

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

Кафедра электроники

Лабораторная работа № 2-3
«Исследование биполярных транзисторов»

Проверил:
ассист. кафедры электроники
Стома С.С.

Выполнили:
ст. гр. 950503
Потапович А.Д.
Полховский А.Ф.
Лайло В.В.

Минск 2020

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.

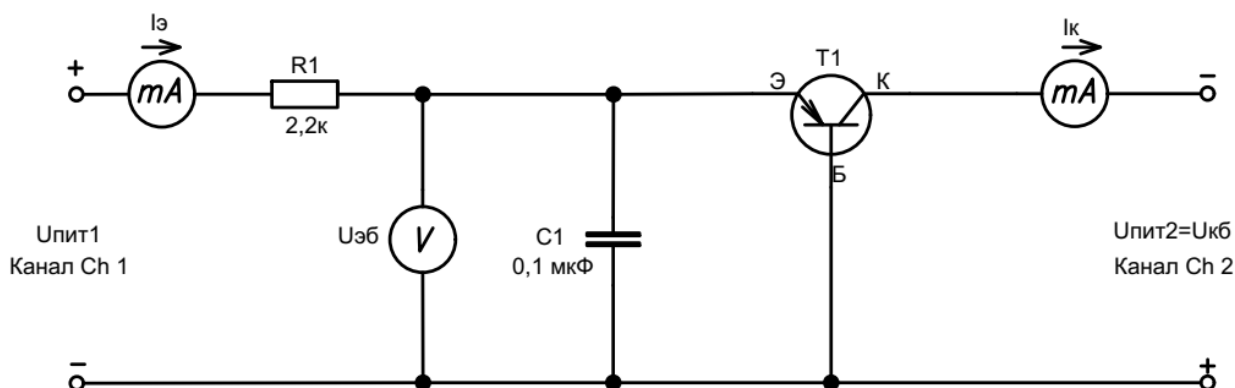


Рисунок 1 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОБ

Семейство входных характеристик БТ в схеме с ОБ $I_э = f(U_{эб})$ 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 $U_{пит1}$) $I_э = f(U_{эб})$, 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	0,5327	0,5747	0,5884	0,6083	0,618
$I_э, \text{мА}$	0	0,106	0,551	0,949	2,061	3,044
$I_к, \text{мА}$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{эб}, \text{В}$	0,6265	0,6320	0,6365	0,6401	0,6434	0,6463
$I_э, \text{мА}$	4,071	5,055	6,084	7,069	8,097	9,079

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	0,5263	0,5641	0,5790	0,5955	0,6033
$I_{э}, мА$	0	0,105	0,517	1,005	2,028	3,057
$I_{к}, мА$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{эб}, В$	0,6079	0,6114	0,6145	0,6175	0,620	0,632
$I_{э}, мА$	4,038	5,069	6,052	7,014	8,065	9,083

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
$I_{к}, мА$	2,978	2,978	2,977	2,977	2,976	2,976	2,975
$U_{эб}, В$	0,6089	0,6092	0,6095	0,6102	0,6112	0,6112	0,6126
$U_{кб}, В$	3	2	1	0,6	0,3	0,1	0,01
$I_{к}, мА$	2,975	2,975	2,974	2,974	2,974	2,973	2,973
$U_{эб}, В$	0,6137	0,6144	0,6158	0,6170	0,6174	0,6178	0,6184

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
$I_{к}, мА$	8,941	8,940	8,939	8,937	8,935	8,933	8,931
$U_{эб}, В$	0,6285	0,6311	0,6331	0,6350	0,6368	0,6387	0,6411
$U_{кб}, В$	3	2	1	0,6	0,3	0,1	0,01
$I_{к}, мА$	8,931	8,928	8,927	8,927	8,927	8,927	8,927
$U_{эб}, В$	0,6430	0,6452	0,6463	0,6469	0,6473	0,6476	0,6478

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.

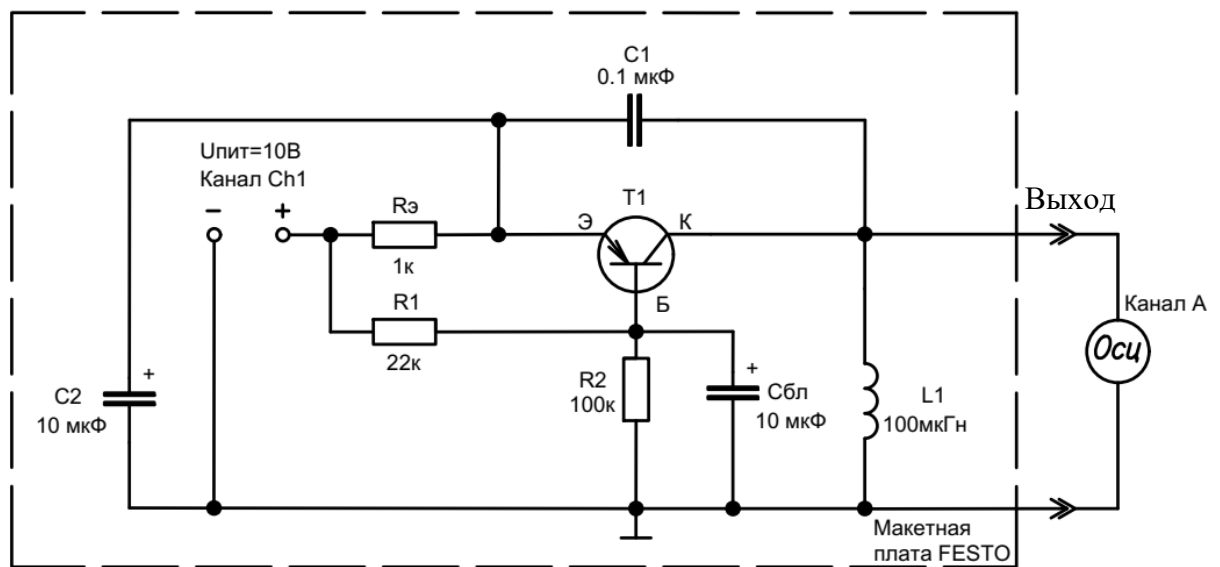


Рисунок 2 – Генератор на основе биполярного транзистора

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 $U_{xx} = 8,8 \text{ В}$.

Амплитуда выходного сигнала с подключенной на выходе нагрузкой $R_{нагр} = 10 \text{ кОм}$ (параллельно осциллографу) составила $U_H = 4 \text{ В}$.

Частота выходного сигнала составила $f = 1,653 \text{ кГц}$.

Выходное сопротивление генератора рассчитали по формуле:

$$R_{вых} = R_{нагр} * \left(\frac{U_{xx}}{U_H} - 1 \right) = 12 \text{ кОм}.$$

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).

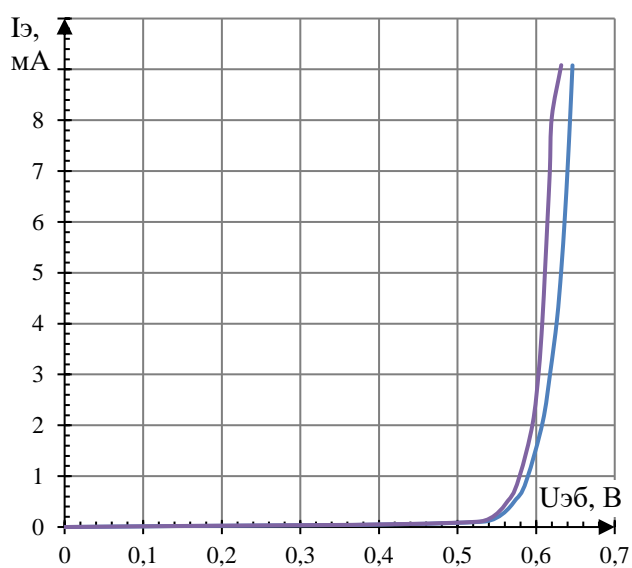


Рисунок 3 – Входные характеристики БТ в схеме с ОБ

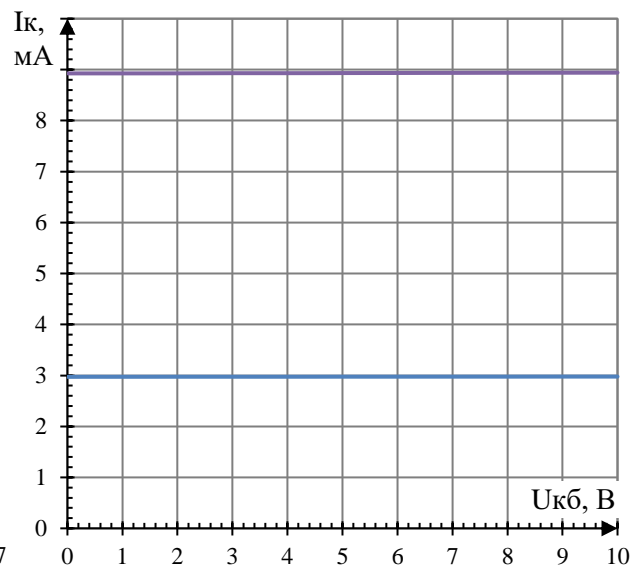


Рисунок 4 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОБ

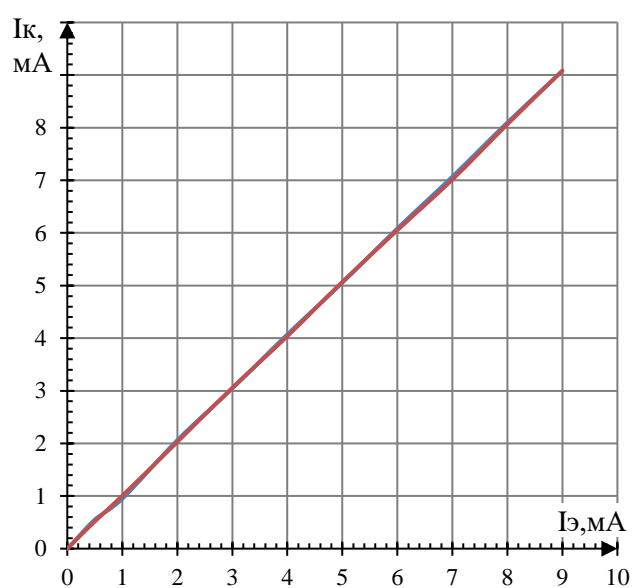


Рисунок 5 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОБ

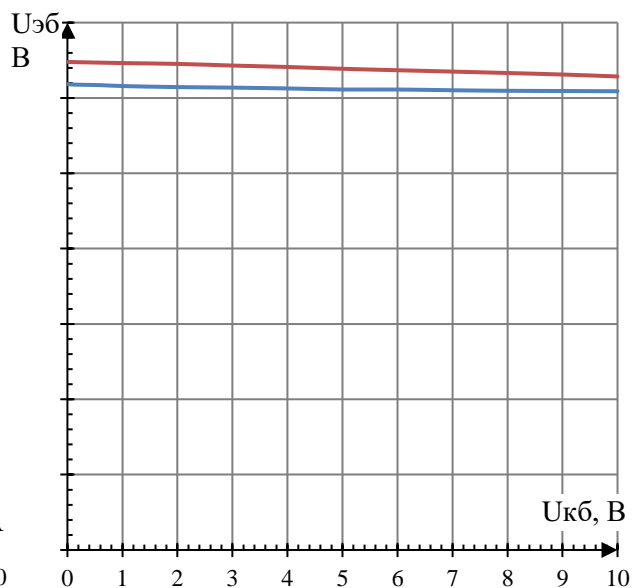


Рисунок 6 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОБ

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 $I_3 = 9$ мА, $U_{кб} = 10$ В.

$$h_{11Б} = \frac{\Delta U_{ЭБ}}{\Delta I_3} = \frac{U_{ЭБ}'' - U_{ЭБ}'}{I_3'' - I_3'} = \frac{0.632 - 0.6145}{(9.083 - 6.052) \cdot 10^{-3}} = 5.7 \text{ Ом}$$

$$h_{12Б} = \frac{\Delta U_{ЭБ}}{\Delta U_{БК}} = \frac{U_{ЭБ}'' - U_{ЭБ0}}{U_{БК}'' - U_{БК}'} = \frac{0.6463 - 0.6285}{1 - 10} = 0.0019$$

$$h_{21Б} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_3} = \frac{I_K'' - I_K'}{I_3'' - I_3'} = \frac{9 - 3}{9.083 - 3.057} = 0.99$$

$$h_{22Б} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{БК}} = \frac{I_K''' - I_K''}{U_{БК}'' - U_{БК}'} = \frac{(8.927 - 8.94) \cdot 10^{-3}}{0.01 - 9} = 1.4 \cdot 10^{-6} \text{ СМ}$$

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

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

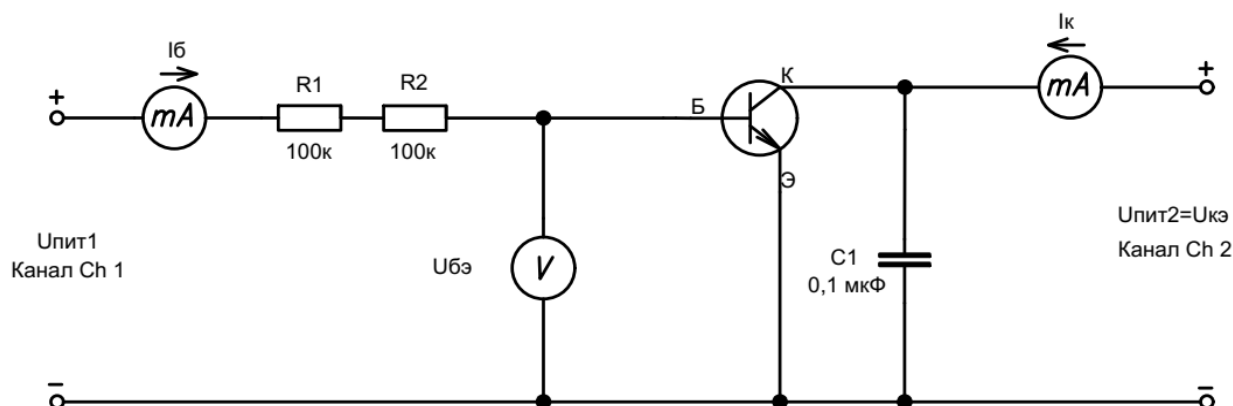


Рисунок 7 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОЭ

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

$I_{к}, mA$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{бэ}, V$	0	0,5683	0,6111	0,6306	0,6478	0,6590
$I_{б}, mA$	0	0,004	0,001	0,001	0,004	0,008
$I_{к}, mA$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{бэ}, V$	0,667	0,6725	0,6784	0,6823	0,686	0,69
$I_{б}, mA$	0,011	0,014	0,018	0,023	0,025	0,027

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

$I_{к}, mA$	0	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{бэ}, V$	0	0,5647	0,6085	0,6245	0,6402	0,6485
$I_{б}, mA$	0	0,004	0,002	0,001	0,003	$x_1 = 0,006$
$I_{к}, mA$	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$
$U_{бэ}, V$	0,6512	0,6525	0,6546	0,6546	0,6535	0,6526
$I_{б}, mA$	0,008	0,012	0,013	0,016	0,018	$x_2 = 0,021$

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) = **0,006 мА**

$U_{кэ}, В$	0,01	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, мА$	0,01	0,915	2,549	2,586	2,645	2,696	2,75	2,80	2,84	2,885	2,924	2,968	3,009
$U_{бэ}, В$	0,549	0,629	0,655	0,655	0,654	0,65	0,651	0,65	0,649	0,647	0,6456	0,6456	0,641

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) = **0,021 мА**

$U_{кэ}, В$	0,01	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, мА$	0,03	2,036	7,419	7,562	7,752	7,93	8,1	8,28	8,461	8,7	9,022	9,154	9,304
$U_{бэ}, В$	0,579	0,652	0,685	0,685	0,69	0,681	0,678	0,675	0,671	0,665	0,657	0,655	0,652

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.

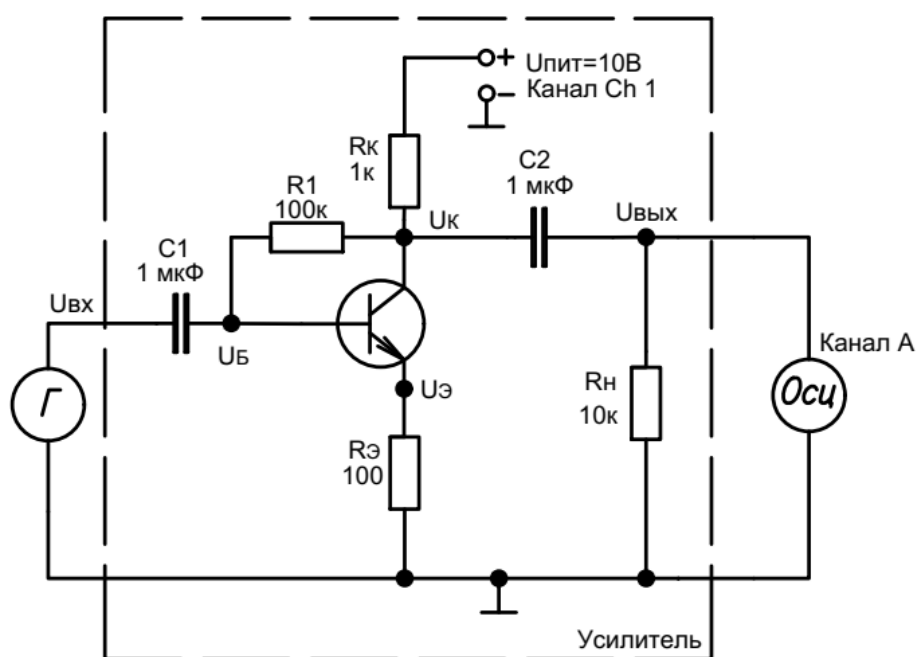


Рисунок 8 – Усилитель с коллекторной стабилизацией

Для исследования усилителя собрана схема (рисунок 8). Параметры входного сигнала: размах сигнала $U_{вх} = 30 \text{ mVpp}$, 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 $U_{вых} = 360 \text{ В}$.

Коэффициент усиления по напряжению $K_u = U_{вых}/U_{вх} = 12$.

Увеличивая размах входного сигнала, определили максимальный размах выходного сигнала без искажения его формы, он составил $U_{вых_{max}} = 3,4 \text{ В}$. Размах входного сигнала при этом составил $U_{вх_{max}} = 830 \text{ мВ}$.

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).

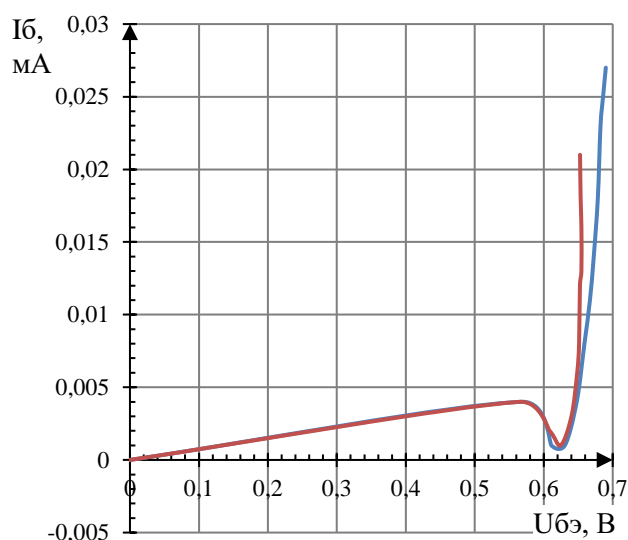


Рисунок 9 – Входные характеристики БТ в схеме с ОЭ

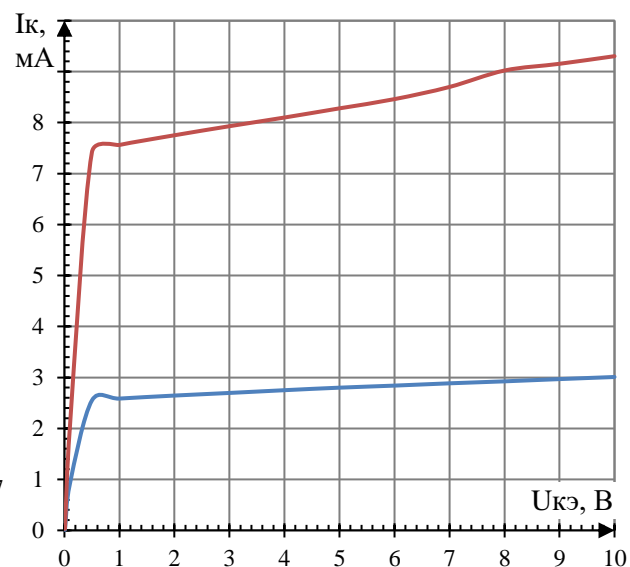


Рисунок 10 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОЭ

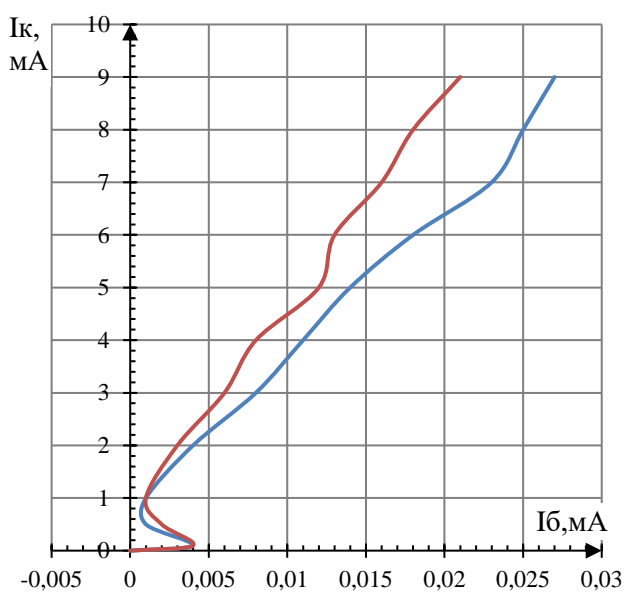


Рисунок 11 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОЭ

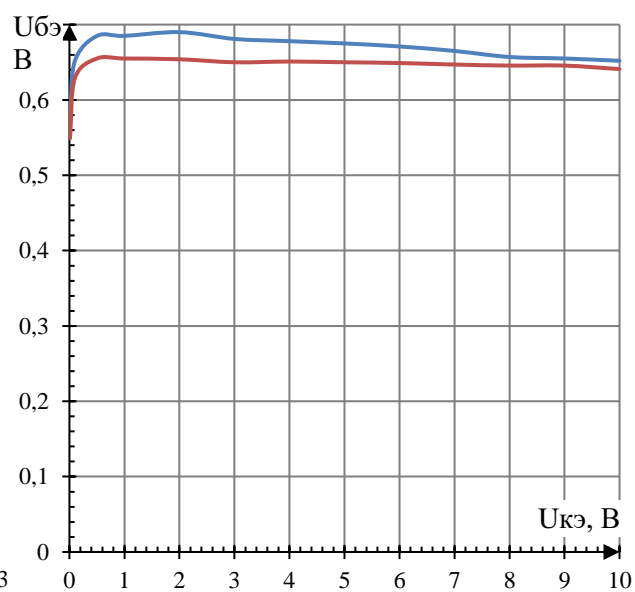


Рисунок 12 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОЭ

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) = 0,021 мА, $U_{КЭ} = 10В$** .

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{U_{БЭ}'' - U_{БЭ}'}{I_B'' - I_B'} = \frac{0.6546 - 0.6512}{(0,016 - 0,008) \cdot 10^{-3}} = 425 \text{ Ом}$$

$$h_{12Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{U_{БЭ}'' - U_{БЭ0}}{U_{КЭ}'' - U_{КЭ}'} = \frac{0.652 - 0.685}{10 - 1} = -0.003$$

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{I_K'' - I_K'}{I_B'' - I_B'} = \frac{(9 - 3) \cdot 10^{-3}}{(0,021 - 0,006) \cdot 10^{-3}} = 400$$

$$h_{22Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} = \frac{I_K'''' - I_K'''}{U_{КЭ}'' - U_{КЭ}'} = \frac{(9.304 - 7,562) \cdot 10^{-3}}{10 - 1} = 19 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$