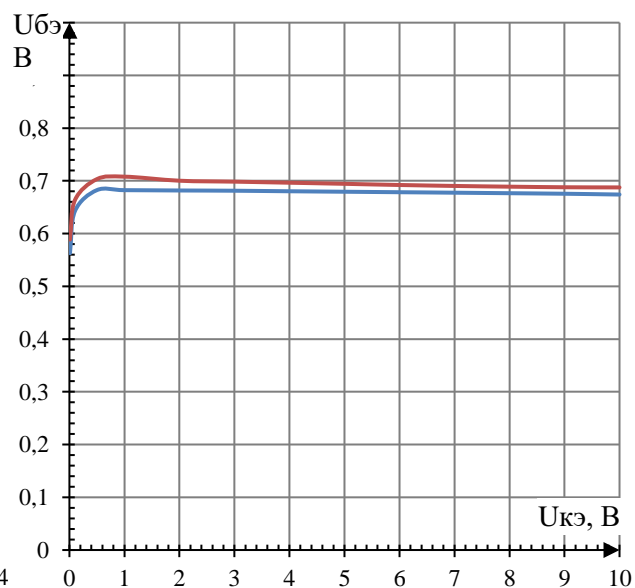


Рисунок 12 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОЭ

2.10 Расчет дифференциальных параметров БТ в схеме с ОЭ

По построенным графикам характеристик БТ в схеме с ОЭ рассчитаны его дифференциальные параметры в окрестности рабочей точки $I_b = x_2$ (из таблицы 6) = 0,034 мА, $U_{кэ} = 10В$.

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{бэ}}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} = \frac{0,7084 - 0,6788}{10^{-3}(0,031 - 0,014)} = \frac{0,0296}{0,017 \cdot 10^{-3}} = 1,74 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$h_{12Э} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta U_{\text{блх}}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta U_{\text{кэ}}} = \frac{0,708 - 0,6876}{10 - 1} = \frac{0,0204}{9} = 2,267 \cdot 10^{-3}$$

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_{\text{блх}}}{\Delta I_{\text{бэ}}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} = \frac{8,076 - 3,78}{0,034 - 0,014} = \frac{4,296}{0,020} = 214,8$$

$$h_{22Э} = \frac{\Delta I_{\text{блх}}}{\Delta U_{\text{блх}}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{кэ}}} = \frac{(8,076 - 7,433) \cdot 10^{-3}}{10 - 1} = \frac{0,643 \cdot 10^{-3}}{9} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}$$

3 Выводы

В данной лабораторной работе мы изучили режим работы, принцип действия, схемы включения и классификацию биполярных транзисторов (БТ). Экспериментально исследовали статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) транзисторов и рассчитали дифференциальные параметры в заданной рабочей точке.