

БГУИР

Кафедра ЭВМ

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

Выполнили:
студенты группы 150502
Альхимович Н.Г.
Скалозуб К.А.

Проверил:
Калютчик А.А.

Минск
2023

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить характеристики биполярного транзистора.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Работа выполняется с использованием базового стенда и лабораторных модулей Lab4A.

Для достижения поставленной цели необходимо реализовать ряд задач.

1. Определить коэффициент передачи биполярного транзистора по постоянному току:
 - измерить значения тока коллектора I_K , тока базы I_B и напряжения коллектор-эмиттер $U_{KЭ}$;
 - вычислить значения статического коэффициента усиления транзистора β_{DC} ;
 - определить, как влияет напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ}$ на коэффициент усиления транзистора;
2. Получить входную характеристику биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером:
 - получить график зависимости входного тока I_B транзистора от входного напряжения $U_{БЭ}$;
 - получить значения тока базы I_B и напряжения база-эмиттер $U_{БЭ}$;
 - вычислить дифференциальное входное сопротивление транзистора;
3. Получить семейство выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером:
 - получить на графике зависимостей коллекторного тока I_K от напряжения коллектор-эмиттер $U_{KЭ}$ значения тока базы I_B ;
 - определить ток коллектора I_K , соответствующий значениям тока базы, при которых снимались выходные характеристики;
 - определить коэффициент передачи тока β_{AC} ;
 - оценить по выходным характеристикам и линии нагрузки значения тока коллектора I_K^* и тока базы I_B^* в рабочей точке;
4. Установить рабочую точку транзисторного каскада с общим эмиттером:
 - измерить параметры статического режима транзисторного усилителя с общим эмиттером;
 - сравнить фазы входного и выходного сигналов транзисторного каскада с общим эмиттером;
 - определить амплитуду входного и выходного сигналов;
 - вычислить коэффициент усиления транзисторного каскада;
 - сравнить измеренное и рассчитанное значения коэффициента усиления;

– определить влияние положения рабочей точки на работу 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. Их условные обозначения и устройство приведены на рисунке 3.1.

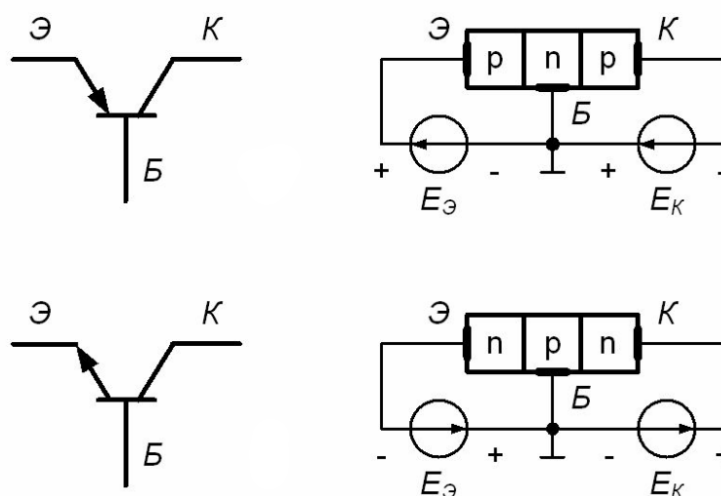


Рисунок 3.1 – Условные обозначения и устройство транзисторов р-п-р и п-р-п типов

Биполярные транзисторы, как правило, изготавливаются из кремния, германия или арсенида галлия.

По технологии изготовления биполярные транзисторы делятся на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные.

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 наносе-

кундного диапазона. Другую разновидность биполярных транзисторов представляют двухэмиттерные модуляторные транзисторы, в которых конструктивно объединены две транзисторные структуры. Широкое распространение в последние годы получили составные биполярные транзисторы (транзисторы Дарлингтона), обладающие очень высоким коэффициентом передачи тока.

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 – это 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_B . Протекание тока базы приводит к инжекции зарядов из области коллектора в область базы, причем ток коллектора определяется выражением:

$$I_K = \beta_{ДС} \cdot I_B, \quad (3.1)$$

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

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

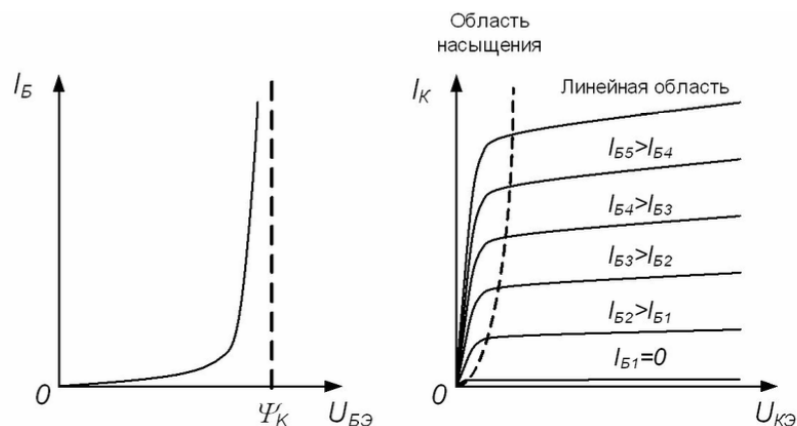


Рисунок 3.2 – Входная и выходные ВАХ биполярного транзистора

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

Статический коэффициент передачи тока β_{DC} определяется как отношение тока коллектора I_K к току базы I_B :

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B} \quad (3.2)$$

Коэффициент передачи тока β_{AC} определяется приращением ΔI_K коллекторного тока к вызывающему его приращению ΔI_B базового тока:

$$\beta_{DC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad (3.3)$$

Дифференциальное входное сопротивление r_i транзистора в схеме с общим эмиттером определяется при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер к вызванному им приращению тока базы:

$$r_i = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{U_{БЭ2} - U_{БЭ1}}{I_{Б2} - I_{Б1}} \quad (3.4)$$

Биполярные транзисторы чаще всего используются в усилительных каскадах. На рисунке 3.3 изображен 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 .

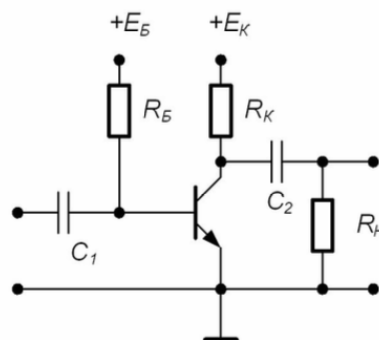


Рисунок 3.3 – Транзисторный каскад с общим эмиттером

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 имеет место в случае, когда ток коллектора не управляется током базы. Эта ситуация возникает при условии $\beta_{DC} I_B > I_{KH}$, где I_{KH} – ток насыщения коллектора. Значение этого тока определяется сопротивлением R_K в цепи коллектора и напряжением источника питания E_K :

$$I_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K} \quad (3.5)$$

Режим насыщения характеризуется низким падением напряжения коллектор-эмиттер (порядка 0,1В). Для перевода транзистора в этот режим необходимо, чтобы через базу транзистора протекал ток, больший, чем ток насыщения базы I_{BH} :

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}} \quad (3.6)$$

Для того, чтобы базовый ток стал равным току насыщения, сопротивление резистора R_B следует выбрать равным:

$$R_B = R_{BH} = \frac{E_B}{I_{BH}} \quad (3.7)$$

В режиме усиления ток коллектора меньше тока насыщения I_{KH} и для его вычисления можно воспользоваться уравнением линии нагрузки цепи коллектора:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KЭ}}{R_K} \quad (3.8)$$

Рабочая точка транзисторного каскада в статическом режиме задается током базы и напряжением на коллекторе.

Базовый ток транзистора в схеме как точка пересечения входной ВАХ транзистора и линии нагрузки цепи базы (см. рисунок 3.4). Ток коллектора определяется точкой пересечения линии нагрузки цепи коллектора и выходной характеристики транзистора (см. рисунок 3.5).

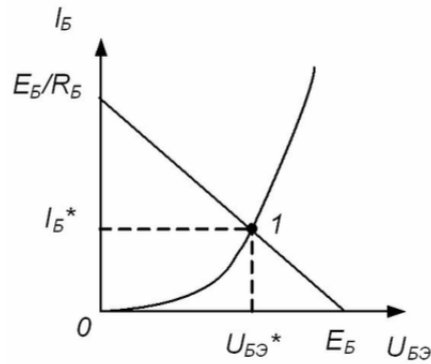


Рисунок 3.4 – Определение рабочей точки транзистора по входной вольтамперной характеристике транзистора

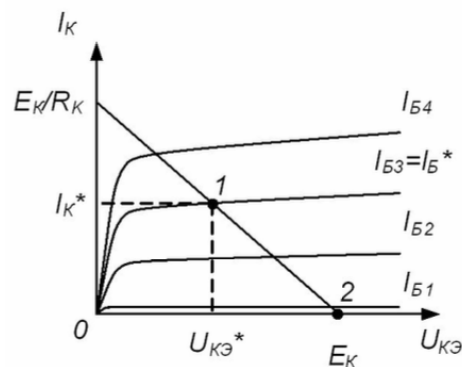


Рисунок 3.5 – Определение рабочей точки транзистора по выходной вольтамперной характеристике транзистора

Напряжение коллектор-эмиттер определяется из уравнения линии нагрузки цепи коллектора:

$$U_{КЭ} = E_K - I_K \cdot R_K \quad (3.9)$$

В режиме отсечки ток коллектора равен нулю и не создает на резисторе R_K падения напряжения. Следовательно, напряжение $U_{КЭ}$ максимально и равно напряжению источника питания E_K .

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.

Расчет режима малого сигнала состоит в нахождении постоянных и переменных составляющих токов и напряжений в транзисторном каскаде. Расчет постоянных составляющих позволяет найти параметры рабочей точки

транзисторного каскада (статический режим). Расчет переменных составляющих – усилительные свойства каскада в этой точке.

Коэффициент усиления по напряжению определяется отношением амплитуд выходного синусоидального напряжения к входному:

$$K_y = \frac{U_{\text{ВЫХ}m}}{U_{\text{ВХ}m}} \quad (3.10)$$

Важными параметрами транзисторного каскада являются также входное и выходное сопротивления.

Входное сопротивление усилителя по переменному току определяется как отношение амплитуд синусоидального входного напряжения $U_{\text{ВХ}m}$ и входного тока $I_{\text{ВХ}m}$:

$$r_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}m}}{I_{\text{ВХ}m}} \quad (3.11)$$

Значение дифференциального выходного сопротивления схемы находится по напряжению $U_{\text{ХХ}m}$ холостого хода на выходе усилителя и по напряжению $U_{\text{ВЫХ}m}$, измеренному для сопротивления нагрузки R_H , из следующего уравнения, решаемого относительно $r_{\text{ВЫХ}}$:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}m}}{U_{\text{ХХ}m}} = \frac{R_H}{R_H + r_{\text{ВЫХ}}} \quad (3.12)$$

Выбор рабочей точки транзисторного каскада определяет особенности работы транзисторного каскада. Максимальная величина неискаженного переменного напряжения на выходе может быть получена при условии, когда в статическом режиме постоянное напряжение на коллекторе равно половине напряжения коллекторного источника питания $U_K = E_K / 2$.

При неудачном выборе амплитуды входного сигнала и величины базового смещения возникают искажения: выходное напряжение принимает несинусоидальную форму. Для устранения искажений нужно скорректировать положение рабочей точки или уменьшить амплитуду входного сигнала.

4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

4.1 Определение коэффициента передачи биполярного транзистора по постоянному току

Для исследования характеристик биполярного транзистора используется схема, изображенная на рисунке 4.1.

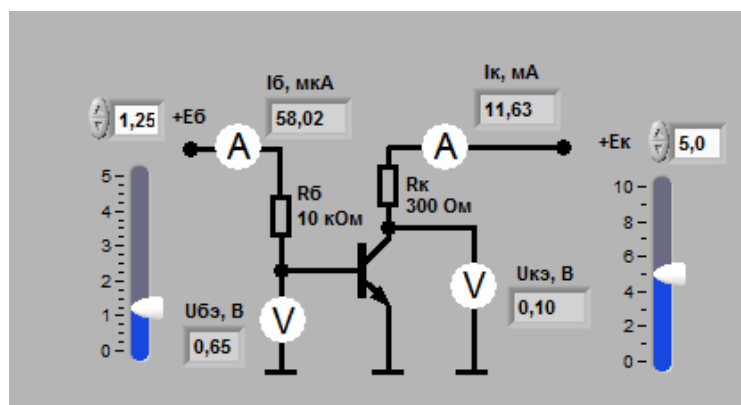


Рисунок 4.1 – Схема биполярного транзистора

Измерить соответствующие значения тока коллектора I_K , тока базы I_B и напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$. Полученные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Измеренные значения I_K , I_B , $U_{КЭ}$

$E_B, В$	$E_K, В$	$I_K, мА$	$I_B, мкА$	$U_{КЭ}, В$	β_{DC}
1,25	5	11,63	58,02	0,1	200,44
2,5	5	11,61	181,61	0,06	63,93
5	5	11,61	430,03	0,04	27
1,25	10	11,58	58,24	0,1	198,8
2,5	10	11,58	181,61	0,06	63,76
5	10	11,60	429,99	0,04	26,98

На основании полученных значений можно сделать вывод о том, что чем выше напряжение коллектор-эмиттер, тем выше коэффициент передачи биполярного транзистора по постоянному току.

4.2 Получение входной характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

График зависимости входного тока I_B транзистора от входного напряжения $U_{БЭ}$ представлен на рисунке 4.2.

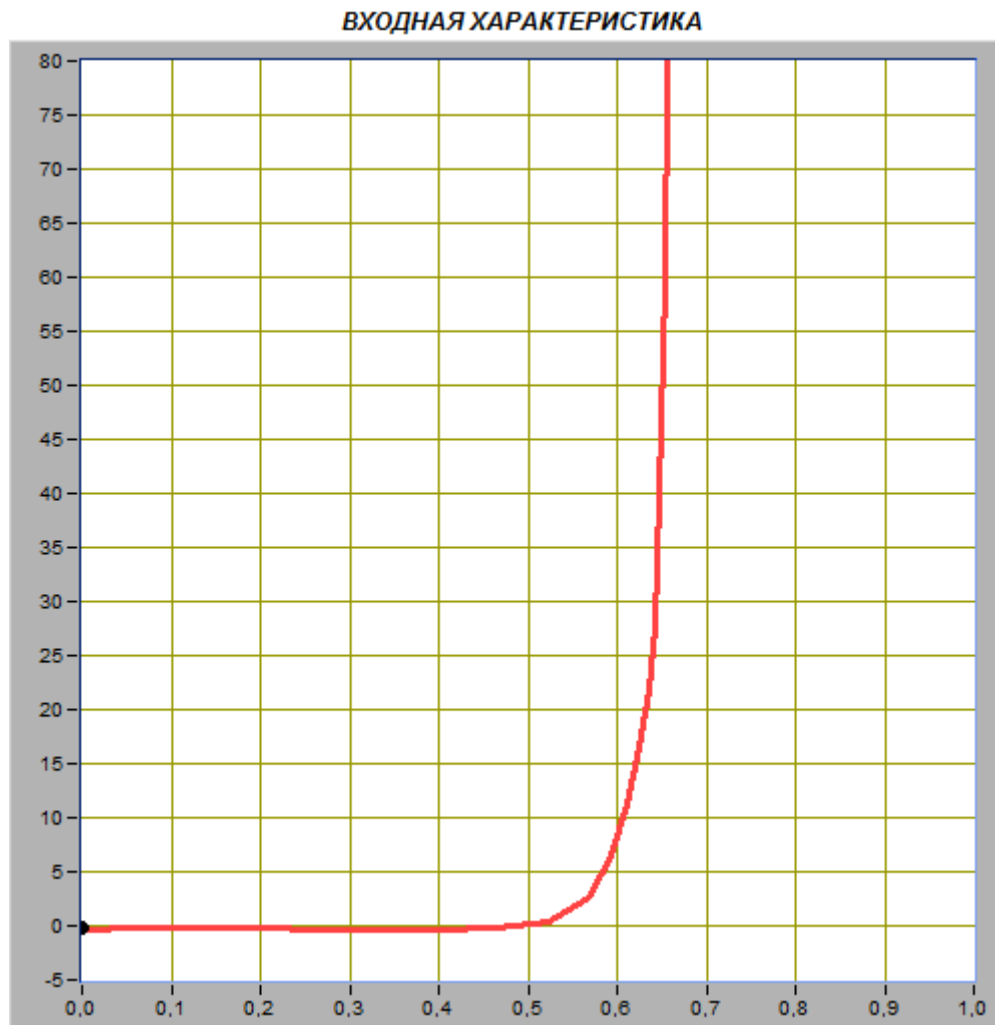


Рисунок 4.2 – График зависимости входного тока $I_{\text{б}}$ транзистора от входного напряжения $U_{\text{бэ}}$

Методом изменения напряжения источника ЭДС базы $E_{\text{б}}$ были получены значения $I_{\text{Б1}} = 10,35 \text{ мкА}$, $U_{\text{БЭ1}} = 0,61 \text{ В}$, $I_{\text{Б2}} = 39,94 \text{ мкА}$, $U_{\text{БЭ2}} = 0,64 \text{ В}$.

Дифференциальное входное сопротивление транзистора при изменении тока базы:

$$r_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} = \frac{U_{\text{БЭ2}} - U_{\text{БЭ1}}}{I_{\text{Б2}} - I_{\text{Б1}}} = \frac{0,64 - 0,61}{(39,94 - 10,35) \times 10^{-6}} = 1013,86 \text{ Ом}$$

4.3 Получение семейства выходных характеристик БТ в схеме с общим эмиттером

Были получены графики зависимостей коллекторного тока $I_{\text{К}}$ от напряжения коллектор-эмиттер $U_{\text{КЭ}}$. Графики представлены на рисунке 4.3.

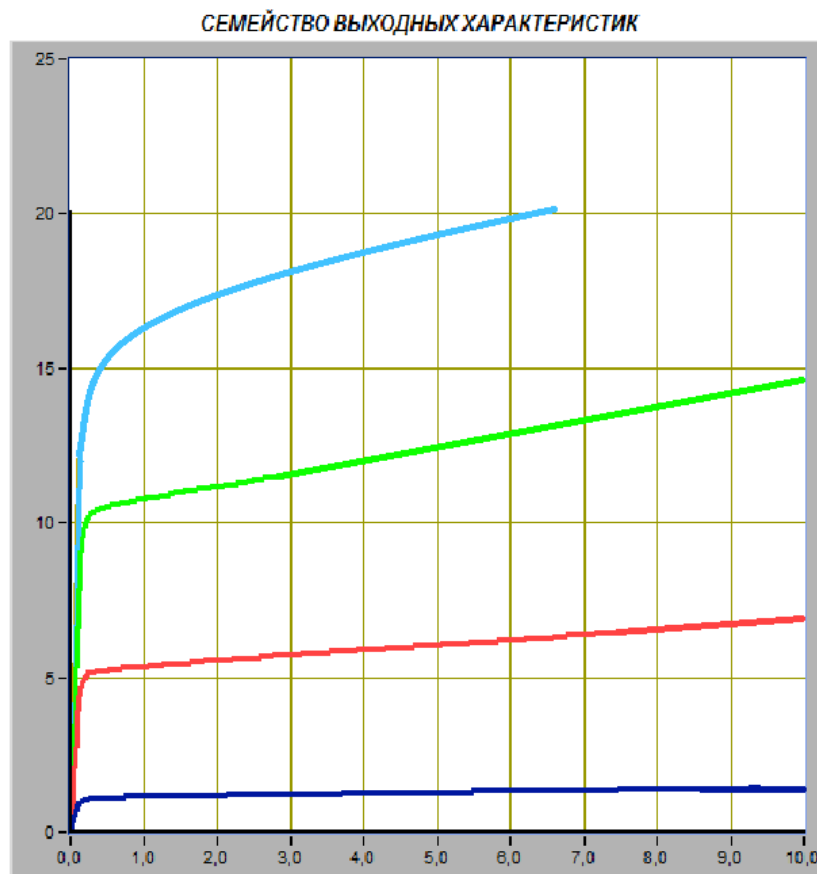


Рисунок 4.3 – Графики зависимостей коллекторного тока I_K от напряжения коллектор-эмиттер $U_{KЭ}$

При фиксированном коллекторном напряжении $U_{KЭ}=5$ В был определён ток коллектора I_K , соответствующий значениям тока базы, при которых снимались выходные характеристики:

$$\begin{aligned} I_{B1} &= 2,4 \text{ мкА}, I_{K1} = 1,1 \text{ мА}, \\ I_{B2} &= 11,5 \text{ мкА}, I_{K2} = 6,2 \text{ мА}, \\ I_{B3} &= 23,3 \text{ мкА}, I_{K3} = 12,4 \text{ мА}, \\ I_{B4} &= 36,4 \text{ мкА}, I_{K4} = 19,3 \text{ мА}. \end{aligned}$$

Коэффициент передачи тока (при изменении тока базы в диапазоне от 10 мкА до 40 мкА) был получен, используя формулу:

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B = \frac{(19,3 - 6,2) \times 10^{-3}}{(36,4 - 11,5) \times 10^{-6}} = 526,1$$

Построим линию нагрузки. Примем абсциссу $E_K = 5$ В и определим ординату $I_K = \frac{E_K}{R_K} = \frac{5}{300} = 0,017$ А (рисунок 4.4).

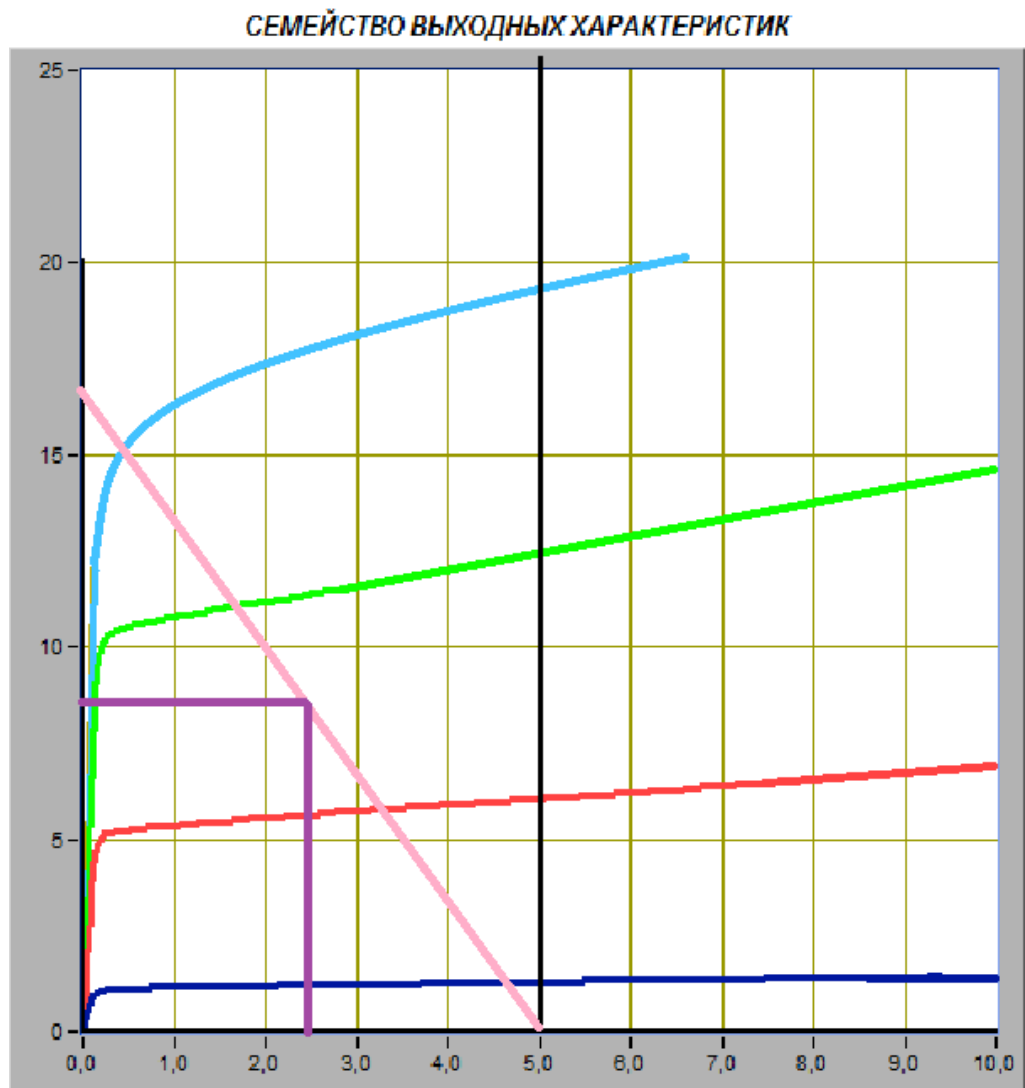


Рисунок 4.4 – Нагрузочная прямая

Оценим значения тока коллектора и тока базы в рабочей точке, для которой $U_K = \frac{E_K}{2} = 2,5 \text{ В}$.

$$I_K^* = 8,1 \text{ мА}$$

$$I_B^* = I_{B \text{ 2 граф}} + (I_K^* - I_{K \text{ 2 граф}}) / \beta_{AC} = 11,5 \cdot 10^{-6} + \frac{(8,1 - 6,4) \cdot 10^{-3}}{526,1} = 11,50 \text{ мкА}$$

4.4 Установка рабочей точки транзисторного каскада с общим эмиттером

Установив с помощью органов управления ВП амплитуду напряжения источника входного гармонического напряжения $u_{вх.м} = 0$, и величину напряжения источника ЭДС коллектора $E_K = 5 \text{ В}$, получим графики выходных характеристик транзистора с изображением линии нагрузки (рисунок 4.4).

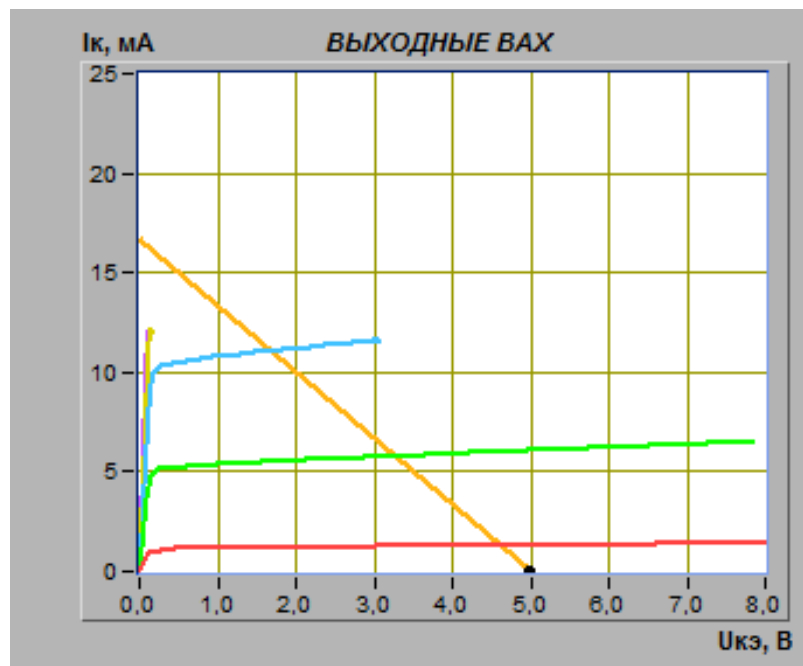


Рисунок 4.4 – Графики выходных характеристик транзистора с изображением нагрузочной прямой

Данные графики совпадают с графиками, изображенными на рисунке 4.3, что свидетельствует о том, что построения были выполнены верно.

Путём изменений ЭДС источника смещения базы E_B было установлено значение тока базы $I_B^* = 11,5$ мкА, как в пункте 4.3. Измеренные параметры статического режима транзисторного усилителя с общим эмиттером были занесены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Измеренные значения I_k , I_b , $U_{бэ}$, U_k

I_k , мА	I_b , мкА	U_k , В	$U_{бэ}$, В
8,41	11,5	2,5	0,62

Увеличивая амплитуду входного сигнала $u_{BX.m}$, получаем максимально неискаженного изображения выходного сигнала (рисунок 4.5).

Можно сделать вывод, что разность фаз между входным и выходным сигналами транзисторного каскада равна π .

На основе осциллограмм входного и выходного сигналов были определены максимальные и минимальные мгновенные значения напряжений:

$$U_{BX.max} = 0,63 \text{ В, } u_{BX.min} = 0,6 \text{ В,}$$

$$U_{BYX.max} = 3,5 \text{ В, } u_{BYX.min} = 1 \text{ В.}$$

Амплитуды входного (см. рисунок 4.6) и выходного сигналов:

$$U_{BX.m} = \frac{0,63-0,6}{2} = 0,015 \text{ В}$$

$$U_{BЫX.m} = \frac{3,5-1}{2} = 1,25 \text{ В}$$

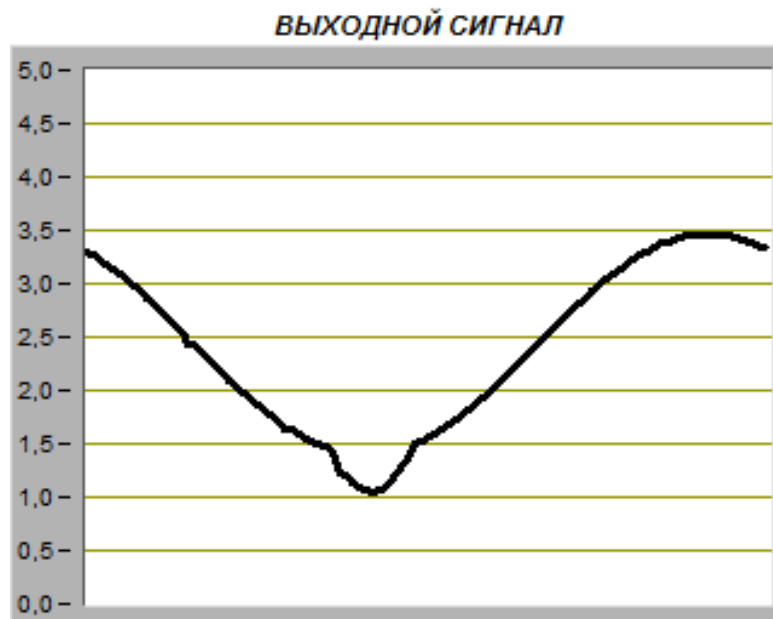


Рисунок 4.5 – Выходной сигнал

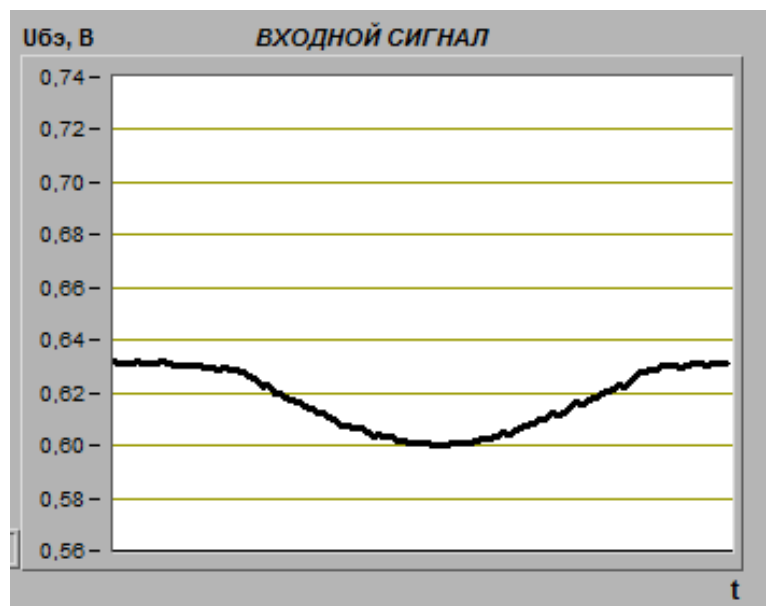


Рисунок 4.6 – Входной сигнал

Коэффициент усиления транзисторного каскада:

$$K_y = \frac{U_{BЫX.m}}{U_{BX.m}} = \frac{1,25}{0,015} = 83$$

Рассчитанное значение коэффициента усиления транзисторного каскада:
 $K_y = \frac{r_k}{r_{\text{э}}} = 67,5.$

Было выполнено исследование влияния положения рабочей точки на работу транзисторного каскада с общим эмиттером, регулируя напряжение ЭДС источника смещения базы E_B , изменено значение тока базы примерно на 30% от величины I_B^* сначала в сторону увеличения, а затем в сторону уменьшения. Полученные результаты отражены на рисунках 4.7 и 4.8.



Рисунок 4.7 – Смещение рабочей точки при изменении напряжение ЭДС источника смещения базы E_B в сторону увеличения

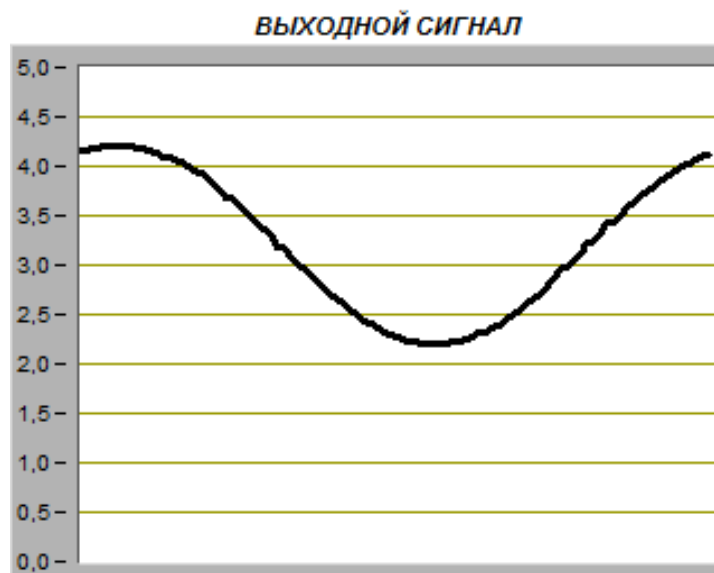


Рисунок 4.8 – Смещение рабочей точки при изменении напряжение ЭДС источника смещения базы E_B в сторону уменьшения

Для получения максимального выходного напряжения следует выбрать рабочую точку в середине рабочего участка нагрузочной линии. При смещении этой точки влево или вправо, выходной сигнал будет уменьшаться.

5 ВЫВОДЫ

В процессе выполнения лабораторной работы были получены входная характеристика и семейство выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером. На их основе были рассчитаны параметры биполярного транзистора. Также был изучен принцип установки рабочей точки транзисторного каскада в схеме с общим эмиттером.