

дикаторов в отчет.

4.1.4. Определите диапазон изменения угла включения тиристора (α_{\min} , α_{\max}), в котором средняя величина напряжения на нагрузке изменяется, соответственно, от максимального до минимального значения. Для этого с помощью ползункового регулятора схемы управления плавно изменяйте угол включения от 0 до 180° и контролируйте форму напряжения на нагрузке по графическому индикатору, а среднюю величину напряжения по цифровому индикатору $U_{\text{ВЫХ.СР}}$. Полученные граничные значения угла включения и соответствующие им величины среднего напряжения на нагрузке ($U_{\text{ВЫХ.СР.ВКЛ}}$ и $U_{\text{ВЫХ.СР.ВЫКЛ}}$) запишите в отчет.

4.1.5. Определите максимальное мгновенное напряжение на нагрузке $U_{\text{Н.МАХ}}$ при $\alpha = 90^\circ$. Полученное значение запишите в отчет.

4.1.6. Получите регулировочную характеристику управляемого выпрямителя. Для этого, изменяя угол включения тиристора в диапазоне от α_{\min} до α_{\max} , получите не менее 10 отсчетов среднего значения выходного напряжения по цифровому индикатору $U_{\text{ВЫХ.СР}}$. Полученные значения запишите в отчет. Постройте график зависимости среднего значения выходного напряжения схемы от угла включения тиристора.

Задание 2. Исследование работы тиристорного регулятора мощности

4.2.1. Установите переключатель «К» модуля М4 в положение «2». При этом встречно-параллельно тиристорному диоду будет включен выпрямительный диод.

4.2.2. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП выберите режим измерения. Установите частоту входного сигнала **200 Гц**. Амплитуду входного сигнала следует установить такой величины, чтобы сигналы на осциллограммах не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений.

4.2.3. С помощью ползункового регулятора схемы управления установите задержку импульсов управления относительно начала положительного полупериода входного сигнала, соответствующую углу включения тиристора, равному примерно 90° . На верхнем графическом индикаторе можно наблюдать изображение входного сигнала $u_{\text{ВХ}}(t)$ (синий цвет) и импульсов управления $u_{\text{УПР}}(t)$ (красный цвет), на нижнем — выходного напряжения на нагрузке $u_{\text{Н}}(t)$ (синий цвет) и действующее значение этого напряжения $U_{\text{ВЫХ.Д}}$ (зеленый цвет). Скопируйте изображения обоих графических индикаторов в отчет.

4.2.4. Определите диапазон изменения угла включения тиристора (α_{\min} , α_{\max}), в котором действующее значение напряжения на нагрузке изменяется, соответственно, от максимального значения до минимального значения. Для этого с помощью ползункового регулятора схемы управления плавно изменяйте угол включения от 0 до 180° . Контролируйте форму

напряжения на нагрузке по графическому индикатору, а действующее значение напряжения на нагрузке по цифровому индикатору $U_{\text{ВЫХ.Д.}}$. Полученные граничные значения угла включения и соответствующие им величины действующего напряжения на нагрузке ($U_{\text{ВЫХ.Д.ВКЛ}}$ и $U_{\text{ВЫХ.Д.ВЫКЛ}}$) запишите в отчет.

4.2.5. Определите максимальное действующее напряжение на нагрузке $U_{\text{ВЫХ.Д.МАХ}}$ при $\alpha = 90^\circ$. Полученное значение запишите в отчет.

4.2.6. Получите регулировочную характеристику регулятора мощности. Для этого, изменяя угол включения тиристора в диапазоне от $\alpha_{\text{МИН}}$ до $\alpha_{\text{МАХ}}$, получите не менее 10 отсчетов действующего значения выходного напряжения по цифровому индикатору $U_{\text{ВЫХ.Д.}}$. Полученные значения запишите в отчет. Постройте график зависимости среднего значения выходного напряжения схемы от угла включения тиристора.

4.2.7. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Объясните устройство и принцип работы управляемого выпрямителя на тиристоре.
- Что называется углом включения тиристора?
- В каких пределах можно регулировать среднее напряжение в однополупериодном управляемом выпрямителе?
- Для каких целей служит тиристорный регулятор мощности?
- В чем отличие управляемого выпрямителя и регулятора мощности?
- Нарисуйте временные диаграммы, поясняющие работу двухполупериодного регулятора мощности на симисторе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является получение входной характеристики и семейства выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Полупроводниковый прибор, имеющий три электрода и два взаимодействующих p - n -перехода, называется биполярным транзистором. В зависимости от последовательности чередования областей с различным типом проводимости различают p - n - p транзисторы и n - p - n транзисторы. Их условные обозначения и устройство показаны на рис.7.1.

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

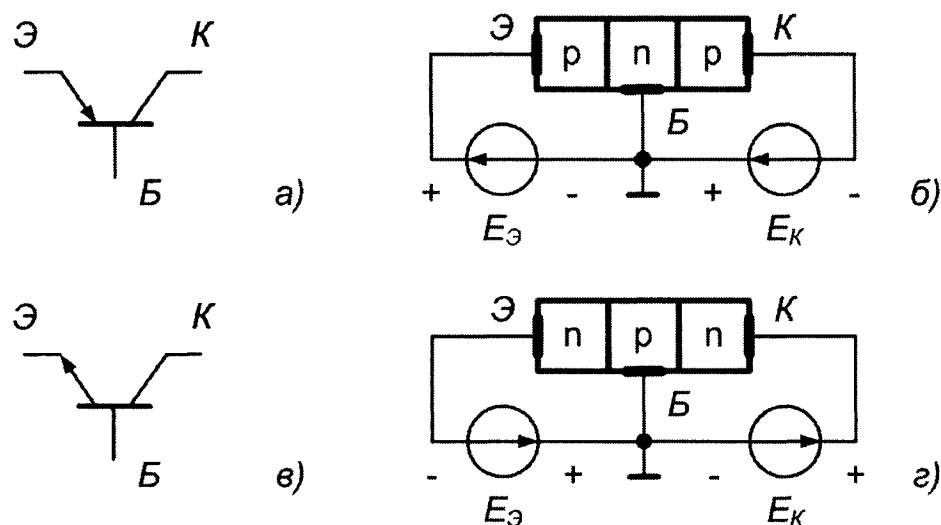


Рис. 7.1. Условные обозначения и устройство транзисторов p-n-p (а, б) и n-p-n (в, г) типов (показано смещение переходов транзисторов при работе в линейном режиме)

В основном биполярные транзисторы применяются для построения схем усилителей, генераторов и преобразователей электрических сигналов в широком диапазоне частот (от постоянного тока до десятков 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.

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 пе-

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:

$$I_K = \beta_{ДС} \cdot I_B, \quad (7.1)$$

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

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

$$I_K = I_{КБО} (e^{U_{БЭ}/\varphi_T} - 1), \quad (7.2)$$

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

Из выражения (7.2) следует, что при прямом смещении эмиттерного перехода и при условии $\varphi_T < U_{БЭ} < \psi_K$ (где ψ_K – контактная разность потенциалов) ток коллектора возрастает с ростом напряжения $U_{БЭ}$ по экспоненциальному закону:

$$I_K \approx I_{КБО} \cdot e^{U_{БЭ}/\varphi_T}, \quad (7.3)$$

Важнейшими характеристиками транзистора являются его входные и выходные вольтамперные характеристики. Статические ВАХ биполярного транзистора приведены на рис.7.2. Кроме ВАХ для расчета и анализа транзисторных схем используют числовые характеристики: статический коэффициент передачи тока, коэффициент передачи тока, дифференциальное входное сопротивление. Значения этих характеристик зависят от схемы включения транзистора.

На рис.7.3 приведена схема включения биполярного транзистора $n-p-n$ - типа с общим эмиттером. Для такой схемы справедливо следующее соотношение между токами:

$$I_Э = I_B + I_K, \quad (7.4)$$

где $I_Э$, I_B , I_K – сила тока в цепях эмиттера, базы и коллектора, соответственно.

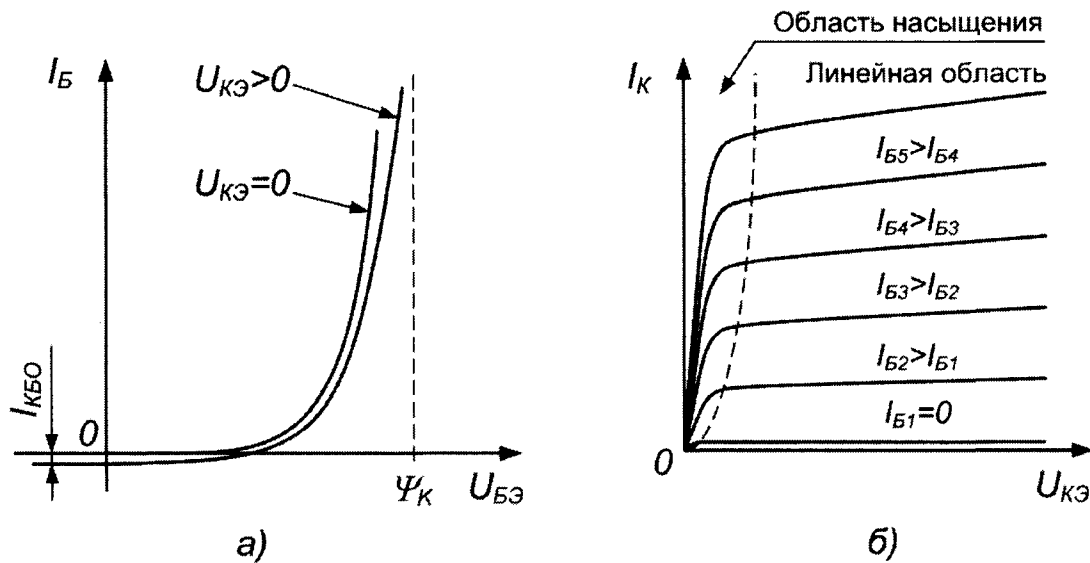


Рис. 7.2. Входные (а) и выходные (б) ВАХ биполярного транзистора

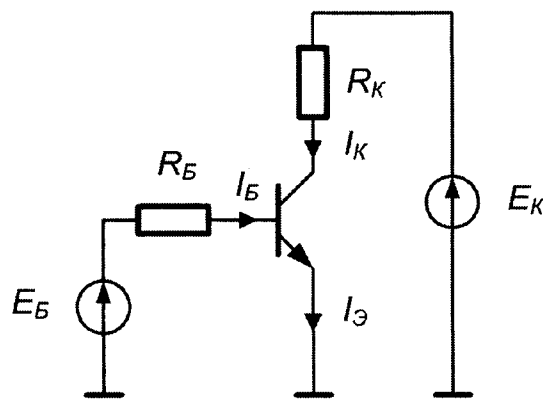


Рис. 7.3. Схема включение биполярного транзистора
n-p-n - типа с общим эмиттером

Рассмотрим основные характеристики биполярного транзистора.

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

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B}. \quad (7.5)$$

Коэффициент передачи тока β_{AC} определяется отношением приращения коллекторного тока ΔI_K к вызывающему его приращению тока базы ΔI_B :

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}. \quad (7.6)$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} транзистора в схеме с общим эмиттером определяется при фиксированном значении напря-

жения коллектор-эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер $\Delta U_{БЭ}$ к вызванному им приращению тока базы ΔI_B :

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{U_{БЭ2} - U_{БЭ1}}{I_{Б2} - I_{Б1}}. \quad (7.7)$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} можно определить через параметры транзистора по формуле:

$$r_{BX} = r_B + \beta_{AC} \cdot r_{Э}, \quad (7.8)$$

где r_B – распределенное сопротивление базовой области полупроводника, $r_{Э}$ – дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер, определяемое из выражения: $r_{Э} = 25\text{ мВ} / I_{Э}$, а $I_{Э}$ – постоянный ток эмиттера (в миллиамперах).

Первое слагаемое в выражении (7.8) много меньше второго, поэтому его можно упростить:

$$r_{BX} \approx \beta_{AC} \cdot r_{Э}. \quad (7.9)$$

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль М5.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе MS Word.

Установите ключ в разъем модуля М5 лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.7.4.

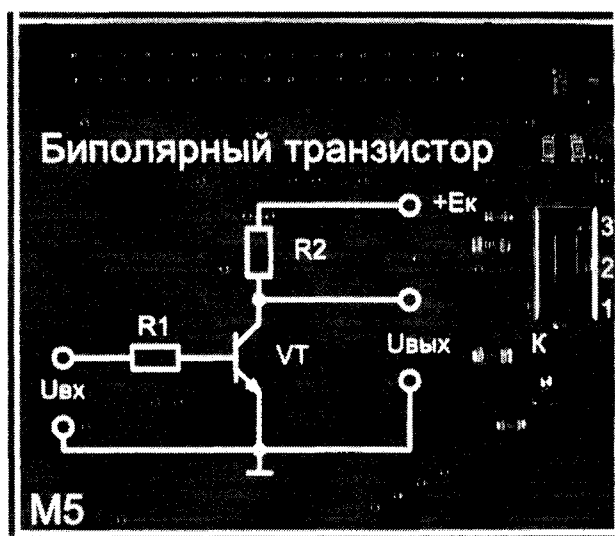


Рис. 7.4. Внешний вид модуля М5

Загрузите и запустите программу **Lab7(M5).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «**Входная вольтамперная характеристика**» (рис. 7.5), используемая при выполнении задания 1.

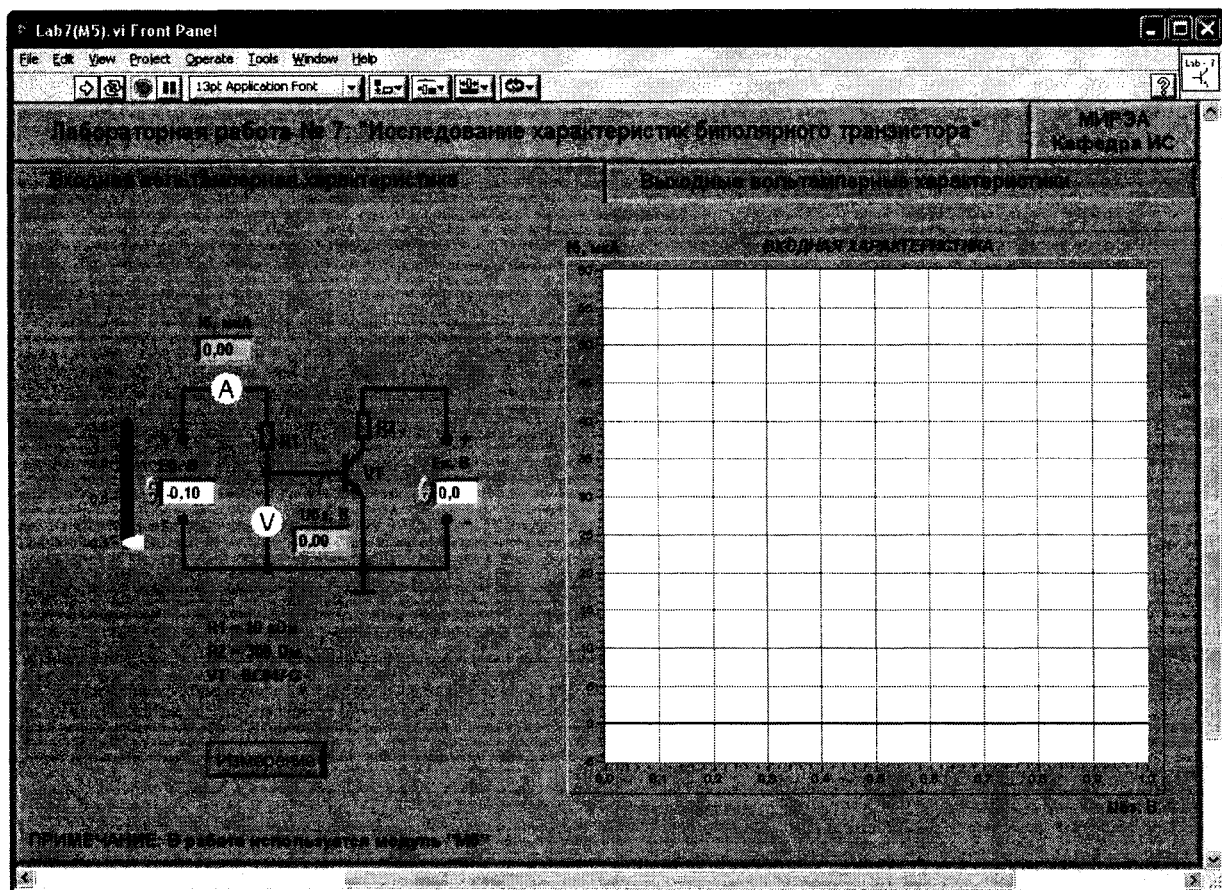


Рис. 7.5. Лицевая панель ВП при выполнении задания 1

Задание 1. Получение входной характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля **M5** в положение «1». При этом в цепь коллектора транзистора будет включен резистор сопротивлением 300 Ом.

4.1.2. С помощью элемента управления E_K на лицевой панели ВП установите значение напряжения питания в цепи коллектора равным 10 В. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость входного тока I_B транзистора от входного напряжения $U_{БЭ}$. Скопируйте изображение входной ВАХ в отчет.

4.1.3. Изменяя напряжение источника питания в цепи базы с помощью ползункового регулятора E_B , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока базы сначала примерно равным 10 мкА, а затем примерно равным 40 мкА. Запишите в отчет значения тока базы I_B и напряжения база-эмиттер $U_{БЭ}$ для этих точек входной характеристики.

4.1.4. Используя полученные в п. 4.1.3 значения тока базы и напряжения база-эмиттер, вычислите дифференциальное входное сопротивление транзистора по формуле $r_{BX} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_B$. Полученное значение запишите в отчет.

Задание 2. Получение семейства выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

4.2.1. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку «Выходные вольтамперные характеристики». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис. 7.6.

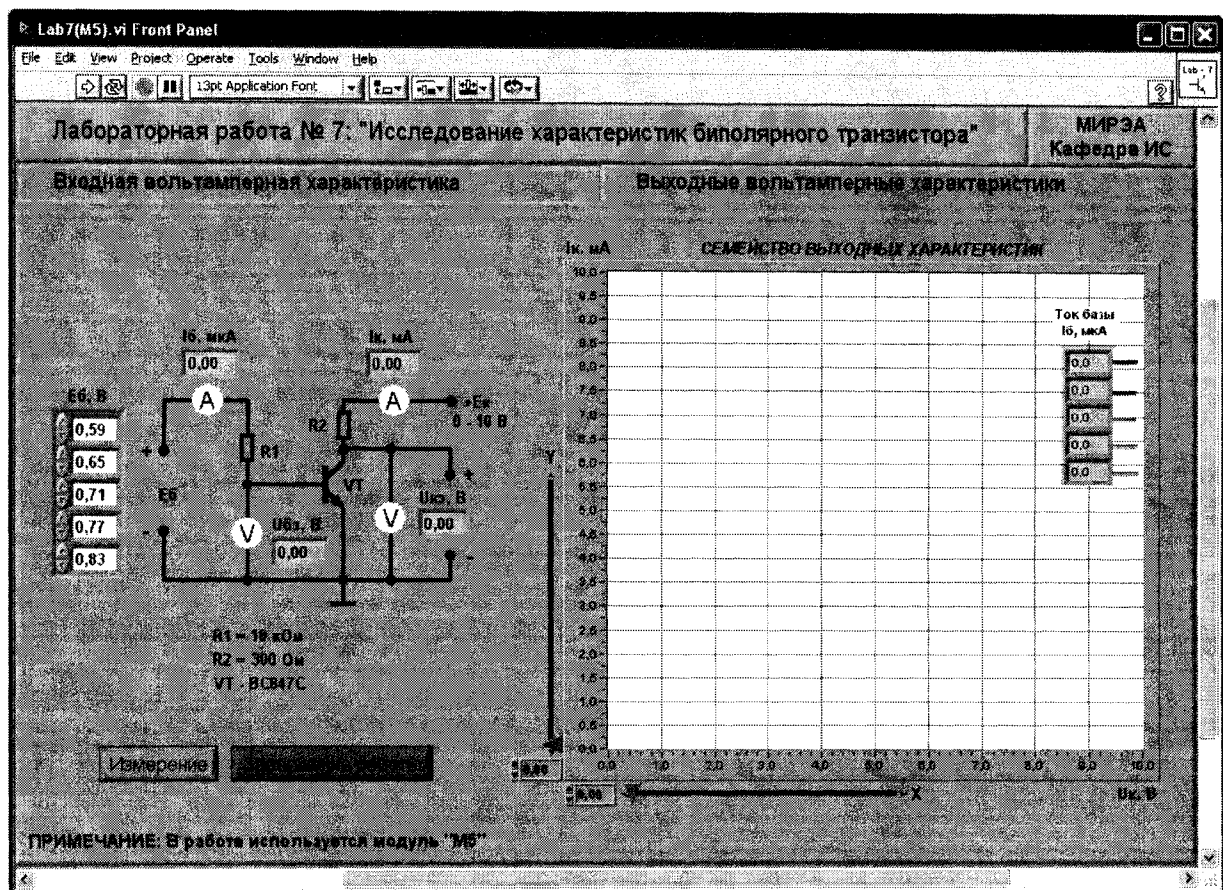


Рис. 7.6. Лицевая панель ВП при выполнении задания 2

4.2.2. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». ВП произведет измерение зависимостей коллекторного тока I_K от напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$. Измерения выполняются при фиксированных значениях напряжения источника питания в цепи базы E_B , которые представлены на лицевой панели ВП слева от схемы измерений в виде таблицы. В процессе измерений напряжение источника питания в цепи коллектора E_K плавно изменяется от 0 до 10 В. На экране графического индикатора отображаются графики полученных зависимостей, а также соответствующие им значения тока базы I_B в виде таблицы.

4.2.3. При необходимости с помощью кнопок изменения значений

цифровых элементов управления можно задать другие величины напряжения E_B . После нажатия на кнопку «Измерение» выходные характеристики будут построены заново. Скопируйте изображение полученных ВАХ в отчет. Около каждого графика укажите соответствующее значение тока базы I_B .

4.2.4. Для каждой полученной выходной характеристики определите значение тока коллектора I_K , соответствующее напряжению $U_{KЭ} = 5$ В. Для этого с помощью ползункового регулятора «Х» установите вертикальную линию курсора напротив деления «5 В» горизонтальной оси графика. Затем, поочередно совмещая горизонтальную линию курсора с точками пересечения вертикальной линии курсора с выходными характеристиками, определите соответствующие значения коллекторного тока по цифровому индикатору ползункового регулятора «У». Полученные результаты запишите в отчет.

4.2.5. Используя значения тока коллектора, полученные в п.4.2.4, и значения тока базы, отображаемые на поле графика выходных ВАХ, определите коэффициент передачи тока по формуле $\beta_{AC} = \Delta I_K / \Delta I_B$. Полученное значение запишите в отчет.

4.2.6. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Изобразите возможные схемы включения биполярного транзистора.
- Укажите факторы, определяющие силу тока, протекающего через коллектор биполярного транзистора.
- Зависит ли коэффициент β_{DC} от тока коллектора? Если да, то в какой степени? Обоснуйте ответ.
- Что можно сказать по выходным характеристикам о зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения коллектор-эмиттер?
- Зависит ли дифференциальное входное сопротивление биполярного транзистора от тока эмиттера?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРНОГО КАСКАДА С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером в различных режимах.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Биполярные транзисторы чаще всего используются в усилительных каскадах. На рис. 8.1 изображен 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

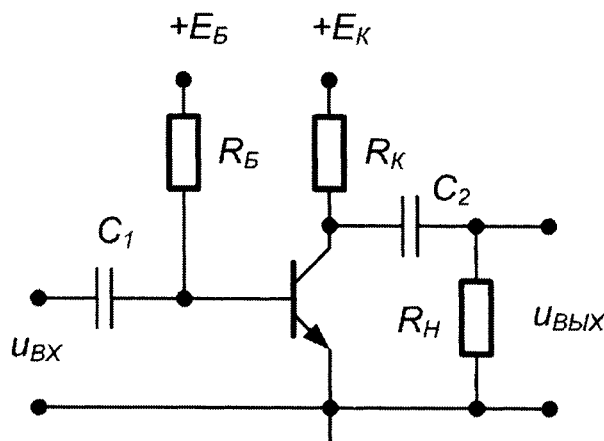


Рис. 8.1. Транзисторный каскад с общим эмиттером

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 $\beta_{DC} \cdot I_B > I_{KH}$, где I_{KH} — ток насыщения коллектора. Значение этого тока определяется сопротивлением R_K в цепи коллектора и напряжением источника питания E_K :

$$I_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K}. \quad (8.1)$$

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

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}}. \quad (8.2)$$

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

$$R_B = R_{BH} = \frac{E_B}{I_{BH}}. \quad (8.3)$$

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

$$I_K = \frac{E_K - U_{KЭ}}{R_K}. \quad (8.4)$$

Рабочая точка транзисторного каскада

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

Базовый ток транзистора в схеме (рис.8.1) определяется как ток через сопротивление в цепи базы R_B :

$$I_B = \frac{E_B - U_{БЭ}}{R_B}. \quad (8.5)$$

Он может быть также определен как точка пересечения входной ВАХ транзистора и линии нагрузки цепи базы (точка 1 на рис. 8.2, а)

Ток коллектора определяется точкой пересечения линии нагрузки цепи коллектора и выходной характеристики транзистора (точка 1 на рис. 8.2, б.)

Значение тока коллектора можно вычислить по формуле:

$$I_K = \beta_{DC} \cdot I_B. \quad (8.6)$$

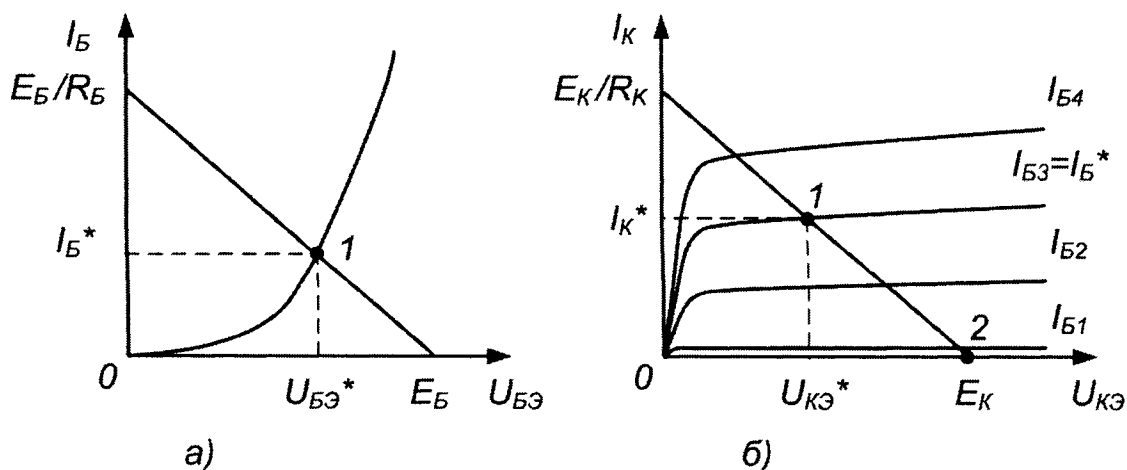


Рис. 8.2. Определение рабочей точки транзистора по входной (а) и выходной (б) ВАХ транзистора

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

$$U_{КЭ} = E_K - I_K \cdot R_K. \quad (8.7)$$

В режиме отсечки ток коллектора равен нулю и не создает на резисторе R_K падения напряжения. Следовательно, напряжение $U_{КЭ}$ макси-