

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

Кафедра ЭВМ

Отчет по лабораторной работе № 1  
Тема: «Исследование характеристик биполярного транзистора»

Выполнил:  
студент группы 150501 Смоленский Н.О.

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

Минск  
2023

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение характеристик биполярного транзистора.

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Поставленные задачи:

1. Подготовка лабораторного модуля Lab4A на установке N1 ELVIS.
2. Определение коэффициента передачи биполярного транзистора по постоянному току.
3. Получение входной характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.
4. Получение семейства выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.
5. Установка рабочей точки 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.

Биполярные транзисторы, как правило, изготавливаются из кремния, германия или арсенида галлия. По технологии изготовления биполярные транзисторы делятся на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные.

Условные обозначения и устройство биполярных транзисторов приведены на рисунке 3.1.

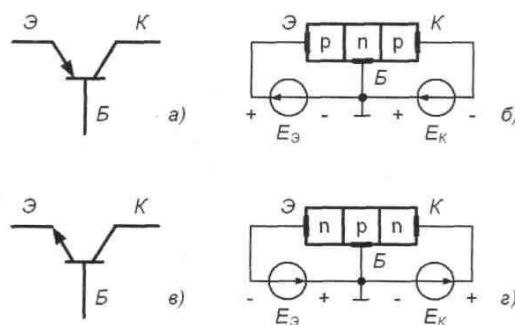


Рисунок 3.1 - Условные обозначения и устройство транзисторов р-п-р (а, б) и п-р-п (в, г) типов

В основном биполярные транзисторы применяются для построения схем усилителей, генераторов и преобразователей электрических сигналов в широком диапазоне частот (от постоянного тока до десяти гигагерц) и мощности (от десятков милливатт до сотен ватт).

В соответствии с этим биполярные транзисторы делятся на группы по частоте (низкочастотные – не более 3 МГц; средней частоты – от 3 МГц до 30 МГц; высокочастотные – от 30 МГц до 300 МГц; сверхвысокочастотные – более 300 МГц) и по мощности (маломощные – не более 0,3 Вт; средней мощности – от 0,3 Вт до 1,5 Вт; большой мощности – более 1,5 Вт).

Разновидностью биполярных транзисторов являются лавинные транзисторы, предназначенные для формирования мощных импульсов наносекундного диапазона.

Другую разновидность биполярных транзисторов представляют двухэмиттерные модуляторные транзисторы, в которых конструктивно объединены две транзисторные структуры.

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 смещен 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 смещен в прямом направлении, а эмиттерный – в обратном. Кроме рассмотренных режимов возможен еще один режим, который является не рабочим, а аварийным – режим пробоя.

Принцип работы биполярного транзистора основан на возможности управления токами электродов путем изменения напряжений, приложенных к электронно-дырочным переходам. В линейном режиме, когда переход база-эмиттер открыт благодаря приложенному к нему напряжению  $U_{бэ}$ , через него протекает ток базы  $I_б$ . Протекание тока базы приводит к инжекции зарядов из области коллектора в область базы, причем ток коллектора определяется выражением:

$$I_K = \beta_{DC} * I_б, \quad (3.1)$$

где  $\beta_{dc}$  – статический коэффициент передачи тока базы.

Прямое падение напряжения  $U_{бэ}$  на эмиттерном переходе связано с током коллектора уравнением Эберса-Молла:

$$I_K = I_{КБ.0} (e^{\frac{U_{БЭ}}{\varphi_t}} - 1), \quad (3.2)$$

где  $I_{КБ.0}$  – обратный ток коллекторного перехода, а  $\varphi_t$  – температурный потенциал, который при температуре  $T=300$  К составляет для кремния примерно 25 мВ.

Из выражения (3.2) следует, что при прямом смещении эмиттерного перехода и при условии  $U_{бэ} > \varphi_t$  ток коллектора возрастает с ростом напряжения

$U_{бэ}$  по экспоненциальному закону:

$$I_K \approx I_{КБ.0} * e^{\frac{U_{БЭ}}{\varphi_t}}, \quad (3.3)$$

где  $U_{бэ} < \varphi_k$  – контактная разность потенциалов.

Важнейшими характеристиками транзистора являются его входная и выходные вольтамперные характеристики (ВАХ). Типичные ВАХ биполярного транзистора приведены на рисунке 3.2.

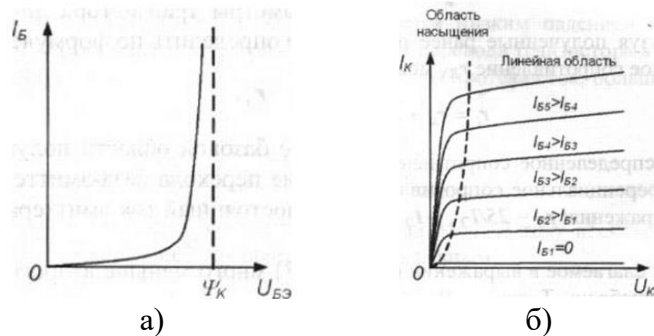


Рисунок 3.2 – Входная (а) и выходные (б) ВАХ биполярного транзистора.

Кроме ВАХ также рассматривают статический коэффициент передачи тока, коэффициент передачи тока, дифференциальное входное сопротивление. Значения этих характеристик зависят от схемы включения транзистора.

На рисунке 3.3 приведена схема включения биполярного транзистора с обратной проводимостью (n-p-n) по схеме с общим эмиттером. Для такой схемы справедливо следующее соотношение между токами:

$$I_э = I_б + I_к,$$

где  $I_э$ ,  $I_б$ ,  $I_к$  – сила тока в цепях эмиттера, базы и коллектора, соответственно.

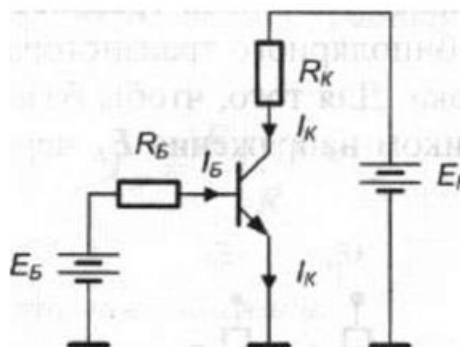


Рисунок 3.3 – Включение биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером.

## 4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

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

После установки лабораторного модуля dLab12 на макетную плату NI ELVIS и загрузки файла Lab4A.vi на экране появляется изображение схемы с биполярным транзистором (БТ), приведенное на рисунке 4.1.

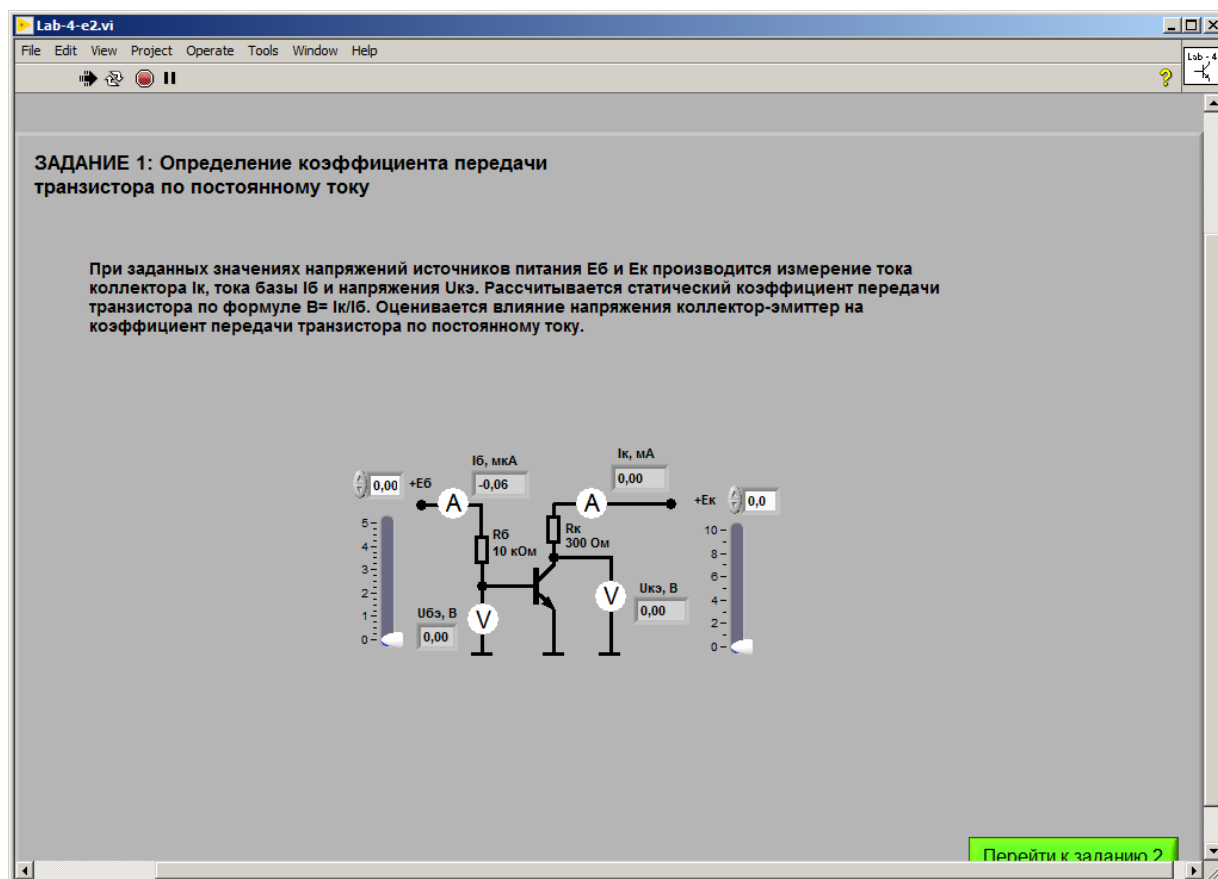


Рисунок 4.1 – Схема подключения БТ для определения коэффициента передачи по постоянному току

Измерив значения тока коллектора  $I_K$ , тока базы  $I_B$  и напряжения  $U_{KЭ}$ , необходимо рассчитать коэффициент усиления  $\beta_{DC}$ . Результат вычислений занесён в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Вычисление коэффициента усиления транзистора

$E_B, \text{ В}$	$E_K, \text{ В}$	$I_K, \text{ мА}$	$I_B, \text{ мкА}$	$U_{KЭ}, \text{ В}$	$\beta_{DC}$
1,25	5	11,05	38,2	0,12	289,27
2,5	5	11,04	161,25	0,06	68,47
5	5	11,03	409,34	0,04	26,95
1,25	10	11,01	38,75	0,12	284,13
2,5	10	11,01	161,75	0,06	68,07
5	10	11,01	409,75	0,04	26,87

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что напряжение коллектор-эмиттер  $U_{КЭ}$  и коэффициент усиления  $\beta_{ДС}$  имеют прямую зависимость.

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

Для получения входной характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером была подключена схема, изображённая на рисунке 4.2.

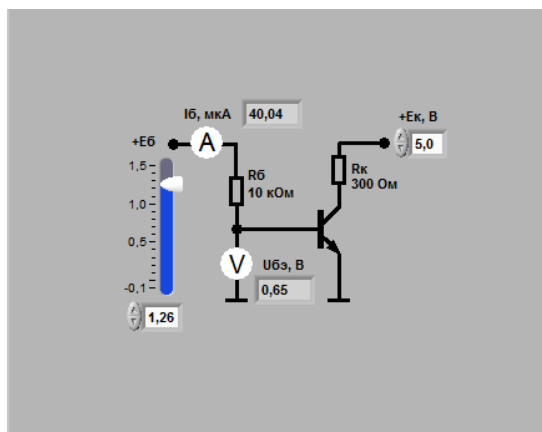


Рисунок 4.2 – Схема подключения биполярного транзистора с общим эмиттером

После установки напряжения питания коллектора  $E_K$ , равного 5В, был получен график зависимости входного тока  $I_B$  транзистора от входного напряжения  $U_{БЭ}$  (рисунок 4.2).

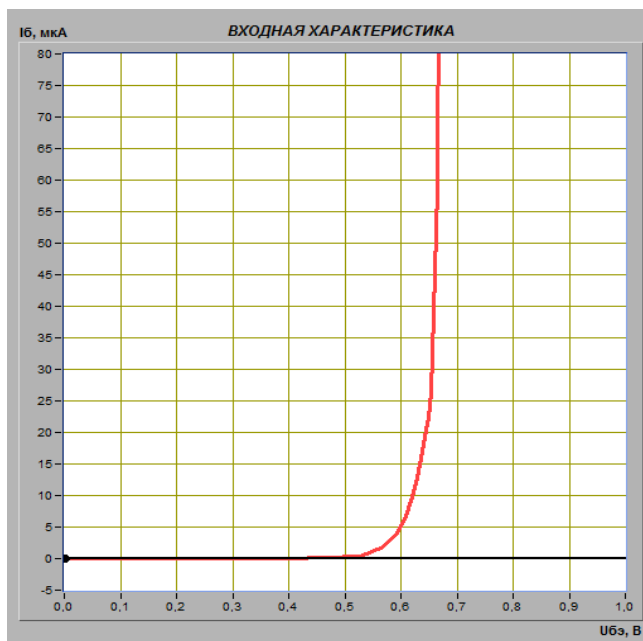


Рисунок 4.3 – График зависимости входного тока  $I_B$  транзистора от входного напряжения  $U_{БЭ}$

При изменении напряжения источника  $E_B$ , были получены значения  $I_B$  сначала примерно 10 мкА, а затем примерно равным 40 мкА. Полученные значения напряжения  $U_{БЭ}$ :

$$\begin{aligned} I_{B1} &= 10 \text{ мкА}, U_{БЭ1} = 0,62, \\ I_{B2} &= 40 \text{ мкА}, U_{БЭ2} = 0,65. \end{aligned}$$

Используя эти данные необходимо рассчитать дифференциальное входное сопротивление транзистора:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{0,65-0,62}{(40-10) \cdot 10^{-6}} = 1 \text{ кОм}.$$

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

Для получения семейства выходных характеристик была подключена схема, изображённая на рисунке 4.4.

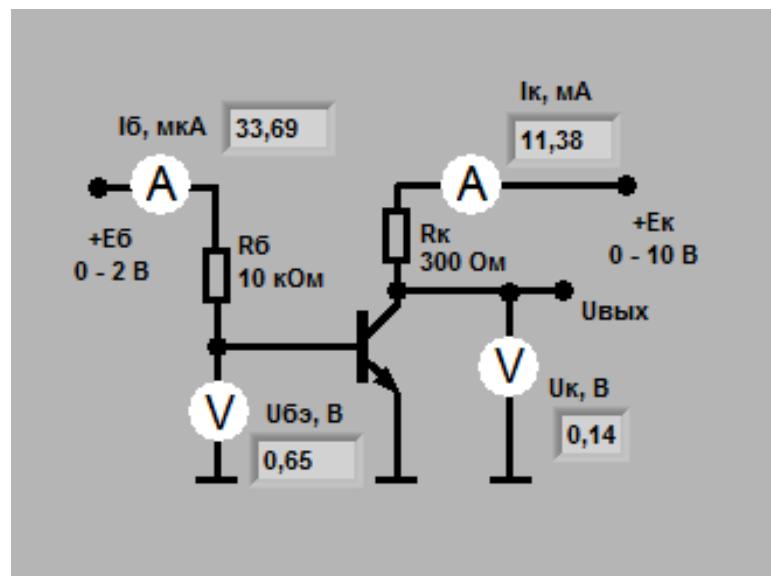


Рисунок 4.4 – Схема подключения БТ с общим эмиттером для получения семейства выходных характеристик

Для данной схемы необходимо получить графики зависимости тока коллектора  $I_K$  от напряжения коллектор-эмиттер  $U_{КЭ}$ , полученные при плавном изменении напряжения на коллекторе транзистора от 0 до 10 В и фиксированных значениях напряжения  $E_B = 0,6 \text{ В}; 0,74 \text{ В}; 0,88 \text{ В}; 1,02 \text{ В}$  и  $1,16 \text{ В}$ .

Графики семейства выходных характеристик транзистора изображены на рисунке 4.5.

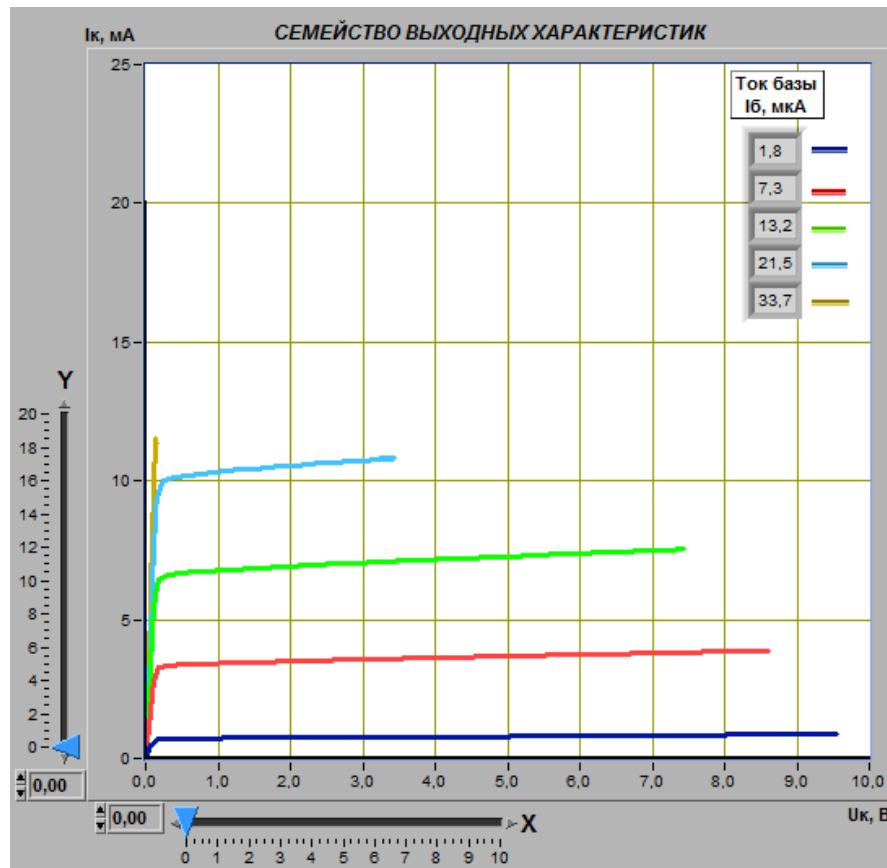


Рисунок 4.5 – Семейство выходных характеристик БТ в схеме с общим эмиттером

При фиксированном коллекторном напряжении, равным 5 В, был определён ток коллектора, соответствующий значениям тока базы, при которых снимались выходные характеристики:

$$\begin{aligned} I_{B1} &= 7,3 \text{ мкА}, I_{K1} = 3,71 \text{ мА}, \\ I_{B2} &= 21,5 \text{ мкА}, I_{K2} = 11,22 \text{ мА}. \end{aligned}$$

Исходя из полученных значений тока коллектора  $I_K$ , необходимо рассчитать коэффициент передачи тока:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{11,22 - 3,71}{(21,5 - 7,3) \cdot 10^{-3}} = 528,87.$$



Далее на графике выходных характеристик необходимо построить линию нагрузки по точкам  $E_K = 5 \text{ В}$  и  $I_K = \frac{E_K}{R_K} = \frac{5}{300} = 16,6 \text{ мА}$ . Результат изображён на рисунке 4.6.

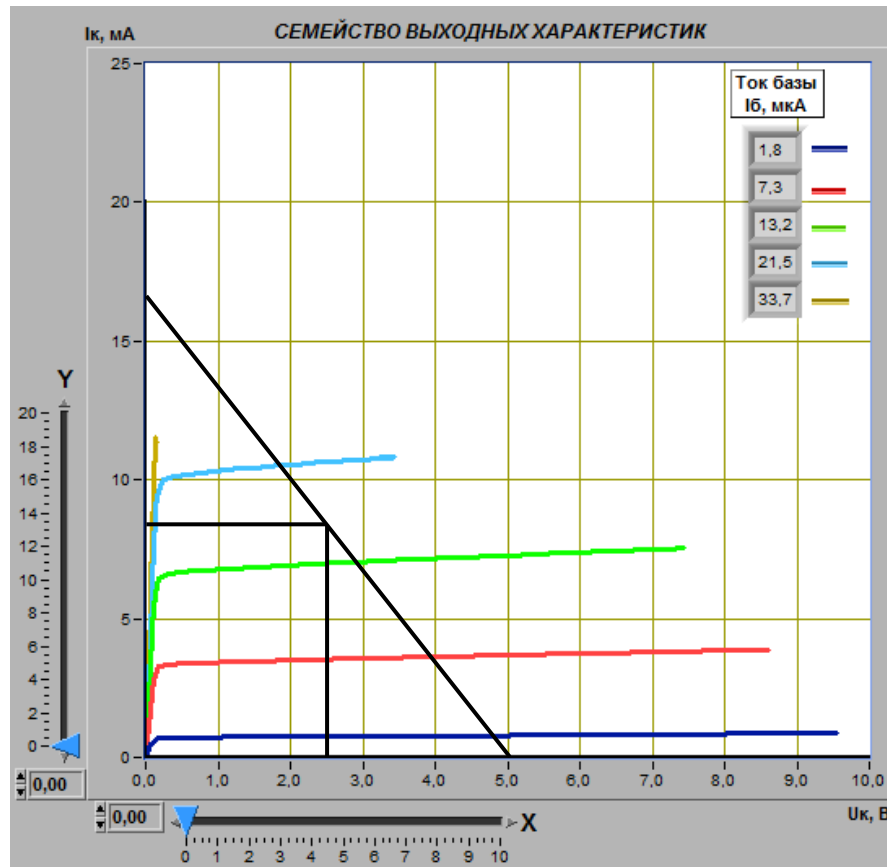


Рисунок 4.6 – Семейство выходных характеристик БТ в схеме с общим эмиттером с построенной линией нагрузки

Исходя из выходных характеристик и линии нагрузки необходимо оценить значение тока коллектора  $I_K^*$  и тока базы  $I_B^*$  в рабочей точке, для которой  $U_K = E_K/2$ :

$$I_K^* = 7,9 \text{ мА}, I_B^* = 14,51 \text{ мкА}.$$

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

Для установки рабочей точки транзисторного каскада с общим эмиттером была подключена схема на рисунке 4.7.

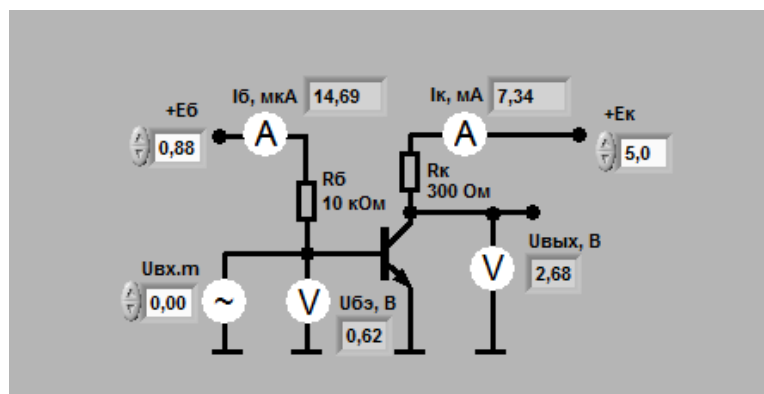


Рисунок 4.7 – Схема для установки рабочей точки транзисторного каскада с общим эмиттером

Была установлена с помощью органов управления ВП амплитуда напряжения источника входного гармонического напряжения равной 0 и величина напряжения источника ЭДС коллектора  $E_K = 5$  В.

Сравнив полученное изображение линии нагрузки (рисунок 4.8) с построенным в пункте 4.3 (рисунок 4.6), можно сделать вывод, что построение было выполнено верно.

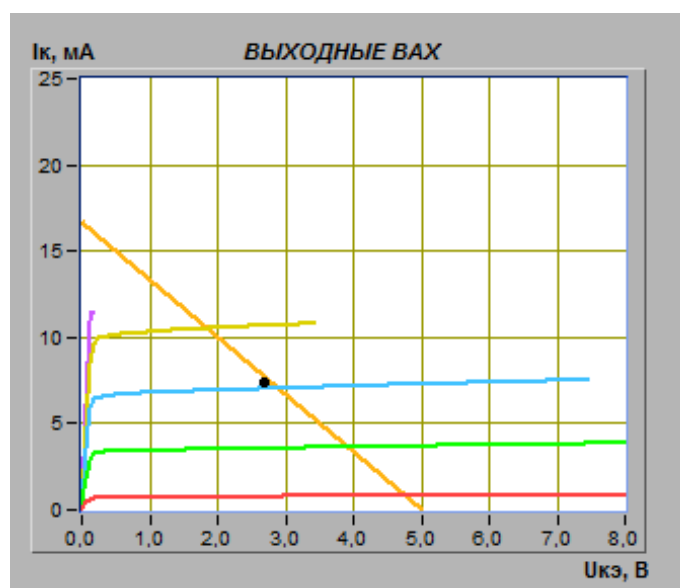


Рисунок 4.8 – Семейство выходных характеристик БТ с общим эмиттером с линией нагрузки

При регулировании ЭДС источника смещения базы, было установлено значение тока базы  $I_B^* = 14,51$  мкА, как в пункте 4.3. Были измерены и записаны в таблицу 4.2 параметры статического режима транзисторного усилителя с общим эмиттером.

Таблица 4.2 – Параметры транзисторного усилителя с общим эмиттером

$I_B$ , мкА	$U_{БЭ}$ , В	$I_K$ , мА	$U_K$ , В
14,51	0,62	7,34	2,68

При плавном увеличении амплитуды входного сигнала, был получен на графическом индикаторе ВП максимальный неискаженный выходной сигнал. Результаты изображены на рисунках 4.9 и 4.10.

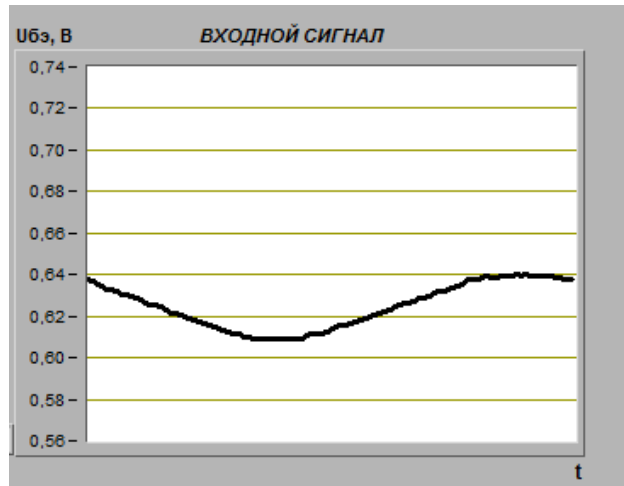


Рисунок 4.9 – Входной сигнал транзисторного каскада с общим эмиттером

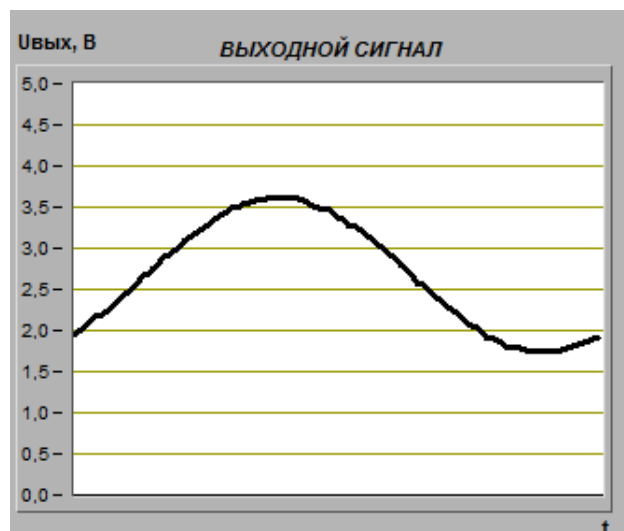


Рисунок 4.10 – Выходной сигнал транзисторного каскада с общим эмиттером

Исходя из осциллограмм, приведённых выше, необходимо определить значения амплитуды входного и выходного сигналов и рассчитать коэффициент усиления транзисторного каскада:

$$U_{BXm} = 0,03 \text{ В}, U_{ВЫХm} = 1,85 \text{ В};$$

$$K_y = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{1,85}{0,03} = 61,67;$$

$$K_y = \frac{r_K}{r_э} = \frac{300}{3} = 100.$$

Полученную разницу между коэффициентами можно объяснить погрешностью при измерениях.

Было исследовано влияние положения рабочей точки на работу транзисторного каскада с общим эмиттером. Для этого значение тока базы было увеличено на 30% от величины  $I_B^*$ , полученной в пункте 4.3, а затем было уменьшено на 30%. Изображение выходных сигналов на рисунке 4.11 и 4.12 соответственно.

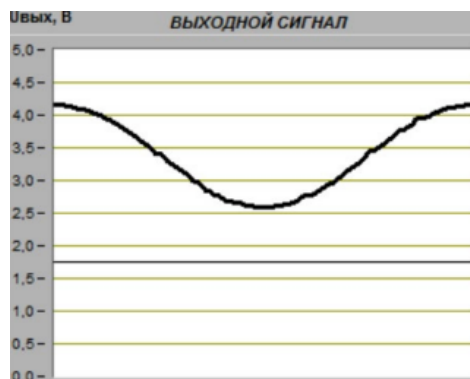


Рисунок 4.11 – Выходной сигнал после увеличения тока базы на 30%

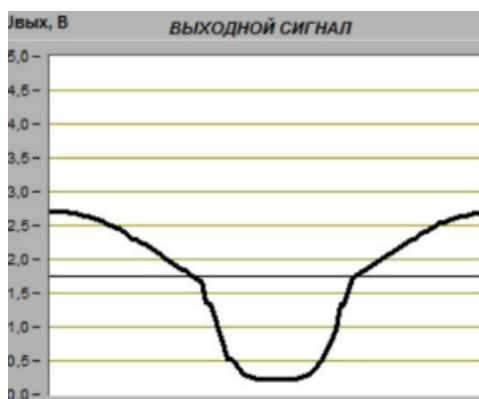


Рисунок 4.12 – Выходной сигнал после уменьшения тока базы на 30%

Зафиксированные искажения обусловлены принципом работы биполярного транзистора: при увеличении тока базы  $I_B$  увеличивается ток коллектора  $I_K$  и соответственно увеличивается напряжение  $U_B$ .

## 5 ВЫВОДЫ

В ходе данной лабораторной работы требовалось изучить характеристики биполярного транзистора.

С этой целью был определён коэффициент передачи транзистора по постоянному току, получены входная и семейство выходных характеристик транзисторов в схеме с общим эмиттером, а также установлена рабочая точка транзисторного каскада с общим эмиттером.