

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

Кафедра электроники

Лабораторная работа № 2, 3
«Исследование биполярных транзисторов»

Проверила:
Стома С.С.

Выполнили:
ст. гр. 950503
Сякачёв П.В.
Шалль И.Э.
Прудников А.С.

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.

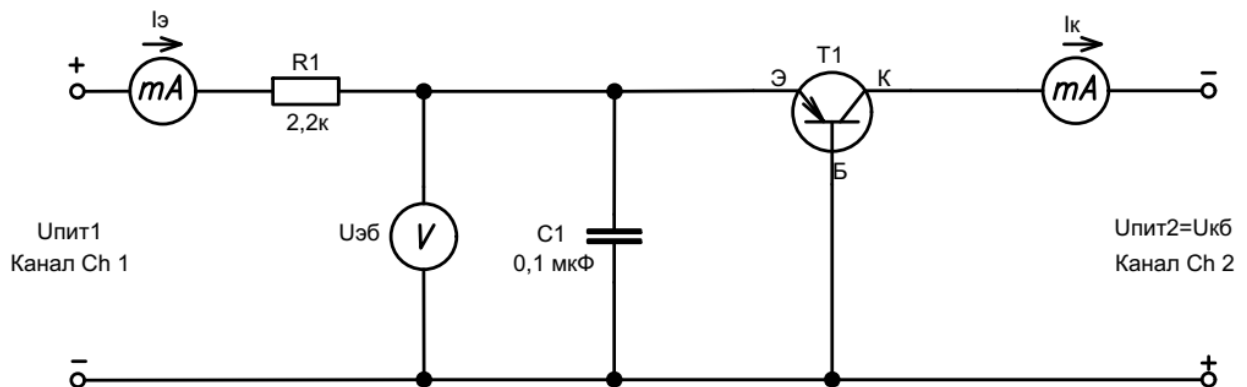


Рисунок 1 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОБ

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

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

$I_к, \text{мА}$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{эб}, \text{В}$	0	0,516	0,563	0,580	0,602	0,6123
$I_з, \text{мА}$	0	0,102	0,523	0,934	2,037	2,960
$I_к, \text{мА}$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{эб}, \text{В}$	0,621	0,6263	0,6312	0,636	0,640	0,642
$I_з, \text{мА}$	4,067	4,961	5,951	7,05	8,008	9,002

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	0,5177	0,563	0,581	0,6001	0,6085
$I_{э}, мА$	0	0,104	0,502	0,981	2,086	2,962
$I_{к}, мА$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{эб}, В$	0,615	0,617	0,620	0,622	0,623	0,624
$I_{э}, мА$	4,069	4,945	5,955	7,056	8,012	9,013

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
$I_{к}, мА$	2,941	2,942	2,960	2,643	2,944	2,942	2,943
$U_{эб}, В$	0,6075	0,6077	0,6078	0,6084	0,6087	0,6099	0,6105
$U_{кб}, В$	3	2	1	0,6	0,3	0,1	0,01
$I_{к}, мА$	2,941	2,940	2,941	2,941	2,939	2,939	2,939
$U_{эб}, В$	0,6113	0,6127	0,6134	0,6143	0,6153	0,6155	0,6157

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
$I_{к}, мА$	8,946	8,946	8,944	8,943	8,943	8,941	8,939
$U_{эб}, В$	0,6253	0,6277	0,6300	0,6322	0,6322	0,6367	0,6388
$U_{кб}, В$	3	2	1	0,6	0,3	0,1	0,01
$I_{к}, мА$	8,939	8,939	8,938	8,940	8,943	8,949	8,960
$U_{эб}, В$	0,6406	0,6424	0,6436	0,6442	0,6447	0,6451	0,6453

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.

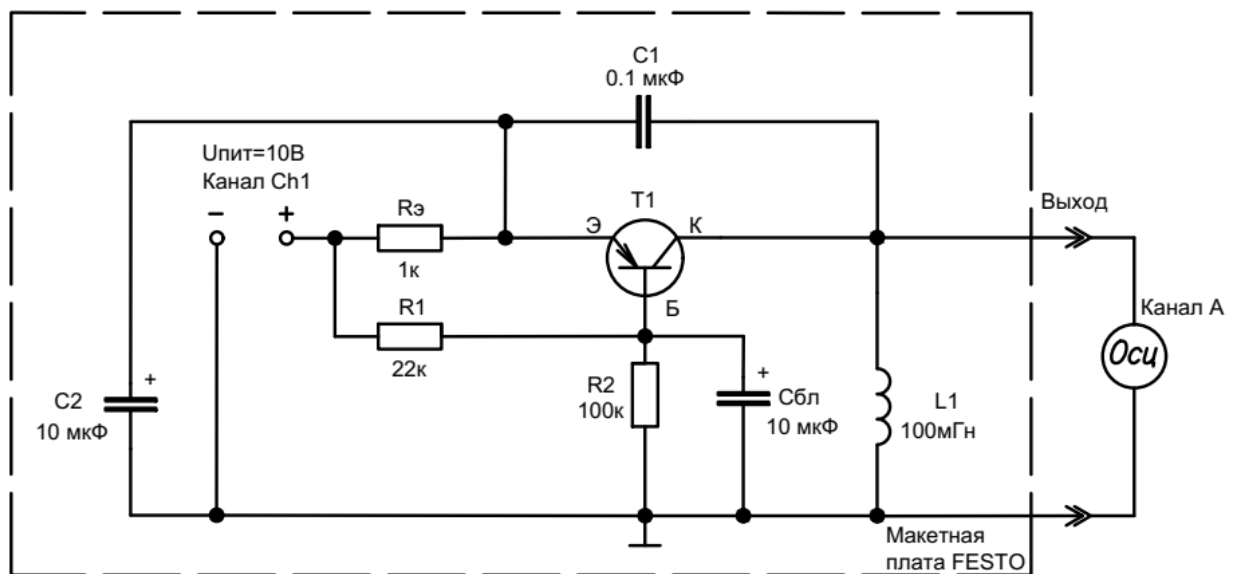


Рисунок 2 – Генератор на основе биполярного транзистора

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 $U_{xx} = 1460$ В.

Амплитуда выходного сигнала с подключенной на выходе нагрузкой 10кОм (параллельно осциллографу) составила $U_n = 1300$ В.

Частота выходного сигнала составила $f = 545,7$ кГц.

Выходное сопротивление генератора рассчитали по формуле:

$$R_{\text{вых}} = 10\text{кОм} * \left(\frac{U_{xx}}{U_n} - 1 \right) = 10000 * \left(\frac{1460}{1300} - 1 \right) = 1,230 \text{ (кОм)}.$$

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).

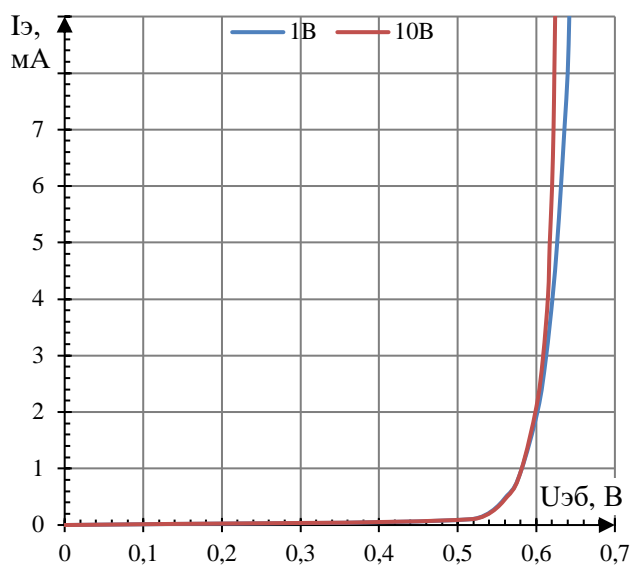


Рисунок 3 – Входные характеристики БТ в схеме с ОБ

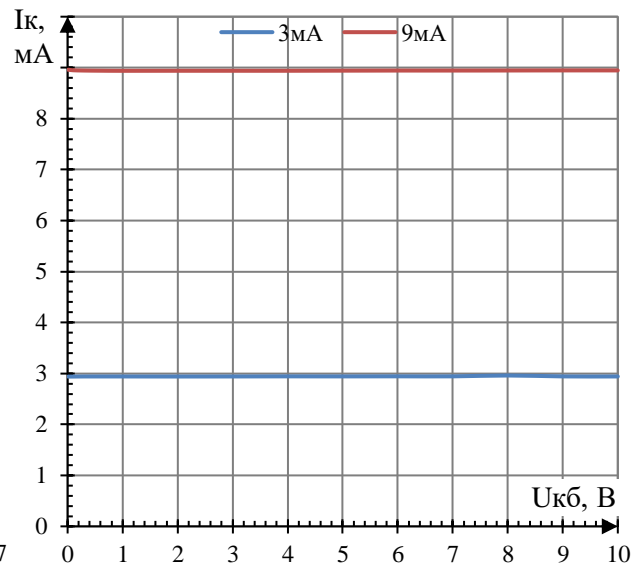


Рисунок 4 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОБ

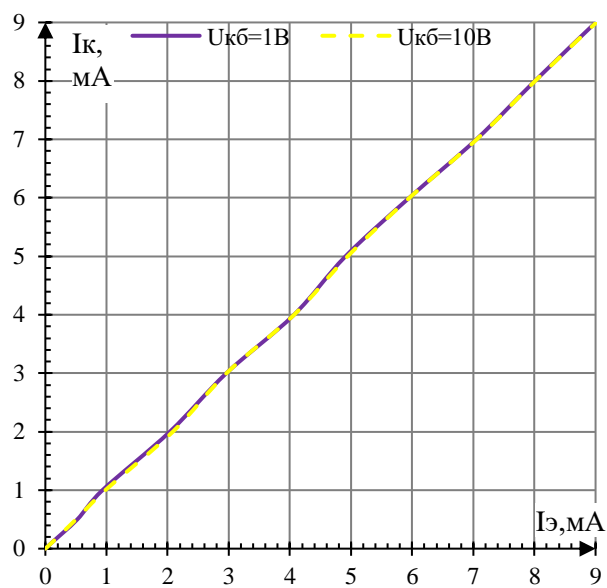


Рисунок 5 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОБ

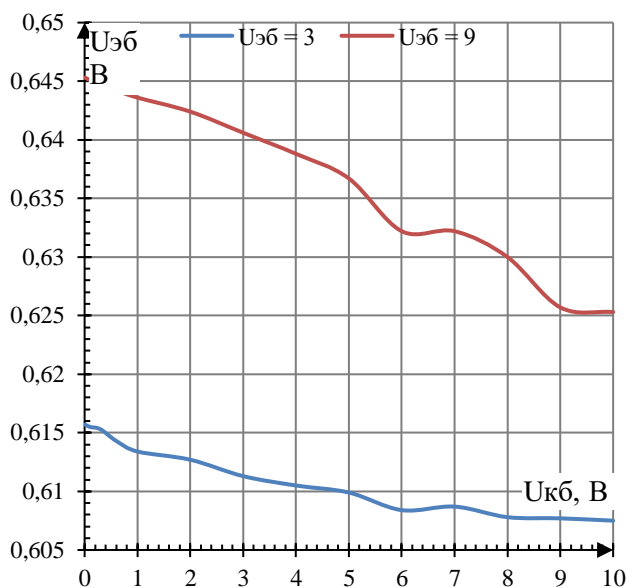


Рисунок 6 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОБ

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 $I_3 = 9 \text{ мА}$, $U_{кб} = 10 \text{ В}$.

$$h_{11Б} = \frac{\Delta U_{ЭБ}}{\Delta I_3} = \frac{U_{ЭБ}'' - U_{ЭБ}'}{I_3'' - I_3'} = \frac{0,632 - 0,6145}{(9,083 - 6,052) \cdot 10^{-3}} = 5,7 \text{ Ом}$$

$$h_{12Б} = \frac{\Delta U_{ЭБ}}{\Delta U_{КБ}} = \frac{U_{ЭБ}'' - U_{ЭБ0}}{U_{КБ}'' - U_{КБ}'} = \frac{0,6463 - 0,6285}{1 - 10} = 0,0019$$

$$h_{21Б} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_3} = \frac{I_K'' - I_K'}{I_3'' - I_3'} = \frac{9 - 3}{9,083 - 3,057} = 0,99$$

$$h_{22Б} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КБ}} = \frac{I_K''' - I_K''}{U_{КБ}'' - U_{КБ}'} = \frac{(8,927 - 8,94) \cdot 10^{-3}}{10 - 1} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

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.

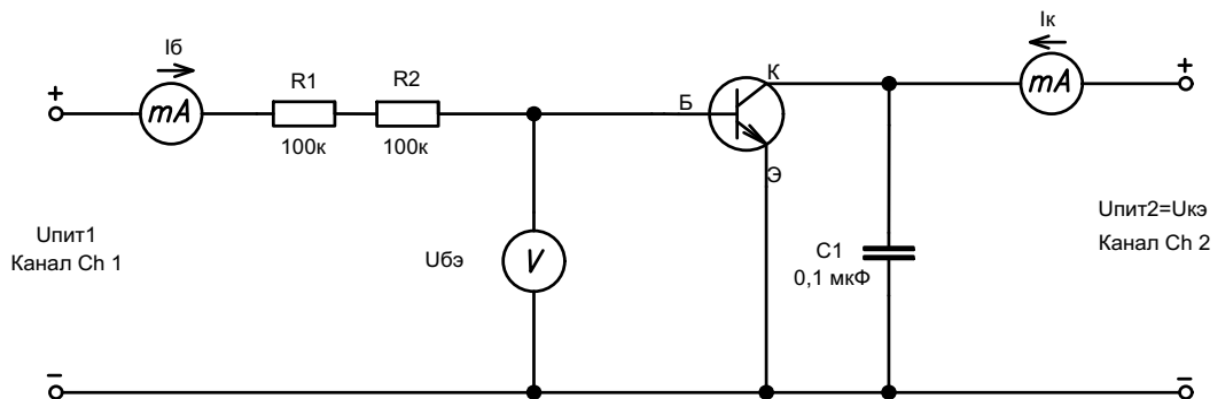


Рисунок 7 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОЭ

Семейство входных характеристик БТ в схеме с ОЭ $I_b = f(U_{be})$ измерено для двух фиксированных значений напряжения коллектора-эмиттер: $U_{кэ} = 1$; 10В. 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 $U_{кэ} = U_{пит2} = 1В$

I_k, mA	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
U_{be}, V	0	0,5602	0,5945	0,6130	0,6315	0,6416
I_b, mA	0	0,001	0,005	0,009	0,018	0,025
I_k, mA	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
U_{be}, V	0,6490	0,6551	0,6598	0,6639	0,6670	0,6703
I_b, mA	0,032	0,040	0,047	0,054	0,061	0,070

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

I_k, mA	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
U_{be}, V	0	0,5489	0,5926	0,6124	0,6278	0,6361
I_b, mA	0	0,001	0,004	0,010	0,015	$x_1 = 0,023$
I_k, mA	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
U_{be}, V	0,6419	0,6459	0,6481	0,6487	0,6505	0,6510
I_b, mA	0,028	0,038	0,048	0,053	0,062	$x_2 = 0,067$

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 $I_k=f(U_{кэ})$ 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 $U_{пит2}$) $I_k=f(U_{кэ})$, при фиксированном значении **$I_b = x_1$** (из таблицы 6) = **0,023 мА**

$U_{кэ}, В$	0,01	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, мА$	0,044	1,734	2,778	2,784	2,791	2,798	2,805	2,814	2,825	2,831	2,840	2,847	2,856
$U_{бэ}, В$	0,5687	0,6246	0,6360	0,6362	0,6362	0,6360	0,6358	0,6353	0,6347	0,6342	0,6337	0,6332	0,6325

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 6) = **0,067 мА**

$U_{кэ}, В$	0,01	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, мА$	0,179	5,021	8,783	8,808	8,850	8,909	8,954	9,013	9,079	9,178	9,243	9,299	9,380
$U_{бэ}, В$	0,6029	0,6544	0,6676	0,6673	0,6666	0,6653	0,6643	0,6623	0,6608	0,6576	0,6555	0,6541	0,6511

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.

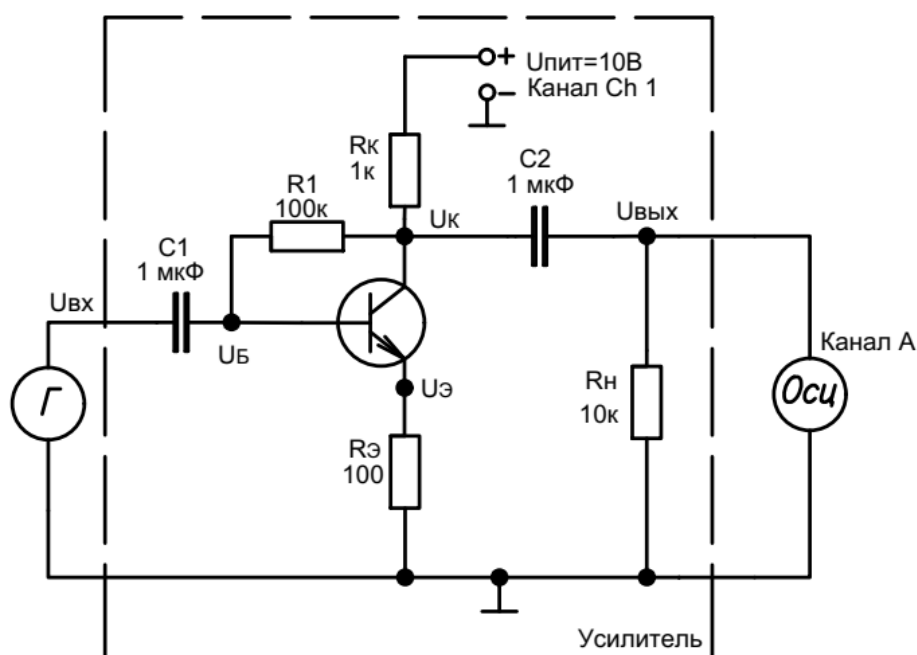


Рисунок 8 – Усилитель с коллекторной стабилизацией

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 $U_{вых} = 0,452 \text{ В}$.

Коэффициент усиления по напряжению $K_u = U_{вых}/U_{вх} = 15,067$

Увеличивая размах входного сигнала, определили максимальный размах выходного сигнала без искажения его формы, он составил $U_{вых_{max}} = 8,64 \text{ В}$. Размах входного сигнала при этом составил $U_{вх_{max}} = 1,08 \text{ В}$.

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).

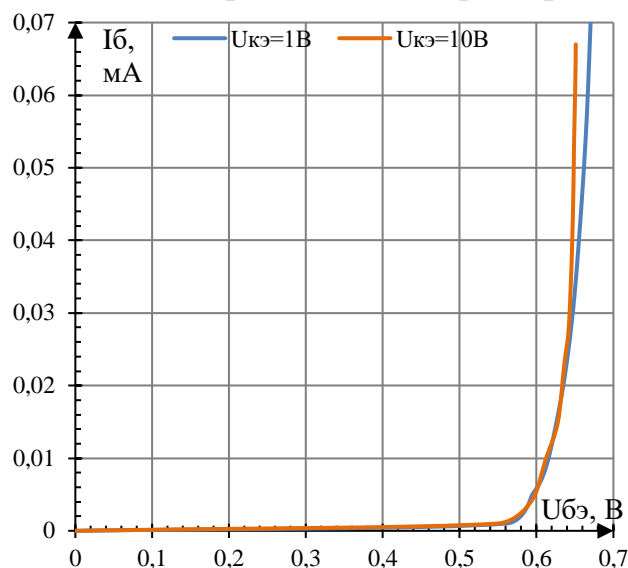


Рисунок 9 – Входные характеристики БТ в схеме с ОЭ

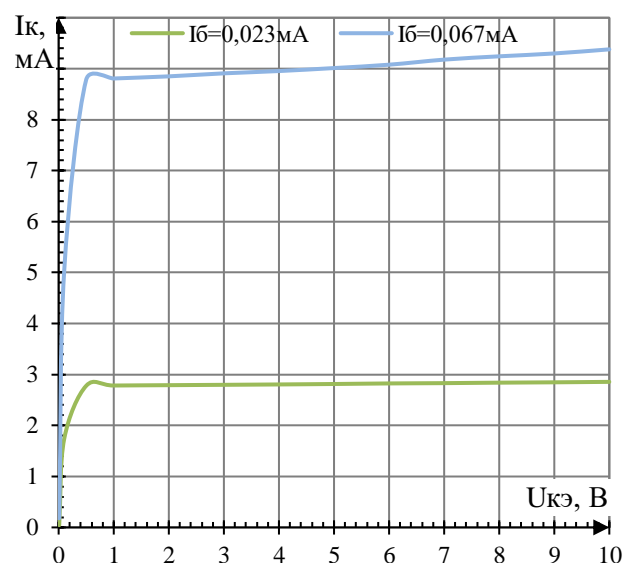


Рисунок 10 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОЭ

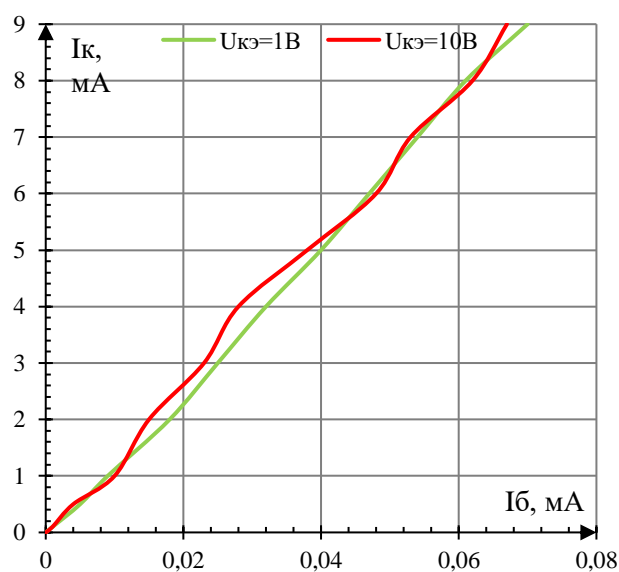


Рисунок 11 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОЭ

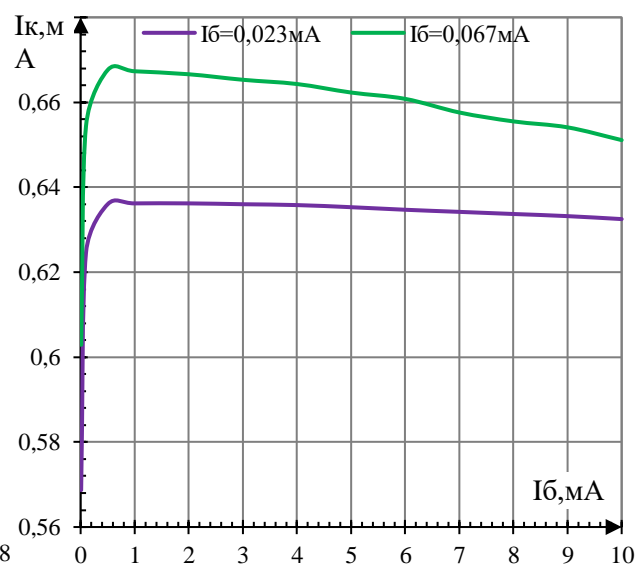


Рисунок 12 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОЭ

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) = 0,067 мА, $U_{KЭ} = 10$ В.

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{U_{БЭ}'' - U_{БЭ}'}{I_B'' - I_B'} = \frac{0,6510 - 0,6505}{(0,067 - 0,062) \cdot 10^{-3}} = 100 \text{ Ом}$$

$$h_{12Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{KЭ}} = \frac{U_{БЭ}'' - U_{БЭ0}}{U_{KЭ}'' - U_{KЭ}'} = \frac{0,67 - 0,65}{10 - 1} = 0,0022$$

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{I_K'' - I_K'}{I_B'' - I_B'} = \frac{0,067 - 0,023}{9,38 - 2,85} = 0,0067$$

$$h_{22Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KЭ}} = \frac{I_K'''' - I_K'''}{U_{KЭ}'' - U_{KЭ}'} = \frac{(9,380 - 9,299) \cdot 10^{-3}}{10 - 9} = 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ См}$$