

**Специализированный учебно-научный центр -
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Школа имени А.Н. Колмогорова
Кафедра физики**

Общий физический практикум

Лабораторная работа №3.7

**Изучение
работы биполярного транзистора**

Составитель Т.П. Корнеева
Постановка эксперимента – А.И. Бакшеев

2011 г.

Изучение работы биполярного транзистора.

Цель работы:

1. Изучение физических принципов работы транзистора.
2. Знакомство с техническими схемами применения транзистора для усиления сигнала.
3. Изучение работы транзистора в схеме с общим эмиттером в режиме усиления по постоянному и переменному току.
4. Наблюдение выходной характеристики транзистора на экране осциллографа.

Приборы и оборудование:

- 1) панель с собранным на ней усилительным каскадом на $n-p-n$ транзисторе в схеме с общим эмиттером;
- 2) источник регулируемого постоянного напряжения;
- 3) источник переменного напряжения;
- 4) осциллограф.

1. Введение

Полупроводниковый триод был изобретен в 1948г. американскими физиками Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли. За это изобретение в 1956 г. они были удостоены Нобелевской премии. Сначала изобретенное ими устройство именовалось просто *транзистором*, но в 1952г. один из соавторов – Уильям Шокли разработал еще один тип полупроводникового триода, по принципу работы сильно отличающийся от первого и названный *полевым транзистором*. За изобретением же Бардина, Браттейна и Шокли утвердилось название *биполярный транзистор*.

Несмотря на совершенно разные физические принципы работы, назначение обоих этих устройств одно и то же – усиление электрических сигналов.

Цель данной работы - знакомство с принципом действия, устройством и работой биполярного транзистора.

Устройство и схема биполярного транзистора.

Биполярные транзисторы бывают двух типов: $p-n-p$ и $n-p-n$ транзисторы. В $p-n-p$ транзисторе узкая область полупроводника n -типа размещается между двумя областями p -типа. Средняя часть транзистора носит название *база*, крайние – *эмиттер* и *коллектор*.

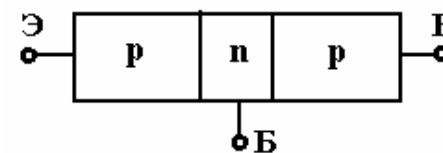


Рис.1.

Структура биполярного $p-n-p$ транзистора.

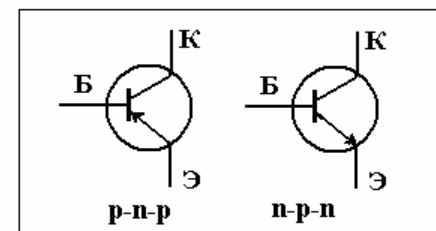


Рис.2.

Условные обозначения биполярных транзисторов в схемах.

Применение транзисторов в современном мире столь широко, что даже одно перечисление областей их применения займет много места, достаточно упомянуть хотя бы радиоэлектронику и вычислительную технику.

Промышленностью выпускаются сотни типов транзисторов - от приборов, способных усиливать и

преобразовывать сигналы в сотни вольт и десятки ампер, до транзисторов-малюток, преобразующих сигналы, энергия которых измеряется в фемтоджоулях ($1 \text{ фДж} = 10^{-15} \text{ Дж}$). Рабочая площадь силовых транзисторов измеряется квадратными сантиметрами, в то время как на кремниевой пластине размером $2 \times 3 \text{ мм}$ размещается до 300 тысяч транзисторов-малюток.

2. Физические принципы работы транзистора.

Прохождение тока через $p-n$ переход при прямом включении

Поскольку транзистор содержит два $p-n$ перехода, вспомним сначала, как происходит прохождение тока через $p-n$ переход при включении его в прямом направлении (или, как часто говорят, «при прямом смещении»).

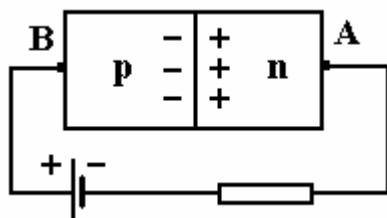


Рис.3.

$p-n$ переход, включенный в прямом направлении.

Как мы знаем, в p -области основными носителями заряда являются дырки, в n -области – электроны, в подводящих проводах протекание тока обеспечивается только электронами.

Пусть в точке А на рис.3 в n -область полупроводника входит за единицу времени N электронов ($I = eN$). Под действием электрического поля источника они движутся к области $p-n$ перехода.

В p -области протекание тока обеспечивается движением такого же количества дырок от точки В к области $p-n$ перехода. Но в точке В из p -области должно выйти за единицу времени N

электронов, чтобы обеспечить протекание в цепи постоянного тока. Вспомним еще, что через барьер в области $p-n$ перехода протекает как электронный, так и дырочный компонент тока. Возникает резонный вопрос: куда исчезли электроны, вошедшие в полупроводник в точке А, и откуда они взялись в точке В?

Отвечив на этот вопрос, мы существенно продвинемся в понимании того, как работает транзистор.

В самых общих чертах представить себе ситуацию можно следующим образом. Предположим для простоты, что в данном полупроводниковом диоде как n -область, так и p -область легированы одинаково, т.е. концентрации основных носителей в них приблизительно равны. Вблизи точки А в n -области ток содержит только электронный компонент (концентрация дырок очень мала), но по мере приближения к границе с p -областью возникает и небольшое количество дырок, движущихся навстречу электронам. Эти дырки проникли в n -область вследствие понижения потенциального барьера на границе двух областей. Судьба таких дырок известна – они «погибают» в процессе рекомбинации с электронами, но и электроны «погибают» тоже. При этом вследствие диффузии в n -области устанавливается определенное распределение концентрации дырок по мере удаления от $p-n$ перехода. Характерное расстояние L_p , на которое дырки проникают в n -область вследствие диффузии, носит название «диффузионная длина» дырок.

Таким образом, по мере приближения к области перехода, в общем токе все большую роль начинает играть дырочный компонент. В области барьера эти два потока примерно равны друг другу (и каждый обеспечивает половину общего тока), а в p -области число электронов начинает быстро уменьшаться (вследствие рекомбинации) и на расстояниях порядка диффузионной длины электронов можно считать, что весь ток переносится дырками.

Вспомним теперь, что наряду с процессами рекомбинации в полупроводнике непрерывно происходит генерация электронно-дырочных пар. Возникшие в результате этого

процесса дырки должны заменить те дырки, которые диффундировали в n -область или исчезли в результате рекомбинации, а вновь образовавшиеся электроны под действием электрического поля начинают двигаться к точке В, постепенно наращивая потерянный электронный компонент общего тока, так что в результате из точки В выходит за единицу времени N электронов. Цепь замкнулась.

Заметим, что в подавляющем большинстве случаев практически используемые $p-n$ переходы являются резко несимметричными, т.е. одна из областей, образующих $p-n$ переход, легируется значительно сильнее, чем другая.

Тогда концентрация носителей, которые слаболегированная область может инжектировать в сильнолегированную, всегда очень мала по сравнению с концентрацией носителей в сильнолегированной области. Напротив, концентрация носителей, которые сильнолегированная область может инжектировать в слаболегированную, даже при относительно небольшой плотности тока может стать во много раз больше, чем концентрация основных носителей в слаболегированной области.

В соответствии с этой ситуацией сильнолегированная область $p-n$ перехода называется *эмиттером*, а слаболегированная область - *базой*.

Рассмотрим $p-n$ переход с p -эмиттером и n -базой.

При малом значении прямого тока электронный и дырочный компоненты тока примерно равны друг другу в области $p-n$ перехода. С ростом напряжения (и, соответственно, снижением потенциального барьера) электронный компонент тока достигает своего максимального значения и дальше расти не может (поскольку n -база слабо легирована), в то время как дырочный компонент продолжает расти, и в дальнейшем почти полностью обеспечивает ток через $p-n$ переход. Обычно отношение электронного компонента к дырочному составляет порядка $10^{-4} - 10^{-5}$, так что часто долей электронного тока пренебрегают и говорят, что электроны из n -базы в p -эмиттер не попадают.

Еще одной особенностью несимметричного $p-n$ перехода является распределение объемного заряда. Область объемного заряда (двойной электрический слой) образуется на границе между p -областью и n -областью и создает поле, образующее потенциальный барьер для перехода основных носителей из одной области в другую. Заметим при этом, что это же самое поле способствует переходу через границу неосновных носителей заряда. Так, если из n -области дырка попадает в область объемного заряда (т.е. подходит к переходу на расстояние порядка L_p), она тут же подхватывается полем и выбрасывается в p -область. То же происходит и с электронами в p -области.

В случае разной степени легированности двух областей протяженность области объемного заряда будет существенно больше в базе (т.е. в области с меньшей концентрацией носителей).

Как происходит усиление тока в транзисторе.

Вернемся теперь к транзистору, и, чтобы лучше уяснить принципы его работы, представим себе для начала, что n -база транзистора не узкая, т.е. ее длина W_n много больше, чем диффузионная длина дырок L_p в базе.

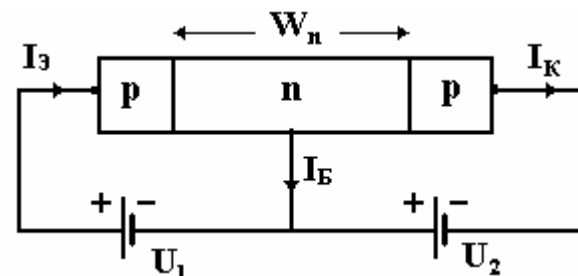


Рис. 4.

Схема работы $p-n-p$ структуры с длинной базой.

Такая структура представляет собой два диода, один из которых включен в прямом, а другой в обратном направлении. Через обратносмещенный (т.е. включенный в обратном направлении) коллекторный переход протекает небольшой ток $I_{к0}$. Этот ток образован неосновными носителями – дырками n -базы и электронами p -коллектора, которые оказались в непосредственной близости (на расстоянии порядка диффузионной длины) от области объемного заряда. Если бы база не была соединена с источником тока, то через всю структуру протекал бы именно ток $I_{к0}$.

Пусть теперь через базовый электрод протекает ток I_b . Это означает, что каждую секунду в базу поступает количество электронов, равное $N = I_b/e$. В стационарном состоянии они не могут оставаться в базе, т.к. концентрация носителей в базе со временем не меняется. Уйти в коллектор эти электроны не могут из-за высокого потенциального барьера обратносмещенного коллекторного перехода. Поскольку эмиттер легирован значительно сильнее базы, то (см. выше) попасть в эмиттер электроны также не могут. Единственное, что остается электронам – это рекомбинировать в базе с дырками, входящими в базу из эмиттера через прямосмещенный эмиттерный p - n переход. Таким образом, число дырок, инжектируемых из эмиттера каждую секунду, обусловлено числом поступающих каждую секунду в базу электронов, с которыми эти дырки должны рекомбинировать.

В структуре с длинной базой ($W_n/L_p \gg 1$) дырки практически полностью рекомбинируют на расстоянии, равном нескольким диффузионным длинам L_p , и до коллекторного перехода не доходят.

Рассмотрим теперь процессы в реальной транзисторной структуре с тонкой базой ($W_n/L_p < 1$).

В этом случае эмиттерный и коллекторный переходы нельзя рассматривать отдельно. Поступление электронов в базовый электрод структуры немедленно вызывает инжекцию дырок из эмиттера в базу. С другой стороны, появление дырки на расстоянии, меньшем, чем L_p от коллекторного перехода, с

большой вероятностью означает, что она будет захвачена полем объемного заряда и выброшена в коллектор.

Но в структуре с узкой базой каждая дырка в базе находится от коллекторного перехода на расстоянии, меньшем, чем L_p . Очевидно, что определенная часть дырок, поступивших в базу из эмиттера, будет переходить в коллектор под действием поля коллекторного перехода. Это, в свою очередь, означает, что коллекторный ток I_k будет теперь определяться не только (и не столько) обратным током коллекторного перехода, но и током дырок, переходящих из базы в коллектор.

Ток дырок, захватываемых коллектором, зависит от концентрации дырок в базе, определяемой темпом поступления дырок в базу, т. е. от тока эмиттера, а тот, в свою очередь, - от величины базового тока. Таким образом, токи, протекающие через все три электрода структуры, оказываются связанными друг с другом. Установим эту связь.

Пусть ток базы I_b задан. Это означает, что каждую секунду в базу входит $N = I_b/e$ электронов. Для того, чтобы все они рекомбинировали, необходимо, чтобы из эмиттера приходило каждую секунду столько же дырок. Но часть дырок, поступивших в базу, будет захвачена полем коллектора и не успеет прорекомбинировать. Однако все электроны должны вступить в процесс рекомбинации, чтобы не накапливаться в базе. Это означает, что в стационарном состоянии эмиттер должен вбрасывать в базу дырок больше, чем поступает в нее электронов. Он должен вбрасывать их столько, чтобы, несмотря на отток дырок в коллектор, обеспечить рекомбинацию всех электронов, входящих в базу.

Чем тоньше база, тем большую долю входящих в базу дырок захватывает коллектор. Коэффициент переноса α и определяет долю тех дырок, которые переносятся, благодаря процессу диффузии, через базу от эмиттера к коллектору. Для тонкой базы ($W_n/L_p \ll 1$) значение α может лежать в пределах от $\sim 0,9$ до $\sim 0,999$. Это означает, что с электронами, поступающими в базу, рекомбинирует лишь малая часть дырок – от 0,1 до 0,001.

Другими словами, *ток, поступающий в базу транзистора, вызывает появление в эмиттерной и коллекторной цепях тока, превышающего базовый в десятки, сотни и даже тысячи раз.*

Коэффициент усиления транзистора по току.

Поскольку транзистор имеет три вывода, то подавать на него исследуемый сигнал и снимать получившийся можно разными способами. При этом получаются различные соотношения между входными и выходными токами и напряжениями. Но во всех случаях при анализе работы транзистора ключевую роль играет соотношение между током эмиттера и током базы.

Усилительные свойства транзистора, независимо от схемы включения, определяются отношением тока эмиттера (сильнолегированный электрод) к току базы: $\beta_o = I_e / I_b$ и, естественно, тем больше, чем тоньше база.

Заметим здесь, что степень легирования коллектора не играет большой роли и лишь лимитирует максимальный ток коллектора.

Определим связь между токами, протекающими через электроды транзистора.

Коллекторный ток I_k складывается из двух компонентов – обратного тока $p-n$ перехода и тока дырок αI_e , поступающих в коллектор из эмиттера. В подавляющем большинстве случаев второй компонент намного больше, так что $I_k \approx \alpha I_e$.

С другой стороны, дырки, вышедшие из эмиттера, или рекомбинируют в базе (I_b), или уходят в коллектор (I_k). Поэтому

$$I_e = I_b + I_k,$$

Из приведенных соотношений следует, что

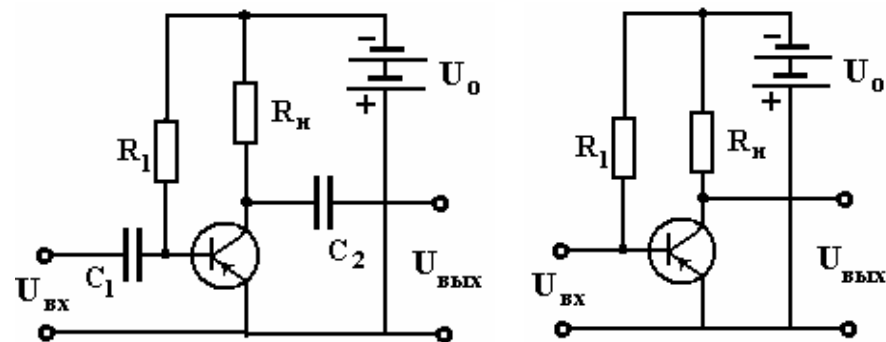
$$I_e = I_b / (1 - \alpha) = \beta_o I_b,$$

Заметим, что при значении $\alpha = 0,9$ величина $\beta_o = 10$, а значению $\alpha = 0,999$ соответствует $\beta_o = 1000$.

Рассмотренный механизм усиления тока лежит в основе работы биполярного транзистора.

3. Простейшие транзисторные схемы.

Схема усилителя с общим эмиттером.



а) б) Рис. 5.
Простейшая схема усилительного каскада с общим эмиттером.

- а) для усиления переменных сигналов;
б) для работы в статическом режиме.

В показанной на рис.5 схеме входной сигнал $U_{вх}$ подается в базу $p-n-p$ транзистора между базой и эмиттером, а выходной $U_{вых}$ снимается с коллектора между коллектором и эмиттером. Эмиттерный электрод, как видно из рисунка, является общим для входного и выходного сигналов.

Для работы биполярного транзистора в режиме усиления необходимо, чтобы его эмиттерный переход был смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном. В приведенной схеме оба этих условия выполняются, если между эмиттером и коллектором подано постоянное напряжение U_0 от источника питания, как показано на рис.5.

Чтобы понять, как задается режим работы транзистора по постоянному току, рассмотрим ситуацию, когда входной сигнал отсутствует и через базовый электрод ток не течет.

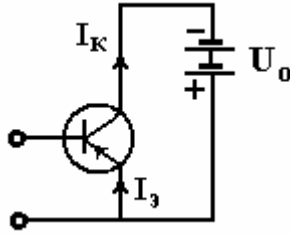


Рис. 6.

Схема транзистора с обесточенной базой.

Напряжение источника приложено к последовательно соединенным эмиттерному и коллекторному переходам, при этом следует учесть, что обратносмещенный переход представляет собой очень большое сопротивление, а прямосмещенный – очень малое. Поэтому почти все напряжение оказывается приложенным к коллекторному переходу. Выясним, какой ток будет при этом течь через транзистор.

В обратносмещенном переходе возникает небольшой обратный ток неосновных носителей I_{ko} , в результате чего в базу каждую секунду поступает $N = I_{ko}/e$ электронов, что, как мы видели раньше, заставляет выйти из эмиттера такое количество дырок, которое сможет уничтожить «лишние» электроны. Мы уже знаем, что это количество будет в β_0 раз больше поступающего количества электронов, значит, через транзистор будет течь ток

$$I_3 = \beta_0 I_{ko}.$$

При этом напряжение на переходе эмиттер-база $U_{эб}$ определится из вольтамперной характеристики этого перехода по заданному току. Однако может оказаться, что такая сила тока недостаточно велика, чтобы обеспечить нужный режим работы транзистора. Чтобы увеличить требуемую силу тока, параллельно коллекторному переходу подключают сопротивление R_1 (см. рис. 5).

При расчете тока через R_1 вспомним, что напряжение $U_{эб}$ не может быть больше барьерной разности потенциалов, которая для разных материалов находится в пределах 0,5 – 1,1 В, в то

время как напряжение источника питания не меньше 5 – 10 В. Поэтому ток через сопротивление R_1 легко оценить:

$$I = (U_0 - U_{эб})/R_1 \approx U_0/R_1.$$

Как видно из рис.5, именно этот ток и является базовым током транзистора. Таким образом, выбором сопротивления R_1 базовый ток $I_б$ определен. Нетрудно видеть, что при этом ток эмиттера $I_3 = \beta_0 I_б$, а ток коллектора $I_k = (\beta_0 - 1)I_б$. Итак, при отсутствии входного сигнала через электроды транзистора протекают токи, величина которых определяется сопротивлением R_1 :

$$I_б = U_0/R_1; \quad I_3 = \beta_0 I_б; \quad I_k = (\beta_0 - 1)I_б.$$

Пусть теперь на вход транзистора поступил отрицательный сигнал $\Delta U_{вх}$.

Отрицательный сигнал на n -базе эмиттерного перехода приведет к увеличению базового тока на величину

$$\Delta I_б = \Delta I_{вх} = \Delta U_{вх} / R_{вх}$$

($R_{вх}$ для схемы с общим эмиттером дается в справочнике для данного транзистора).

Ток эмиттера увеличится на $\Delta I_3 = \beta_0 \Delta U_{вх} / R_{вх}$, а ток коллектора соответственно на $\Delta I_k = (\beta_0 - 1) \Delta U_{вх} / R_{вх}$.

Заметим, что именно ток коллектора является выходным током, так что *статический (т.е. по постоянному току) коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером есть отношение $\Delta I_k / \Delta I_б$. При этом величина этого отношения*

$$\beta = \Delta I_k / \Delta I_б = (\beta_0 - 1) = \alpha / (1 - \alpha).$$

Выходной сигнал $\Delta U_{вых}$ снимается с сопротивления нагрузки R_n и при увеличении тока коллектора на ΔI_k представляет собой уменьшение отрицательного напряжения на выходе на величину

$$\Delta U_{вых} = \Delta I_k R_n = \beta (R_n / R_{вх}) \Delta U_{вх}.$$

Таким образом, сигнал $\Delta U_{вх}$, поступивший на вход схемы, окажется усиленным.

Коэффициент усиления по напряжению K_U будет равен

$$K_U = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх} = \beta (R_n / R_{вх}).$$

Важной характеристикой схемы является коэффициент усиления по мощности K_P , равный отношению мощности выходного сигнала к мощности входного. Очевидно, что

$$K_P = (\Delta I_k \Delta U_{\text{вых}}) / (\Delta I_{\text{б}} \Delta U_{\text{вх}}) = \beta K_U = \beta^2 R_H / R_{\text{вх}}.$$

Понятно, что для получения наибольшего коэффициента усиления сопротивление нагрузки выгодно выбирать как можно большим. С другой стороны, при слишком большом сопротивлении R_H почти все напряжение источника упадет на нагрузке и для коллекторного перехода не будет обеспечен нужный режим работы – наличие отрицательного смещения на коллекторе.

Часто величину нагрузки выбирают такой, чтобы на сопротивлении R_H при заданном токе I_k падало напряжение, приблизительно равное $U_0/2$.

Для дополнительного чтения

Схема усилителя с общей базой

В схеме с общей базой входной сигнал подается в эмиттерный электрод, а выходной сигнал снимается с коллектора.

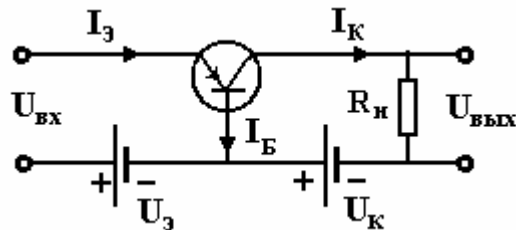


Рис.7.

Схема усилителя с общей базой с двумя источниками питания.

Для работы данной схемы используется два источника питания. Один из них - U_K - смещает коллекторный переход в обратном направлении, другой - U_3 - задает прямое смещение на эмиттерном переходе.

Изменению напряжения на входе транзистора $\Delta U_{\text{вх}}$ соответствует изменение тока эмиттера $\Delta I_3 = \Delta U_{\text{вх}} / R_{\text{вх}}$.

При этом коллекторный ток меняется на величину $\Delta I_k = \alpha \Delta I_3$. Таким образом, $\Delta I_k < \Delta I_3$, а значит, усиления по току не происходит, наоборот, выходной сигнал даже незначительно ослабляется.

Усиление в схеме с общей базой происходит только по напряжению и по мощности, при этом коэффициент усиления по напряжению равен

$$K_U = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}} = (\Delta I_k R_H) / (\Delta I_3 R_{\text{вх}}) = \alpha R_H / R_{\text{вх}} \approx R_H / R_{\text{вх}}.$$

Практически таким же будет и коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = (\Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}) (\Delta I_{\text{вых}} / \Delta I_{\text{вх}}) = \alpha K_U = \alpha^2 R_H / R_{\text{вх}} \approx R_H / R_{\text{вх}}.$$

Можно показать (см. ниже), что входное сопротивление транзистора зависит от схемы включения, и в схеме с общей базой оно в β раз меньше, чем в схеме с общим эмиттером.

Тогда, сопоставляя обе схемы включения транзистора, можно увидеть, что коэффициент усиления по напряжению в обеих схемах практически одинаков, а коэффициент усиления по мощности в схеме с общей базой в β раз меньше. Вопрос о целесообразности применения той или иной схемы включения транзистора выходит за рамки нашего рассмотрения. Здесь отметим только, что преимущество схемы с общей базой заключается в способности усиливать без заметных искажений сигналы высокой частоты, при этом их частота может в β раз превышать частоту сигналов, которые может усиливать схема с общим эмиттером.

Покажем, что входное сопротивление одного и того же транзистора в схеме с общей базой в β раз меньше, чем в схеме с общим эмиттером.

В самом деле, пусть напряжение на эмиттерном переходе изменилось на величину $\Delta U_{\text{эб}}$. Тогда ток через переход изменится на величину ΔI_3 независимо от того, в какую схему включен транзистор. В схеме с общей базой рассмотренная ситуация соответствует изменению входного напряжения на $\Delta U_{\text{эб}}$ и входного тока на ΔI_3 , при этом входное сопротивление равняется

$$R_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{эб}} / \Delta I_3.$$

А в схеме с общим эмиттером изменение входного напряжения такое же, а изменение входного тока есть изменение тока базы $\Delta I_{\text{б}}$, который меньше тока эмиттера в β_0 раз. Соответственно

$$R_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{эб}} / \Delta I_{\text{б}} = \Delta U_{\text{эб}} / (\Delta I_3 / \beta_0) = \beta_0 (\Delta U_{\text{эб}} / \Delta I_3) \approx \beta (\Delta U_{\text{эб}} / \Delta I_3),$$

т.е. в β раз больше, чем в схеме с общей базой.

Так, если в справочнике указано входное сопротивление транзистора 1 кОм, а коэффициент усиления по току $\beta = 50$, то в схеме с общей базой его входное сопротивление составит всего ≈ 20 Ом, а при сопротивлении нагрузки 4 кОм коэффициент усиления по напряжению (и по мощности) будет равен ≈ 200 .

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе предлагается ознакомиться с работой *n-p-n* транзистора в схеме с общим эмиттером в режиме усиления по постоянному и переменному току.

Анализ физических процессов, происходящих в *n-p-n* транзисторе, проводится точно так же, как и для *p-n-p* транзистора, только теперь основными носителями в эмиттере и коллекторе являются электроны, а в базе – дырки.

Задание 1. Расчет коэффициента усиления по току по заданным параметрам схемы.

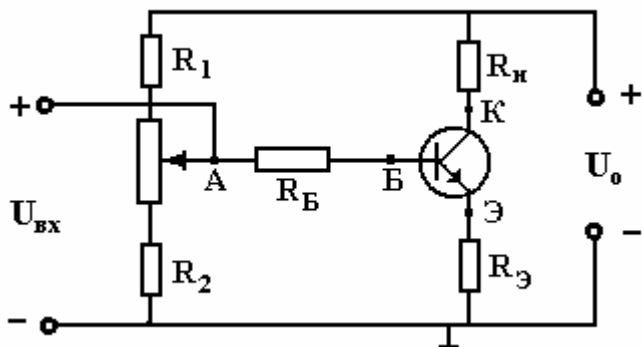


Рис. 8.

Схема усилительного каскада на *n-p-n* транзисторе.

$R_1 = 33$ кОм, $R_2 = 22$ кОм, $R_B = 100$ кОм, $R_E = 0,22$ кОм, $R_H = 2,2$ кОм.

1. Зарисуйте в тетрадь схему усилительного каскада на *n-p-n* транзисторе и запишите значения параметров схемы.

2. Подключите схему к источнику питания с напряжением $U_o = +10$ В.

3. С помощью осциллографа измерьте потенциалы в точках А, Б, Э, К относительно «земли» ($\varphi_3 = 0$).

Для этого:

а) установите уровень отсчета («земля») в нижней части экрана;

б) просмотрите диапазон изменения потенциалов и выберите подходящую величину чувствительности;

в) запишите выбранную величину чувствительности, снова установите уровень отсчета и проведите измерения.

Результаты измерений занесите в таблицу:

φ	А	Б	Э	К
дел				
В				

Оцените погрешность измерений.

4. С помощью полученных значений рассчитайте:

1) напряжение на эмиттерном переходе $U_{ЭБ} = \varphi_B - \varphi_Э$;

2) ток базы $I_B = (\varphi_A - \varphi_B)/R_B$;

3) входное сопротивление транзистора $R_{ВХ} = U_{ЭБ} / I_B$;

4) ток эмиттера $I_Э = (\varphi_Э - \varphi_3)/R_Э$;

5) ток коллектора $I_K = (U_o - \varphi_K)/R_H$.

При отсутствии входного сигнала оцените *статический коэффициент усиления по постоянному току* как

$$\beta = I_K / I_B.$$

Задание 2. Наблюдение работы транзистора в режиме усиления сигнала и определение коэффициентов усиления по напряжению и току.

1. Подключите вход схемы ($U_{вх}$) к клеммам «+» и «-» источника ЛИП-90, дающего пульсирующее напряжение.

2. Зарисуйте осциллограммы сигнала и измерьте амплитуду напряжения в соответствующих точках схемы. Результаты измерения занесите в таблицу, указав соответствующую величину чувствительности осциллографа:

ΔU	ΔU_A	ΔU_B	$\Delta U_Э$	ΔU_K
дел				
В				

Оцените погрешность измерений.

4. С помощью полученных значений рассчитайте:

- 1) амплитуду тока базы $\Delta I_B = (\Delta U_A - \Delta U_B)/R_B$;
- 2) амплитуду тока коллектора $\Delta I_K = \Delta U_K/R_H$;
- 3) коэффициент усиления по току $\beta = \Delta I_K / \Delta I_B$;
- 4) коэффициент усиления по напряжению $K_U = \Delta U_{ВЫХ} / \Delta U_{ВХ} = \Delta U_K / \Delta U_A$

5. Сравните получившееся значение коэффициента усиления по току β с найденным Вами ранее значением с учетом экспериментальной погрешности.

Задание 3. Наблюдение семейства выходных характеристик транзистора при различных значениях тока базы.

При выполнении данного упражнения измените электрическую схему в соответствии с рис.9.

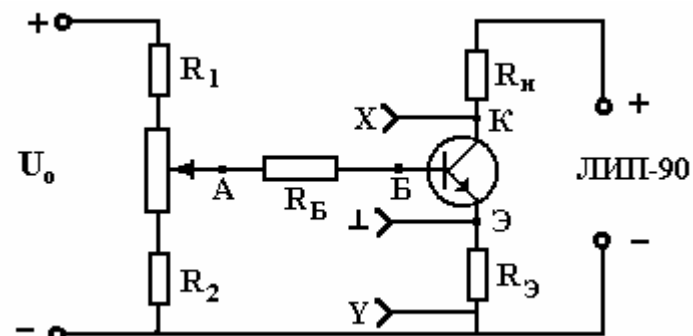


Рис. 9

1. Подключите источник питания U_0 как показано на схеме.

2. Включите источник пульсирующего напряжения ЛИП-90 между эмиттером и коллектором, соблюдая полярность.

3. Подключите вход “X” и вход “Y” осциллографа как показано на схеме. Установите нужную чувствительность.

Сигнал, подаваемый на пластины “X” входа осциллографа, представляет собой напряжение между эмиттером и коллектором $U_{ЭК}$.

Сигнал, подаваемый на пластины “Y” входа осциллографа, представляет собой напряжение на сопротивлении $R_Э$, взятое с обратным знаком. Это напряжение пропорционально величине тока эмиттера $I_Э$, который примерно равен току коллектора I_K .

Полученная на экране осциллографа кривая представляет собой **выходную характеристику транзистора - зависимость тока коллектора от напряжения между эмиттером и коллектором при постоянном токе базы.**

4. Изменив в точке А с помощью потенциометра величину тока базы, получите новую кривую зависимости тока коллектора от напряжения между эмиттером и коллектором при постоянном токе базы.

Пронаблюдайте и зарисуйте (на одном графике) семейство выходных характеристик транзистора $I_K = f(U_{ЭК})$ при трех различных значениях тока базы.

Сделайте выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы для получения допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Сформулируйте цель работы.
2. Какие задания Вы будете выполнять в данной работе, в какой последовательности, и какие приборы будут Вами использованы для выполнения каждого из этих заданий?
3. В какой форме Вы будете представлять результаты Вашей работы?
4. Для чего Вы будете использовать осциллограф и как подготовить осциллограф к работе?
5. Как обозначаются на схемах *p-n-p* и *n-p-n* транзисторы?
6. Какова полярность подключения источника питания при работе с *p-n-p* и *n-p-n* транзисторами? Между какими электродами он подключается?
7. Транзистор какого типа используется в данной работе?
8. Между какими электродами подается входной сигнал и как снимается выходной сигнал при включении транзистора в схему с общим эмиттером? Нарисуйте соответствующую схему.

Контрольные вопросы для подготовки к защите работы

1. Что такое собственная и примесная проводимость полупроводников?
2. Что такое степень легирования полупроводника?
3. Какая область полупроводника с *p-n* переходом называется эмиттером и какая базой?
4. Опишите прохождение тока через несимметричный *p-n* переход.
5. Какую роль играет ширина базы в транзисторе?
6. Что такое коэффициент переноса, и в каких пределах лежат его значения?
7. Какова величина тока, протекающего через транзистор с обедненной базой на рис.6?
8. Какова роль резистора R_1 в схеме на рис.5?
9. Как определяются коэффициенты усиления по току и напряжению при работе транзистора?
10. Какова роль сопротивления нагрузки, и в каких пределах следует его выбирать?
11. Как изменяется вид выходной характеристики транзистора при изменении тока базы?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников С.Г. **Электричество**. М., «Наука», 1977 г.
2. Левинштейн М.Е., Симин Г.С.
Знакомство с полупроводниками. Библиотечка «Квант»,
вып.33. М., «Наука», 1984 г.
3. Левинштейн М.Е., Симин Г.С.
Барьеры. Библиотечка «Квант», вып.34. М., «Наука», 1987 г.