

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчёт по лабораторной работе № 1

Тема: «Исследование характеристик биполярного транзистора»

Выполнил:  
студент группы 050502 Крачковский А.В.

Проверил:  
к.т.н., доцент Селезнёв И.Л.

Минск  
2022

# Исследование характеристик биполярного транзистора

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является:

Изучить устройство и принцип работы биполярного транзистора, его основные характеристики, схемы включения, режимы работы и особенности работы в режиме малого сигнала.

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Для выполнения работы используем аппаратно-технические средства:

- макетная станция NI ELVIS;
- модуль Lab4A (рисунок 2.1).

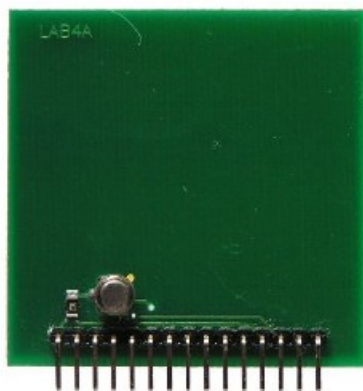


Рисунок 2.1 – модуль Lab4A

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить коэффициент передачи транзистора по постоянному току;
- получить входные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером;
- получить семейство выходных характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером;
- установить рабочую точку транзисторного каскада с общим эмиттером.

### 3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Полупроводниковый прибор, имеющий три электрода и два взаимодействующих р-п-перехода, называется биполярным транзистором. В зависимости от последовательности чередования областей с различным типом проводимости различают р-п-р-транзисторы и п-р-п-транзисторы, возможные схемы включения изображены на рисунке 3.1. Биполярные транзисторы, как правило, изготавливаются из кремния, германия или арсенида галлия. По технологии изготовления биполярные транзисторы делятся на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные.

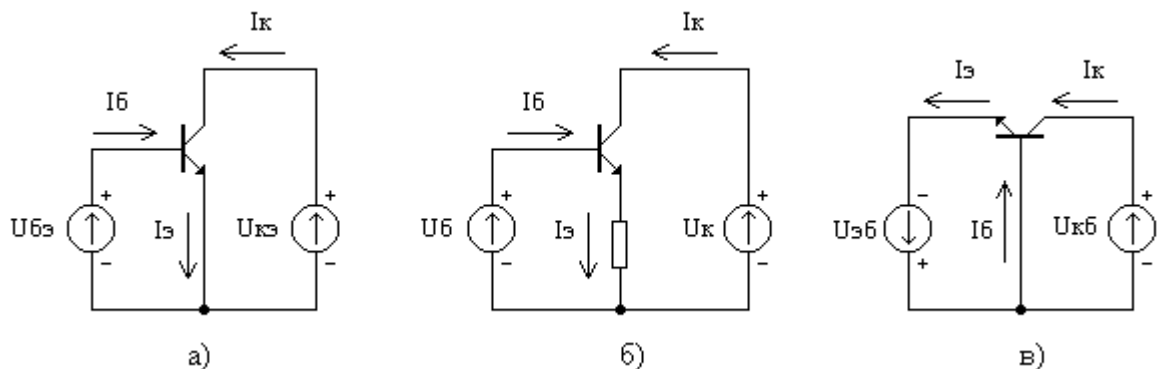


Рисунок 3.1 – Схемы включения *n-p-n* транзистора  
а) с общим эмиттером б) с общим коллектором в) с общей базой

В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам транзистора, различают следующие режимы его работы: линейный (усилительный), насыщения, отсечки и инверсный.

В линейном режиме работы биполярного транзистора эмиттерный переход смещён в прямом направлении, а коллекторный – в обратном. В режиме насыщения оба перехода смещены в прямом направлении, а в режиме отсечки – оба перехода в обратном направлении. И, наконец, в инверсном режиме коллекторный переход смещён в прямом направлении, а эмиттерный – в обратном. Кроме рассмотренных режимов возможен ещё один режим, который является не рабочим, а аварийным – это режим пробоя.

При включении в цепь коллектора сопротивления нагрузки напряжение на коллекторном переходе меняется с изменением коллекторного тока за счёт падения напряжения на сопротивлении нагрузки. В этом случае ток коллектора становится функцией двух одновременно меняющихся факторов. Ток коллектора зависит от напряжения на коллекторе и от тока базы:

$$I_K = f(U_{KЭ}, I_B) \quad (3.1)$$

В свою очередь ток базы зависит от потенциала базы относительно эмиттера и от напряжения на коллекторе:

$$I_B = f(U_{БЭ}, U_{КЭ}) \quad (3.2)$$

Важнейшими характеристиками транзистора являются его входная и выходные вольт-амперные характеристики. Типичные ВАХ биполярного транзистора приведены на рисунке 3.2.

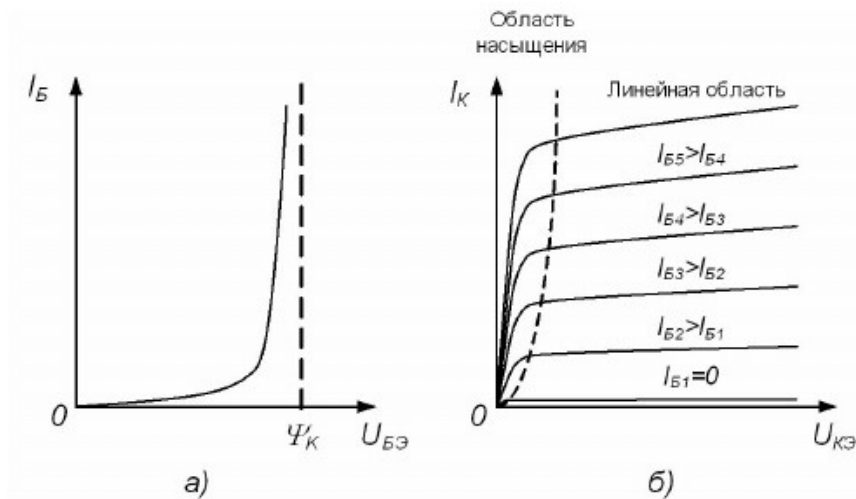


Рисунок 3.2 – Входная (а) и выходная (б) ВАХ биполярного транзистора

Биполярные транзисторы чаще всего используются в усилительных каскадах. На рисунок 3.3 изображён типичный транзисторный каскад с общим эмиттером. Режим работы биполярного транзистора в таком каскаде определяется силой базового тока. Для того, чтобы базовый ток был стабилен, база соединяется с источником напряжения  $E_B$  через высокоомное сопротивление  $R_B$ .

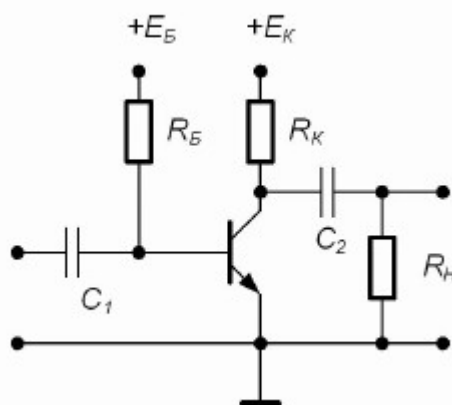


Рисунок 3.3 – Установка рабочей точки с помощью стабильного тока базы

Для определения режима работы транзисторного каскада удобно построить линию нагрузки на выходной характеристике транзистора. Данный способ позволяет описать поведение транзистора во всех основных режимах работы, а именно: насыщения, усиления и отсечки.

Режим насыщения характеризуется низким падением напряжения кол-

литор-эмиттер (порядка 0,1 В). Для перевода транзистора в этот режим необходимо, чтобы через базу транзистора протекал ток, больший, чем ток насыщения базы. В режиме усиления ток коллектора меньше тока насыщения  $I_{KH}$  и для его вычисления можно воспользоваться уравнением линии нагрузки цепи коллектора. В режиме отсечки ток коллектора равен нулю и не создаёт на резисторе  $R_K$  падения напряжения.

При работе транзисторного каскада в режиме малого сигнала обеспечивается наибольшее усиление входного сигнала при минимальных искажениях. Характерной особенностью данного режима является то, что при всех возможных значениях входного сигнала рабочая точка транзистора не выходит из линейной области.

Расчёт режима малого сигнала состоит в нахождении постоянных и переменных составляющих токов и напряжений в транзисторном каскаде. Расчёт постоянных составляющих позволяет найти параметры рабочей точки транзисторного каскада (статический режим), а переменных составляющих – усилительные свойства каскада в этой точке.

## 4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### 4.1 Определение коэффициента передачи биполярного транзистора по постоянному току

**4.1.1** Снимаем значения измерений тока коллектора  $I_K$ , тока базы  $I_B$  и напряжения коллектор-эмиттер  $U_{КЭ}$  транзистора в схеме на рисунке 4.1, с ВП при установленных согласно таблице 4.1 значениях напряжений источников питания  $E_B$  и  $E_K$ .

Полученные значения заносим в таблицу 4.1.

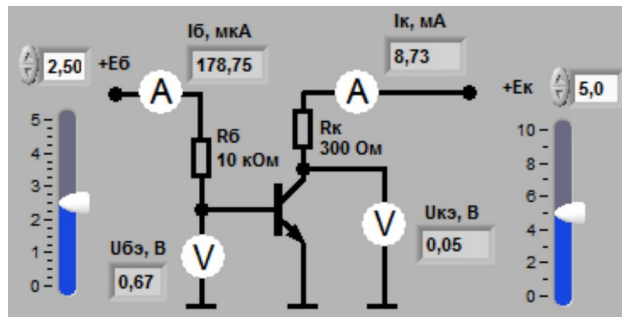


Рисунок 4.1 – Схема цепи с транзистором в задании 1

Таблица 4.1 – Измерения параметров транзистора в задании 1

$E_B, В$	$E_K, В$	$I_K, мА$	$I_B, мкА$	$U_{КЭ}, В$	$\beta_{DC}$
1,25	5	11,88	58,60	0,10	202,730
2,50	5	11,83	182,00	0,07	65,000
5,00	5	11,83	430,50	0,05	27,480
1,25	10	11,80	58,60	0,10	201,365
2,50	10	11,80	182,00	0,07	64,835
5,00	10	11,80	430,50	0,05	27,410

**4.1.2** Вычисляем значения статического коэффициента усиления транзистора  $\beta_{DC}$  для каждого из проведённых измерений по формуле:

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B}, \quad (4.1)$$

где  $\beta_{DC}$  – статический коэффициент усиления транзистора;  
 $I_K$  и  $I_B$  – ток коллектора и ток базы соответственно.

Полученные значения заносим в таблицу 4.1.

Исходя из таблицы 4.1 делаем вывод, что увеличение напряжения коллектор-эмиттер приводит к увеличению коэффициента усиления транзистора и наоборот (нелинейная зависимость).

## 4.2 Получение входной характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

4.2.1 На ВП получаем график зависимости входного тока  $I_B$  транзистора в схеме на рисунке 4.2.1 от входного напряжения  $U_{БЭ}$ , при заданном значении напряжения питания коллектора  $E_K$ , равным 5 В. Полученный график представлен на рисунке 4.2.2.

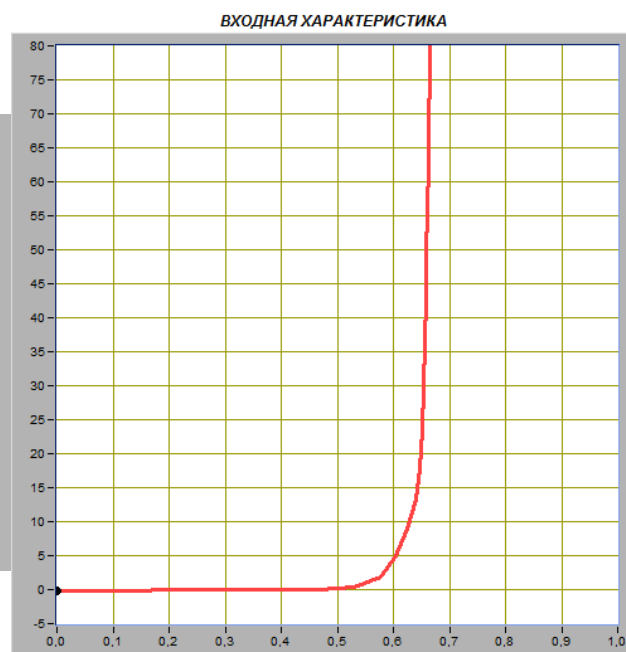
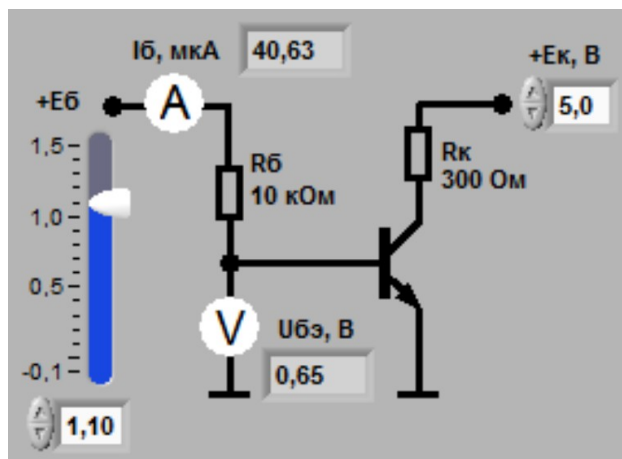


Рисунок 4.2.1 – Схема цепи с транзистором в задании 2

Рисунок 4.2.2 – График зависимости входного тока транзистора от входного напряжения

4.2.2 По графику на рисунке 4.2.2 определяем значения напряжения база-эмиттер  $U_{БЭ}$  для точек со значениями тока базы  $I_B = 10 \text{ мкА}$  и  $I_B = 40 \text{ мкА}$ . Полученные значения  $U_{БЭ}$  заносим в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Значения напряжения база-эмиттер  $U_{БЭ}$  в выбранных точках

$I_B, \text{мкА}$	$U_{БЭ}, \text{В}$
10	0,65
40	0,62

4.2.3 Вычисляем дифференциальное входное сопротивление транзистора по формуле:

$$r_{ex} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B}, \quad (4.2)$$

где  $\Delta I_B$  – разность токов базы в выбранных точках;  
 $\Delta U_{БЭ}$  – разность напряжений база-эмиттер в выбранных точках.

При изменении тока базы от 10 мкА до 40 мкА получаем значение:

$$r_{ex} = \frac{0,65 - 0,62}{(40 - 10) \cdot 10^{(-6)}} = 1 \text{ кОм}. \quad (4.2)$$

### 4.3 Получение семейства выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

**4.3.1** На ВП получаем график зависимостей тока  $I_K$  от напряжения коллектор-эмиттер  $U_{КЭ}$  транзистора в схеме на рисунке 4.3.1, полученные при плавном изменении напряжения на коллекторе транзистора от 0 до 10 В и фиксированных значениях напряжения источника ЭДС базы  $E_B = 0,6 \text{ В}; 0,74 \text{ В}; 0,88 \text{ В}; 1,02 \text{ В}; 1,16 \text{ В}$ , а также установившиеся значения тока базы  $I_B$  для каждого из напряжений. Полученные значения токов базы заносим в таблицу 4.3 и отмечаем на графике (рисунки 4.3.2, 4.3.3).

**4.3.2** По причине несовершенства лабораторной установки, опираясь на знания полученные при изучении настоящей и смежных дисциплин, достраиваем линии полученного ранее семейства выходных характеристик.

Конечный график приведён на рисунке 4.3.3.

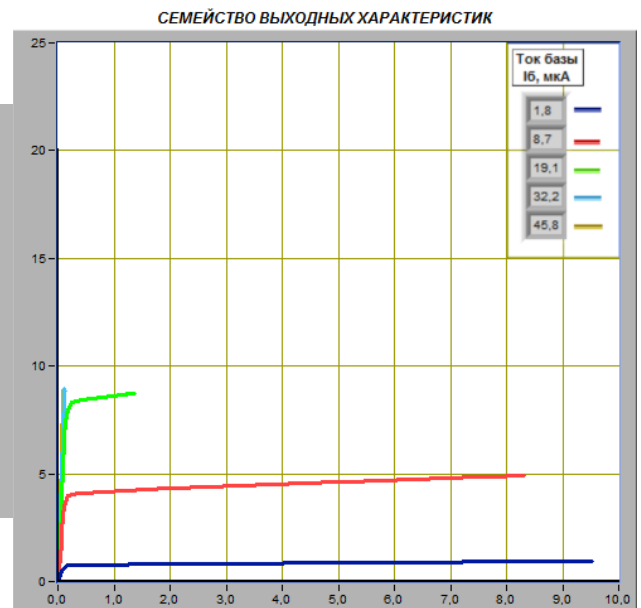
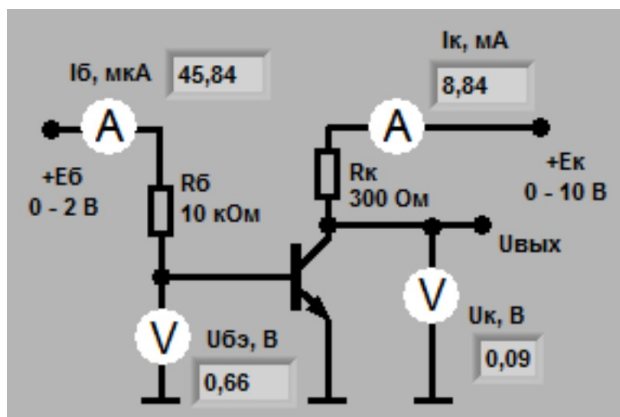


Рисунок 4.3.1 – Схема цепи с транзистором в задании 3

Рисунок 4.3.2 – Семейство выходных характеристик транзистора

Таблица 4.3 – Соответствие значений тока коллектора  $I_K$  и тока базы  $I_B$

$I_B, \text{мкА}$	1,8	8,7	19,1	32,2	45,8
$I_K, \text{мА}$	0,88	4,59	9,98	15,02	19,98

**4.3.3** По графику, изображённому на рисунке 4.3.3 находим ток коллектора  $I_K$ , соответствующий значениям тока базы, при которых снимались



выходные характеристики, и фиксированном коллекторном напряжении, равном  $U_{кэ}=5 В$ .

Полученные значения представлены в таблице 4.3.

**4.3.4** Определяем коэффициент передачи тока  $\beta_{AC}$  при изменении тока базы в диапазоне от  $10 мкА$  до  $40 мкА$  по формуле:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}, \quad (4.3.1)$$

где  $\Delta I_B$  и  $\Delta I_K$  – изменение тока базы и соответствующее ему изменение тока коллектора.

Выбрав из таблицы 4.3 точки, лежащие в диапазоне от  $I_B=10 мкА$  до  $I_B=40 мкА$  и расположенные наиболее близко к заданным границам, и подставив их в формулу 4.2, получаем:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{(15,02 - 9,98) \cdot 10^{(-3)}}{(32,2 - 19,1) \cdot 10^{(-6)}} = \frac{5,04}{13,1} \cdot 10^3 \approx 384,733. \quad (4.3.2)$$

**4.3.5** Выбрав сопротивление коллектора равным  $R_K=300 Ом$ , а ЭДС коллекторного источника питания  $E_K=5 В$ , по точкам: точка  $E_K=5 В$  на оси абсцисс и точка  $I_K=E_K/R_K=5/300 \approx 16,667 мА$  на оси ординат – строим линию нагрузки.

Результат представлен на рисунке 4.3.4.

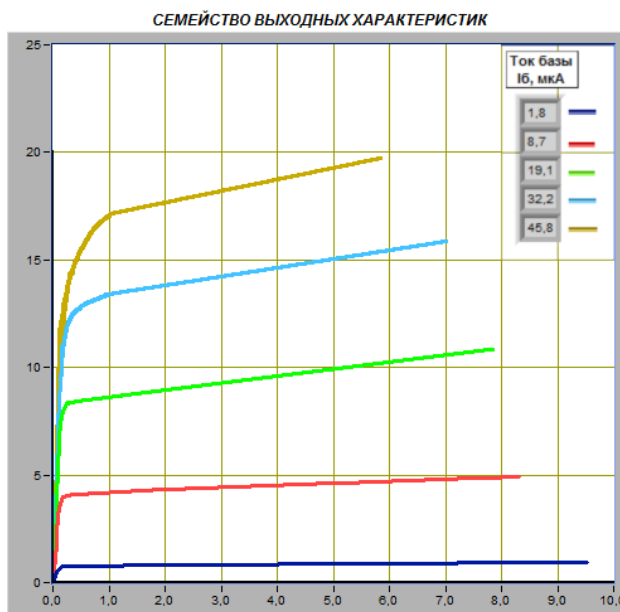


Рисунок 4.3.3 – Семейство выходных характеристик транзистора

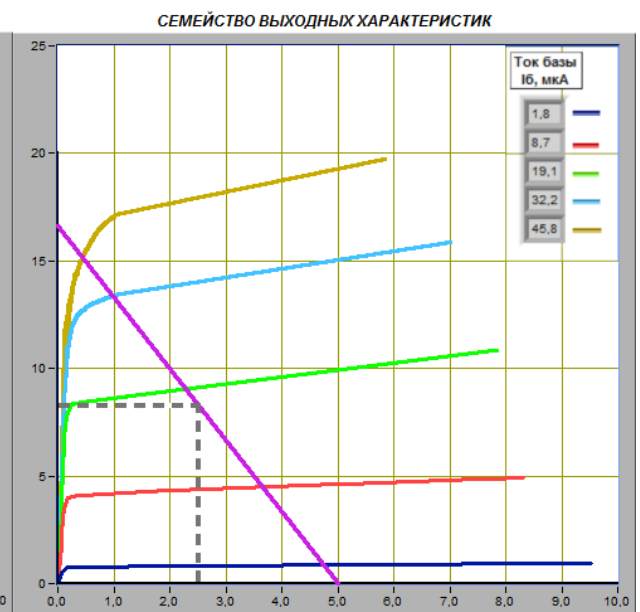


Рисунок 4.3.4 – Линия нагрузки и рабочая точка

**4.3.6** По выходным характеристикам и линии нагрузки оцениваем значения тока коллектора  $I_K^*$  и тока базы  $I_B^*$  в рабочей точке, для которой  $U_{КЭ} = E_K/2$ .

Из графика линии нагрузки на рисунке 4.3.4 находим  $I_K^* \approx 8.333 \text{ мА}$

Из формулы 4.2, взяв в качестве точек рабочую ( $I_B^*, I_K^*$ ) и точку ( $I_B', I_K'$ ), лежащую в диапазоне от 10 мкА до 40 мкА, и расположенную наиболее близко к последней границе (голубая линия на графике), получим  $I_B^*$ :

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{I_K' - I_K^*}{I_B' - I_B^*} \Rightarrow I_K' - I_K^* = \beta_{AC} \cdot (I_B' - I_B^*) \Rightarrow$$

$$I_B^* = I_B' - \frac{I_K' - I_K^*}{\beta_{AC}}.$$

$$I_B^* = 32,2 \cdot 10^{-6} - \frac{15,02 - 8,333}{384,733} \cdot 10^{-3} = 14,82 \text{ мкА}.$$
(4.3.3)

#### 4.4 Установка рабочей точки транзисторного каскада с общим эмиттером

**4.4.1** Получаем график выходных характеристик транзистора с изображением линии нагрузки (рисунок 4.4.2), сравниваем с полученным в пункте 4.3.5 графиком. Делаем вывод об отсутствии видимых различий.

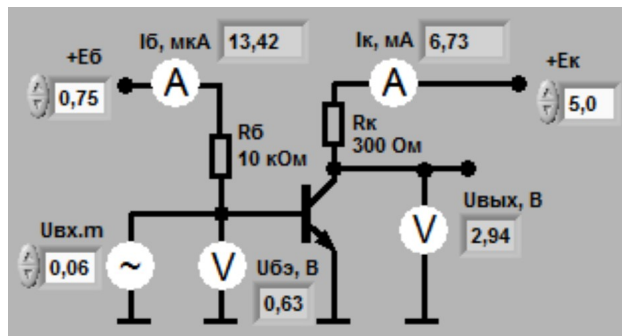


Рисунок 4.4.1 – Схема цепи с транзистором в задании 4

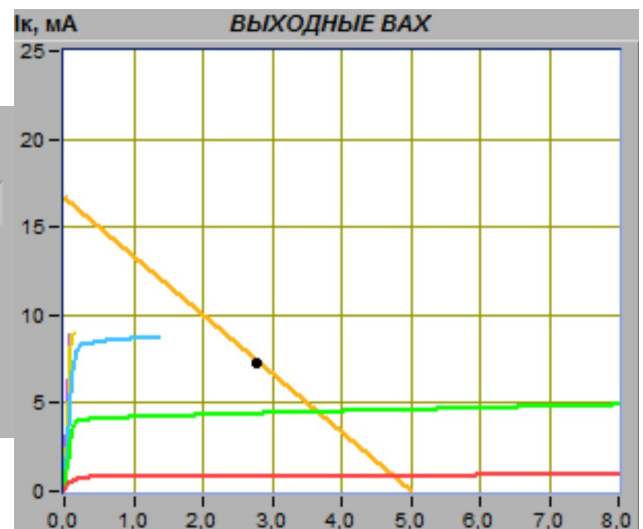


Рисунок 4.4.2 – Линия нагрузки и рабочая точка

**4.4.2** Регулируя ЭДС источника напряжения базы  $E_B$ , устанавливаем значение тока базы  $I_B^*$ , равное значению 14,82 мкА, полученному в пункте 4.3.6. Измеряем параметры статического режима транзисторного усилителя с общим эмиттером. Результаты измерения представлены в таблице 4.4.1.

Значение напряжения коллектор-эмиттер  $U_{КЭ}$  вычисляем по формуле:

$$U_{кэ} = E_K - I_K \cdot R_K.$$

$$U_{кэ} = 5 - 7,21 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 2,837 \text{ В} \quad (4.4.1)$$

где  $E_K$  и  $R_K$  – ЭДС источника напряжения и сопротивление коллектора соответственно.

Таблица 4.4.1 – Параметры статического режима транзисторного усилителя

$I_B, \text{мкА}$	$U_{БЭ}, \text{В}$	$I_K, \text{мА}$	$U_{кэ}, \text{В}$
14,82	0,63	7,21	2,837

**4.4.3** Плавно увеличиваем амплитуду входного сигнала  $u_{BX,m}$  и получаем на графическом индикаторе ВП максимальный неискаженный выходной сигнал (рисунок 4.4.3).

Сопоставляя осциллограммы на рисунках 4.4.3 и 4.4.4, замечаем, что входной и выходной сигналы транзисторного каскада с общим эмиттером находятся в противофазе.

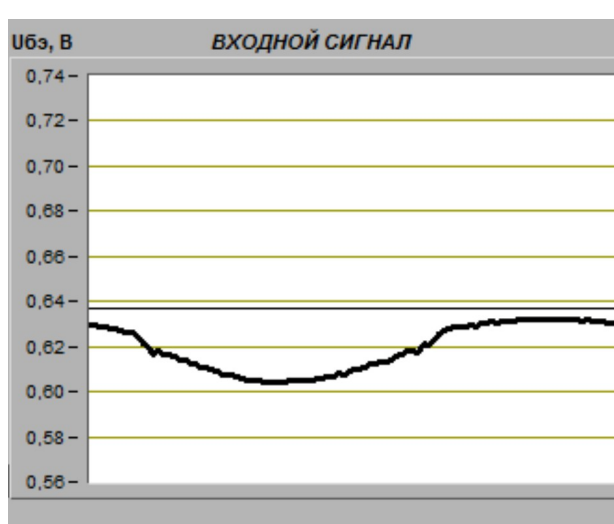


Рисунок 4.4.3 – Осциллограмма входного сигнала

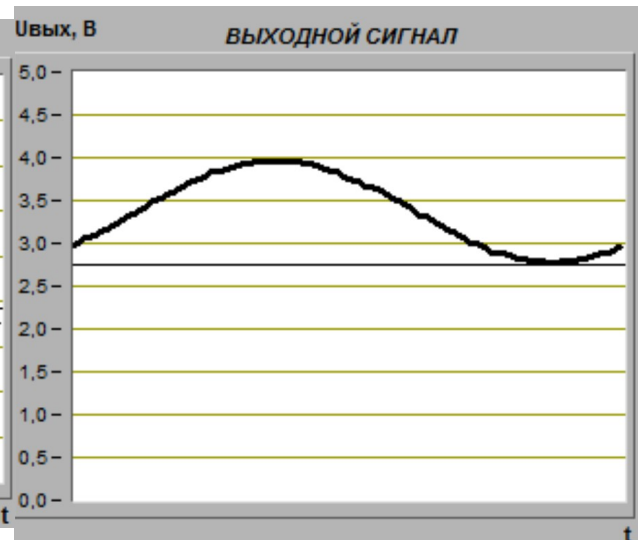


Рисунок 4.4.4 – Осциллограмма выходного сигнала

**4.4.4** С помощью ВП измеряем значения амплитуд входного  $U_{BXm}$  и выходного  $U_{BbIXm}$  сигналов используя формулу  $U_m = (u_{max} - u_{min})/2$ .

Полученные результаты представлены ниже:

$$U_{BXm} = \frac{0,637 - 0,617}{2} = 0,1 \text{ В} ; \quad U_{BbIXm} = \frac{3,43 - 0,69}{2} = 0,37 \text{ В} .$$

**4.4.5** Используя полученные значения амплитуды входного и выходного сигналов  $U_{BXm}$  и  $U_{BbIXm}$ , определяем коэффициент усиления транзисторного каскада  $K_y$  по формуле:

$$K_y = \frac{U_{BbIXm}}{U_{BXm}} ; K_y = \frac{0,37}{0,1} = 3,7. \quad (4.4.2)$$

4.4.7 регулируя напряжение ЭДС источника смещения базы  $E_B$ , изменяем значение тока базы на 19,266 мкА и 10,374 мкА, изучаем, как влияет положение рабочей точки на работу транзисторного каскада с общим эмиттером. Характер изменения выходного сигнала представлен на рисунке 4.4.5.

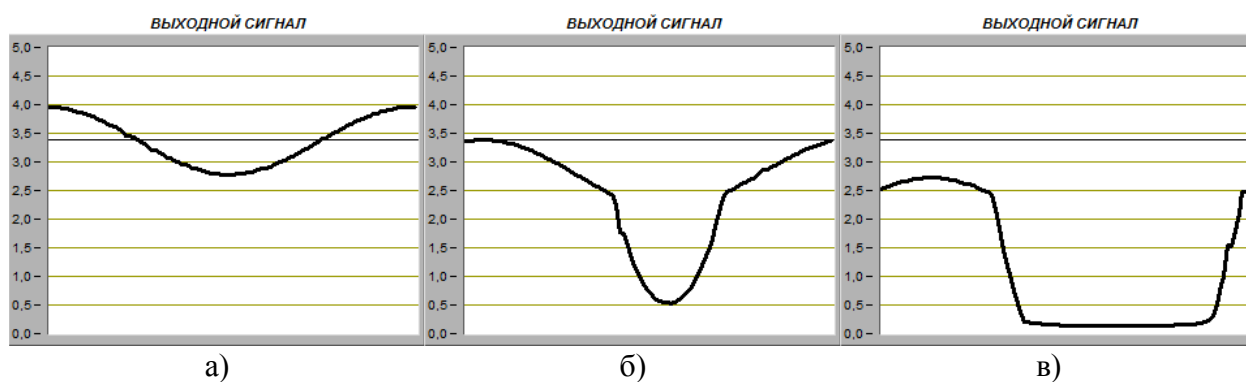


Рисунок 4.4.3 – Осциллограмма входного сигнала для значения тока базы  
 а)  $I_B = I_B^* - 30\%$  б)  $I_B = I_B^*$  в)  $I_B = I_B^* + 30\%$

Наблюдаемые изменения объясняются тем, что при неудачном выборе амплитуды входного сигнала и величины базового смещения возникают искажения: выходное напряжение принимает несинусоидальную форму. Для устранения искажений в ходе выполнения работы мы уменьшали амплитуду входного сигнала и изменяли положение рабочей точки.

## **5 ВЫВОДЫ**

В процессе выполнения работы были исследованы устройство и принцип работы биполярного транзистора, его основные характеристики, схемы включения, режимы работы и особенности работы в режиме малого сигнала.

Полученные знания были применены для решения задач, возникших в ходе работы: определён коэффициент передачи транзистора по постоянному току; получены входные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером; получено семейство выходных характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером; установлена рабочая точка транзисторного каскада с общим эмиттером.