

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

Кафедра электроники

Лабораторная работа № 3, 4
«Исследование биполярных транзисторов»

Проверил:

Выполнили:
ст. гр.

Минск 202_

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 **Заполнить строки I_k таблиц 2, 3 согласно варианту (таблица 1).**
- 6 Исследовать входные характеристики биполярного транзистора с общей базой. Для этого необходимо:
 - зафиксировать значение $U_{пит2} = U_1$;
 - установить пробное напряжение $U_{пит1} = 1В$, и затем подогнать его таким образом, чтобы I_k соответствовал первому значению в таблице 2;
 - заполнить по данной методике таблицу 2;
 - аналогичным образом заполнить таблицу 3 для $U_{пит2} = U_2$. (*Качественный вид и описание входных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).*
- 7 Исследовать выходные характеристики биполярного транзистора с общей базой. Для этого необходимо:
 - установить $U_{пит2} = U_2$ и подобрать такое $U_{пит1}$, чтобы $I_э = X_1$;
 - заполнить таблицу 4, изменяя $U_{пит2}$;
 - аналогичным образом заполнить таблицу 5 для тока $I_э = X_2$. (*Качественный вид и описание выходных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).*
- 8 Исследовать параметры генератора на основе биполярного транзистора в схеме с общей базой.
- 9 Предоставить измеренные данные на проверку преподавателю.

Порядок оформления отчета:

- 1 По измеренным данным построить соответствующие графики. Каждое семейство характеристик должно содержать по две кривые:
 - семейство входных характеристик (таблицы 2, 3: $I_э$, $U_{эб}$) на рисунке 3.
 - семейство выходных характеристик (таблицы 4, 5: I_k , $U_{кб}$) на рисунке 4.
 - семейство характеристик прямой передачи (таблицы 2, 3: I_k , $I_э$) на рисунке 5.
 - семейство характеристик обратной передачи (таблицы 4, 5: $U_{эб}$, $U_{кб}$) на рисунке 6.
- Цену деления на графиках заполнить самостоятельно.**
- 2 По построенным графикам рассчитать h -параметры биполярного транзистора в схеме с общей базой в окрестностях рабочей точки $I_э = X_1$, $U_{кб} = U_1$.
- 3 Записать общие выводы по проделанной лабораторной работе **на основе разделов 2.3, 2.4, 2.5.**

[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

Таблица 1 – Варианты работ для учебного места

Вариант 1													
I, мА	0	0,1	0,2	0,3	0,4	X ₁ =0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	X ₂ =1	1,1	
U₁ = 20В, U₂ = 30В													
Вариант 2													
I, мА	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	X ₁ =1,2	1,4	1,6	1,8	X ₂ =2	
U₁ = 15В, U₂ = 25В													
Вариант 3													
I, мА	0	0,1	0,25	0,5	0,75	1	X ₁ =1,5	2	2,5	3	X ₂ =3,5	4	
U₁ = 12В, U₂ = 20В													
Вариант 4													
I, мА	0	0,1	0,25	0,5	1	2	3	X ₁ =4	5	6	7	X ₂ =8	
U₁ = 9В, U₂ = 15В													
Вариант 5													
I, мА	0	0,1	0,2	0,4	0,7	1	1,5	3	X ₁ =5	7	X ₂ =9	11	
U₁ = 7В, U₂ = 12В													
Вариант 6													
I, мА	0	0,1	0,3	0,7	1,3	2	4	X ₁ =6	8	10	X ₂ =11	12	
U₁ = 6В, U₂ = 10В													

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

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

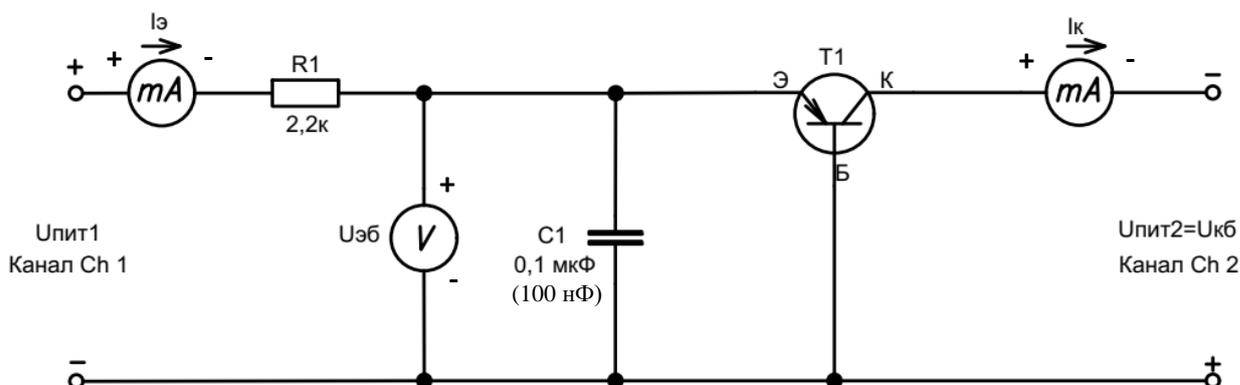


Рисунок 1 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОБ

Согласно пункту 6 исследовано семейство входных характеристик БТ в схеме с ОБ $I_{э} = f(U_{эб})$ Результаты исследований занесены в таблицу 2 и таблицу 3 соответственно.

Таблица 2 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_{э} = f(U_{эб})$, при фиксированном значении $U_{пит2} = U_{кб} = U1 = \dots \text{В}$

$I_{к}, \text{мА}$	0	0,1				
$U_{эб}, \text{В}$	0					
$I_{э}, \text{мА}$	0					
$I_{к}, \text{мА}$						
$U_{эб}, \text{В}$						
$I_{э}, \text{мА}$						

Таблица 3 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_{э} = f(U_{эб})$, при фиксированном значении $U_{пит2} = U_{кб} = U2 = \dots \text{В}$

$I_{к}, \text{мА}$	0	0,1				
$U_{эб}, \text{В}$	0					
$I_{э}, \text{мА}$	0					
$I_{к}, \text{мА}$						
$U_{эб}, \text{В}$						
$I_{э}, \text{мА}$						

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

Согласно пункту 7 исследовано семейство выходных характеристик $I_k=f(U_{кб})$. Результаты исследований занесены в таблицу 4 и таблицу 5 соответственно.

Таблица 4 – Результаты измерения (изменять значение $U_{пит2}$) выходной характеристики БТ $I_k=f(U_{кб})$, при фиксированном значении $I_э = X1=.....мА$ (устанавливается при $U_{пит2}= U2$)

$U_{кб}, В$	$U2=$	$U1=$	5	3	2	1,5	1
$I_k, мА$							
$U_эб, В$							
$U_{кб}, В$	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01
$I_k, мА$							
$U_эб, В$							

Таблица 5 – Результаты измерения (изменять значение $U_{пит2}$) выходной характеристики БТ $I_k=f(U_{кб})$, при фиксированном значении $I_э = X2=.....мА$ (устанавливается при $U_{пит2}= U2$)

$U_{кб}, В$	$U2=$	$U1=$	5	3	2	1,5	1
$I_k, мА$							
$U_эб, В$							
$U_{кб}, В$	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01
$I_k, мА$							
$U_эб, В$							

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.

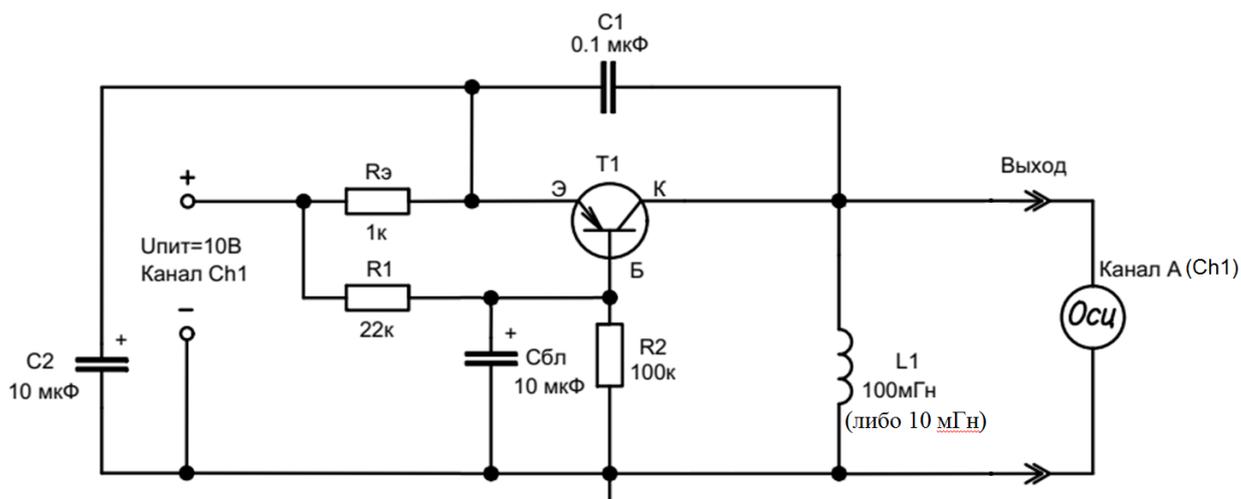


Рисунок 2 – Генератор на основе биполярного транзистора

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 $U_{xx} = \dots\dots\dots$ В.

Амплитуда выходного сигнала с подключенной на выходе нагрузкой 10кОм (параллельно катушке индуктивности) составила $U_H = \dots\dots\dots$ В.

Частота выходного сигнала составила $f = \dots\dots\dots$ кГц.

Выходное сопротивление генератора рассчитали по формуле:

$$R_{\text{ВЫХ}} = 10\text{кОм} * \left(\frac{U_{xx}}{U_H} - 1 \right) = \dots\dots\dots \text{кОм}.$$

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).

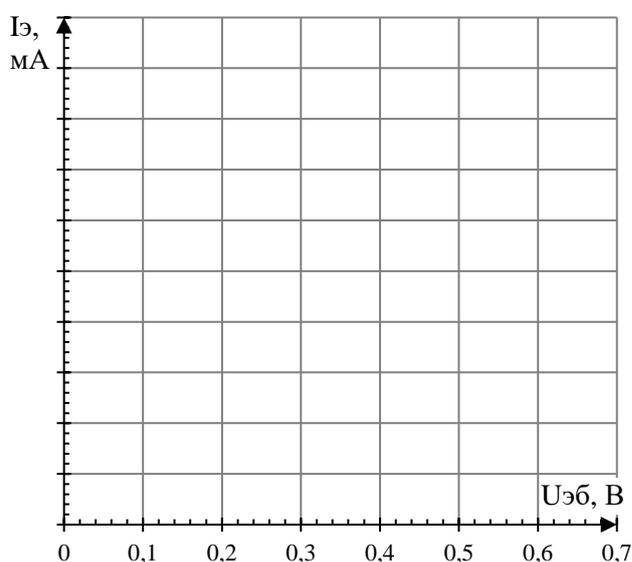


Рисунок 3 – Входные характеристики БТ в схеме с ОБ

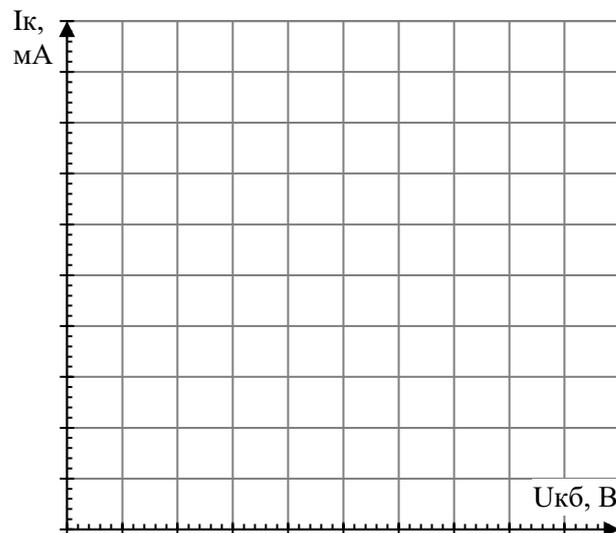


Рисунок 4 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОБ

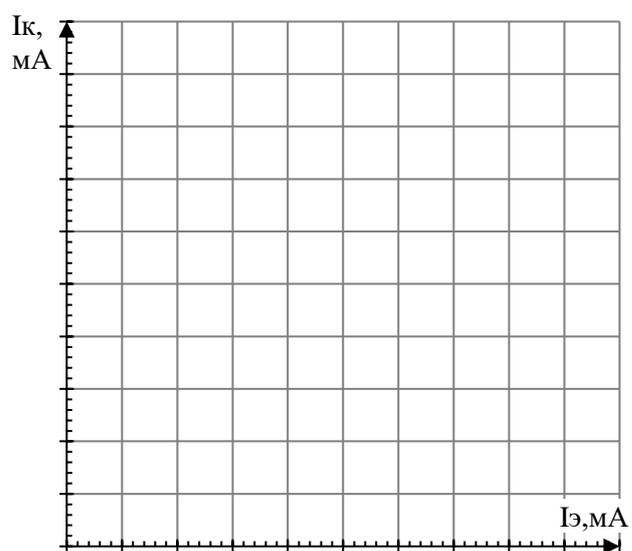


Рисунок 5 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОБ

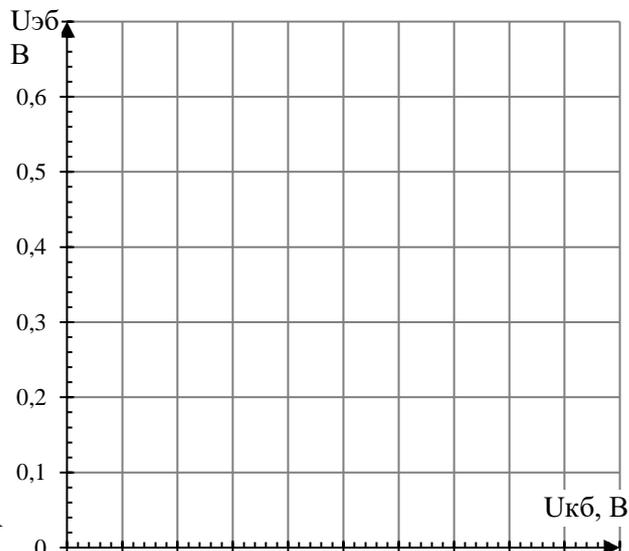


Рисунок 6 – Характеристики обратной передачи БТ в схеме с ОБ

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 $I_{э} = X_1 = \dots \text{мА}$, $U_{кб} = U_1 = \dots \text{В}$.

$$h_{11Б} =$$

$$h_{12Б} =$$

$$h_{21Б} =$$

$$h_{22Б} =$$

Порядок выполнения второй части работы:

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

11 Получить у преподавателя необходимый комплект для проведения лабораторной работы.

12 Уточнить тип исследуемого транзистора у преподавателя.

13 Собрать схему, представленную на рисунке 7 данного отчета, для исследования параметров биполярного транзистора n-p-n типа.

14 Заполнить строки I_k таблиц 6, 7 согласно варианту (таблица 1).

15 Исследовать входные характеристики биполярного транзистора с общим эмиттером. Для этого необходимо:

– зафиксировать значение $U_{пит2} = U_1$;

– установить пробное напряжение $U_{пит1} = 1В$, и затем подогнать его таким образом, чтобы I_k соответствовал первому значению в таблице 6;

– заполнить по данной методике таблицу 6;

– аналогичным образом заполнить таблицу 7 для $U_{пит2} = U_2$. (Качественный вид и описание входных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).

16 Исследовать выходные характеристики биполярного транзистора с общим эмиттером. Для этого необходимо:

– установить $U_{пит2} = U_2$ и подобрать такое $U_{пит1}$, чтобы $I_k = X_1$ (при этом значении записать I_b в подписи таблицы 8);

– заполнить таблицу 8, изменяя $U_{пит2}$;

– аналогичным образом заполнить таблицу 9 для тока $I_k = X_2$. (Качественный вид и описание выходных характеристик представлены в методическом пособии [1], стр. 34).

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

18 Предоставить измеренные данные на проверку преподавателю.

Порядок оформления отчета:

1 По измеренным данным построить соответствующие графики. Каждое семейство характеристик должно содержать по две кривые:

– семейство входных характеристик (таблицы 6, 7: I_b , $U_{бэ}$) на рисунке 9.

– семейство выходных характеристик (таблицы 8, 9: I_k , $U_{кэ}$) на рисунке 10.

– семейство характеристик прямой передачи (таблицы 6, 7: I_k , I_b) на рисунке 11.

– семейство характеристик обратной передачи (таблицы 8, 9: $U_{бэ}$, $U_{кэ}$) на рисунке

12.

Цену деления на графиках заполнить самостоятельно.

2 По построенным графикам рассчитать h-параметры биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером в окрестностях рабочей точки $I_b = (ток базы из таблицы 6 при $I_k = X_1$), $U_{кэ} = U_1$.$

3 Записать общие выводы по проделанной лабораторной работе на основе разделов 2.3, 2.4, 2.5.

[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.

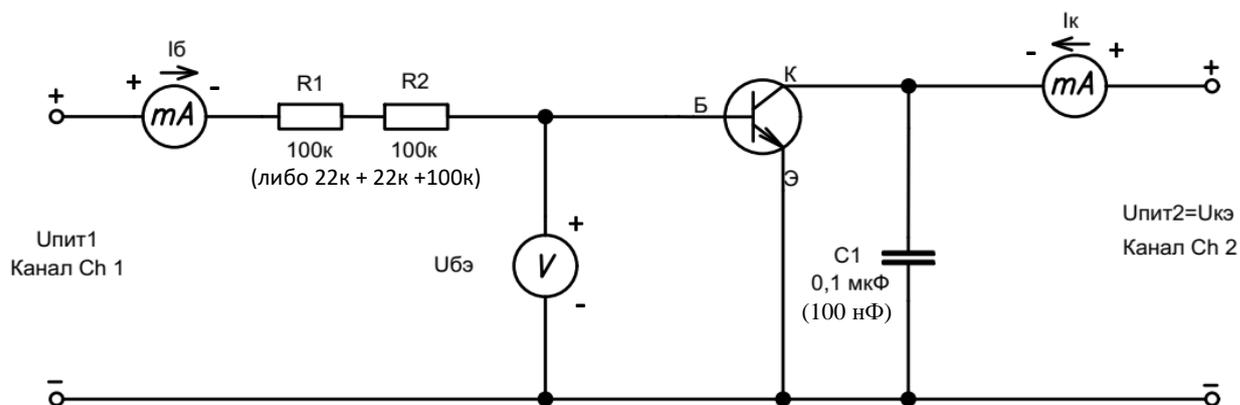


Рисунок 7 – Схема исследования входных характеристик БТ в схеме с ОЭ

Согласно пункту 15 исследовано семейство входных характеристик БТ в схеме с ОЭ $I_b=f(U_{бэ})$. Результаты исследований занесены в таблицу 6 и таблицу 7 соответственно.

Таблица 6 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_b=f(U_{бэ})$, при фиксированном значении $U_{кэ} = U_{пит2} = U_1 = \dots В$

I_k, mA	0	0,1			
$U_{бэ}, В$	0				
I_b, mA	0				
I_k, mA					
$U_{бэ}, В$					
I_b, mA					

Таблица 7 – Результаты измерения входной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит1}$) $I_b=f(U_{бэ})$, при фиксированном значении $U_{кэ} = U_{пит2} = U_2 = \dots В$

I_k, mA	0	0,1			
$U_{бэ}, В$	0				
I_b, mA	0				
I_k, mA					
$U_{бэ}, В$					
I_b, mA					

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

Согласно пункту 16 семейство выходных характеристик $I_k=f(U_{кэ})$.
 Результаты исследований занесены в таблицу 8 и таблицу 9 соответственно.

Таблица 8 – Результаты измерения выходной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит2}$) $I_k=f(U_{кэ})$, при фиксированном значении $I_b= \dots\dots$ мА (определяется при $I_k=X1$ из таблицы 7) (устанавливается при $U_{пит2}= U2$)

$U_{кэ}, В$	$U2=$	$U1=$	5	3	2	1,5	1
$I_k, мА$	$X1=$						
$U_{бэ}, В$							
$U_{кэ}, В$	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01
$I_k, мА$							
$U_{бэ}, В$							

Таблица 9 – Результаты измерения выходной характеристики БТ (изменять значение $U_{пит2}$) $I_k=f(U_{кэ})$, при фиксированном значении $I_b= \dots\dots$ мА (определяется при $I_k=X2$ из таблицы 7) (устанавливается при $U_{пит2}= U2$)

$U_{кэ}, В$	$U2=$	$U1=$	5	3	2	1,5	1
$I_k, мА$	$X2=$						
$U_{бэ}, В$							
$U_{кэ}, В$	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01
$I_k, мА$							
$U_{бэ}, В$							

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.

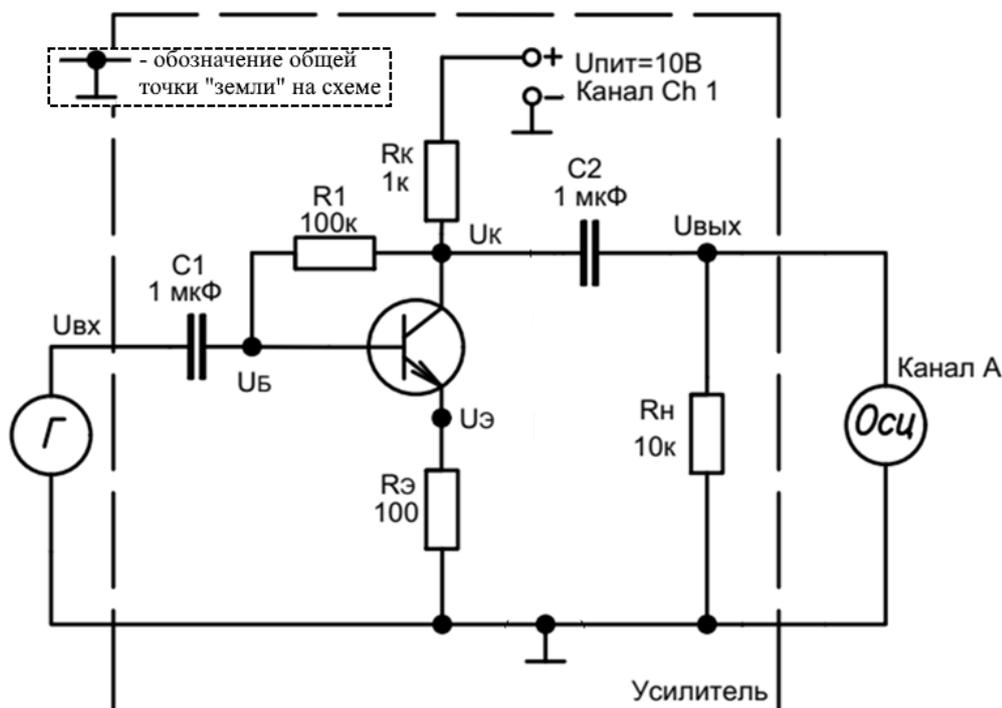


Рисунок 8 – Усилитель с коллекторной стабилизацией

Для исследования усилителя собрана схема (рисунок 8). Параметры входного сигнала: размах сигнала **генератора** $U_{вх} = 30 \text{ mV}_{pp}$ (при необходимости размах можно контролировать осциллографом, mV_{pp} – размах сигнала в мВ), частота **генератора** $f = 1 \text{ кГц}$, форма сигнала – синусоидальная. Напряжение питания усилителя – 10В. Для оценки параметров выходного сигнала усилителя подключен канал А (1 либо Ch1, либо канал X) осциллографа (Осц, рисунок 8).

Размах выходного сигнала составил $U_{вых} = \dots\dots\dots \text{ В}$.

Коэффициент усиления по напряжению $K_u = U_{вых}/U_{вх} = \dots\dots\dots$

Увеличивая размах входного сигнала, определили максимальный размах (от верхнего пика сигнала до нижнего) выходного сигнала без искажения его формы, он составил $U_{вых_{max}} = \dots\dots\dots \text{ В}$. Размах входного сигнала при этом составил $U_{вх_{max}} = \dots\dots\dots \text{ мВ}$.

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).

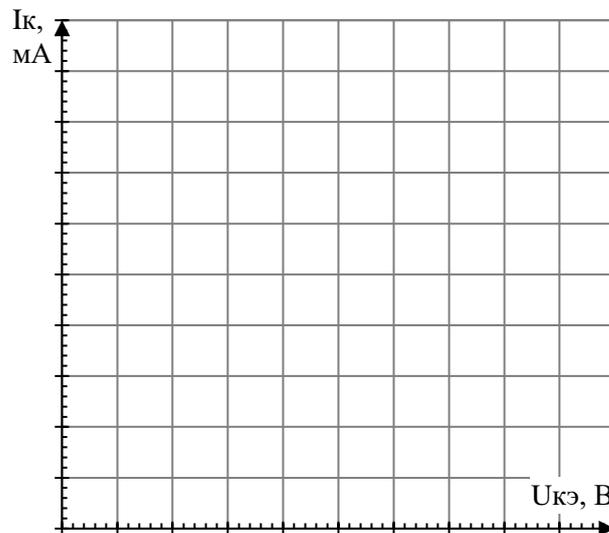
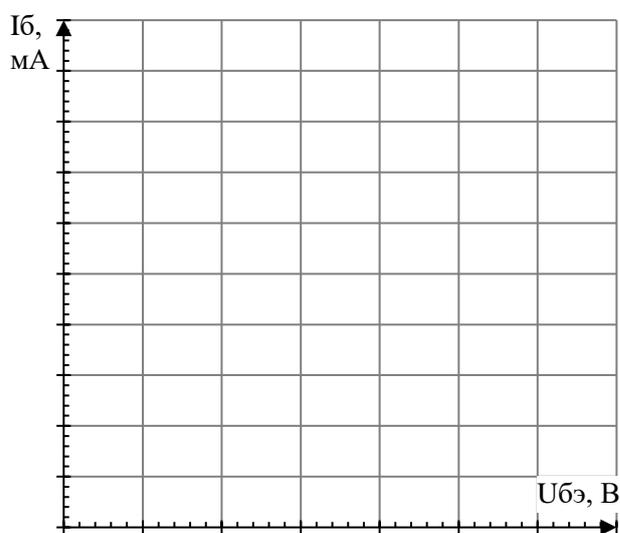


Рисунок 9 – Входные характеристики БТ в схеме с ОЭ

Рисунок 10 – Выходные характеристики БТ в схеме с ОЭ

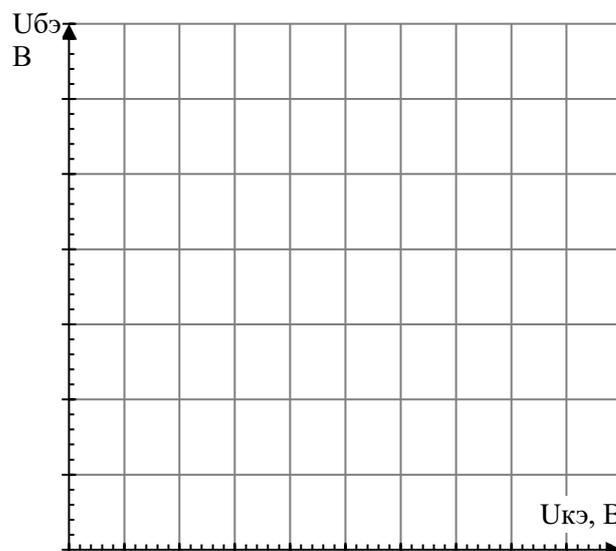
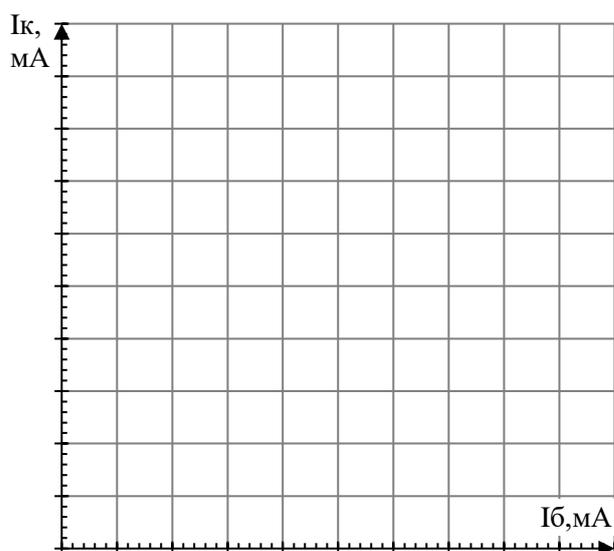


Рисунок 11 – Характеристики прямой передачи БТ в схеме с ОЭ

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 $I_b = \dots \text{мкА}$ (ток базы из таблицы 6 при $I_k = X1$), $U_{кэ} = U1$.

$$h_{11Э} =$$

$$h_{12Э} =$$

$$h_{21Э} =$$

$$h_{22Э} =$$

3 Выводы