

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»  
Филиал РГППУ в г.Березовском

## **Реферат**

**по дисциплине: «АЭВЭМ»**

**на тему: «Биполярные транзисторы pnp»**

Выполнил:

студент гр. бпо 208 пвт по-4

Галлямов Д.Р.

Проверил преподаватель:

Южаков А.М.

Березовский 2011 г.

## Содержание

Введение.....	3
1. Общие сведения.....	4
2. Принцип действия $n-p-n$ транзистора.....	6
3. Усиление с помощью транзистора.....	14
3.1. Схемы включения транзисторов (ОБ, ОК, ОЭ).....	18
3.2. Схема с общим эмиттером (ОЭ).....	19
3.3. Схема с общим коллектором (ОК).....	22
Заключение.....	23
Список использованных источников.....	24

## Введение

Полупроводниковые приборы (диоды и транзисторы) благодаря малым габаритам и массе, незначительному потреблению электроэнергии, высокой надёжности и долговечности широко применяются в различной радиоэлектронной аппаратуре. В настоящее время почти вся бытовая радиоэлектронная техника, включая телевизоры, приёмники, магнитофоны и др., работает на полупроводниковых приборах и микросхемах. Применение полупроводниковых приборов в электронных вычислительных машинах позволило решить проблему достижения высоких эксплуатационных параметров ЭВМ при обеспечении требуемой надёжности. Для конструирования надёжных схем на транзисторах, то есть для правильного выбора типа транзистора, грамотного расчёта схем, выбора оптимального теплового и электрического режимов, необходимо располагать подробными сведениями, характеризующими эксплуатационные свойства транзисторов.

Преимущества транзисторов по сравнению с электронными лампами - те же, как и у полупроводниковых диодов - отсутствие накаливаемого катода, потребляющего значительную мощность и требующего времени для его разогрева. Кроме того, транзисторы сами по себе во много раз меньше по массе и размерам, чем электрические лампы, и транзисторы способны работать при более низких напряжениях и более высоких частотах.

Но наряду с положительными качествами, триоды имеют и свои недостатки. Как и полупроводниковые диоды, транзисторы очень чувствительны к повышению температуры, электрическим перегрузкам и сильно проникающим излучениям (чтобы сделать транзистор более долговечным, его помещают в специальные корпуса).

## 1. Общие сведения

Транзисторы – это полупроводниковые приборы, пригодные для усиления мощности и имеющие три вывода или больше. В транзисторах может быть разное число переходов между областями с различной электропроводностью. Наиболее распространены транзисторы с двумя  $n$ – $p$ –переходами, называемые биполярными, так как их работа основана на использовании носителей заряда обоих знаков. Первые транзисторы были точечными, но они работали недостаточно устойчиво. В настоящее время изготавливаются и применяются исключительно плоскостные транзисторы.

Устройство плоскостного биполярного транзистора показано схематически на рис. 5.1.

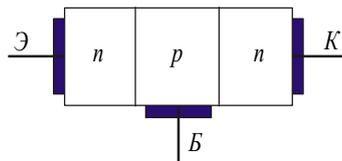


Рис. 5.1. Устройство плоскостного биполярного транзистора

Транзистор представляет собой пластину германия, или кремния, или другого полупроводника, в которой созданы три области с различной электропроводностью. Для примера взят транзистор типа  $n$ – $p$ – $n$ , имеющий среднюю область с дырочной, а две крайние области – с электронной электропроводностью. Широко применяются также транзисторы типа  $p$ – $n$ – $p$ , в которых дырочной электропроводностью обладают две крайние области, а средняя имеет электронную электропроводность.

Средняя область транзистора называется **базой**, одна крайняя область – **эмиттером**, другая – **коллектором**. Таким образом, в транзисторе имеются два  $n$ – $p$ –перехода: **эмиттерный** – между эмиттером и базой и **коллекторный** – между базой и коллектором. Расстояние между ними должно быть очень малым, не более единиц микрометров, т.е. область базы должна быть очень тонкой. Это является условием хорошей работы

транзистора. Кроме того, концентрация примесей в базе всегда значительно меньше, чем в коллекторе и эмиттере. От базы, эмиттера и коллектора сделаны выводы.

Для величин, относящихся к базе, эмиттеру и коллектору, применяют в качестве индексов буквы «б», «э» и «к». Токи в проводах базы, эмиттера и коллектора обозначают соответственно  $i_b$ ,  $i_э$ ,  $i_k$ . Напряжения между электродами обозначают двойными индексами, например напряжение между базой и эмиттером  $U_{б-э}$ , между коллектором и базой  $U_{к-б}$ . На условном графическом обозначении (рис. 5.2) транзисторов  $p-n-p$  и  $n-p-n$  стрелка показывает условное (от плюса к минусу) направление тока в проводе эмиттера при прямом напряжении на эмиттерном переходе.

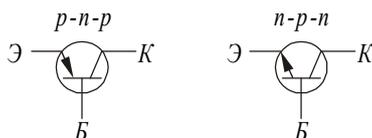


Рис. 5.2. Условное графическое обозначение транзисторов

Транзистор может работать в трех режимах в зависимости от напряжения на его переходах.

**Активный режим** – напряжение на эмиттерном переходе прямое, а на коллекторном – обратное.

**Режим отсечки (запирания)** – обратное напряжение подано на оба перехода.

**Режим насыщения** – на обоих переходах прямое напряжение.

Основным является активный режим. Он используется в большинстве усилителей и генераторов. Режимы отсечки и насыщения характерны для импульсной работы транзистора.

В схемах с транзисторами обычно образуются две цепи: **входная (управляющая)** – в нее включают источник усиливаемых сигналов и **выходная (управляемая)** – в нее включается нагрузка.

## 2. Принцип действия $n-p-n$ транзистора

Рассмотрим принцип работы транзистора, на примере  $n-p-n$  транзистора в режиме без нагрузки, когда включены только источники постоянных питающих напряжений  $E_1$  и  $E_2$  (рис. 5.3).

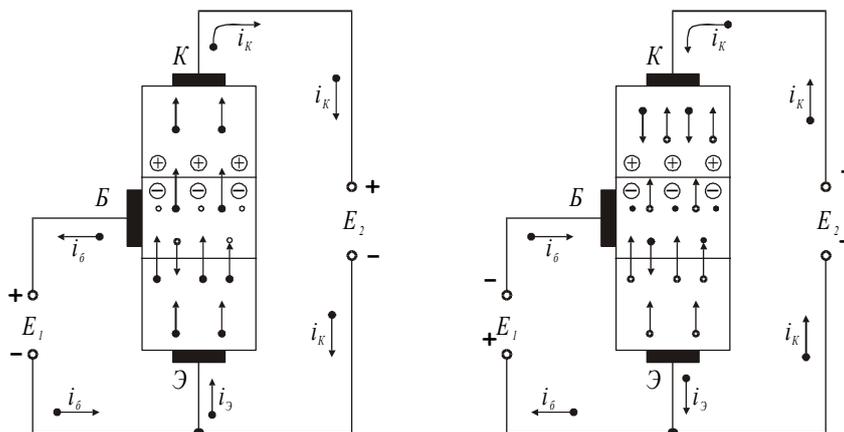


Рис. 5.3. Схема включения  $n-p-n$  транзистора без нагрузки

Полярность их такова, что на эмиттерном переходе напряжение прямое, а на коллекторном – обратное. Поэтому сопротивление эмиттерного перехода мало и для получения нормального тока в этом переходе достаточно напряжения  $E_1$  в десятые доли вольта. Сопротивление коллекторного перехода велико, и напряжение  $E_2$  обычно составляет единицы или десятки вольт. Из схемы на рис. 5.3 видно, что напряжения между электродами транзистора связаны простой зависимостью  $U_{к-э} = U_{к-б} + U_{б-э}$ .

При работе транзистора в активном режиме обычно всегда  $U_{б-э} \ll U_{к-б}$  и, следовательно,  $U_{к-э} \approx U_{к-б}$ .

Вольт-амперная характеристика эмиттерного перехода представляет собой характеристику полупроводникового диода при прямом токе, а вольт-амперная характеристика коллекторного перехода подобна характеристике диода при обратном токе.

Принцип работы транзистора заключается в том, что прямое напряжение эмиттерного перехода, т.е. участка база – эмиттер ( $U_{б-э}$ ), существенно влияет на токи эмиттера и коллектора. Чем больше это напряжение, тем больше токи эмиттера и коллектора. При этом изменения тока коллектора лишь незначительно меньше изменений тока эмиттера. Таким образом, напряжение  $U_{б-э}$ , т.е. входное напряжение, управляет током коллектора. Усиление электрических колебаний с помощью транзистора основано именно на этом явлении.

Физические процессы в транзисторе происходят следующим образом. При увеличении прямого входного напряжения  $U_{б-э}$  понижается потенциальный барьер в эмиттерном переходе и соответственно возрастает ток через этот переход – ток эмиттера  $i_э$ . Электроны этого тока инжектируются из эмиттера в базу и благодаря диффузии проникают сквозь базу в коллекторный переход, увеличивая ток коллектора. Т.к. коллекторный переход работает при обратном напряжении, то в этом переходе возникают объемные заряды, показанные на рисунке кружками со знаками «+» и «-». Между ними возникает электрическое поле. Оно способствует продвижению (экстракции) через коллекторный переход электронов, пришедших сюда из эмиттера, т.е. втягивают электроны в область коллекторного перехода.

Если толщина базы достаточно мала и концентрация дырок в ней невелика, то большинство электронов, пройдя через базу, не успевает рекомбинировать с дырками базы и достигает коллекторного перехода. Лишь небольшая часть электронов рекомбинирует в базе с дырками. В результате рекомбинации возникает ток базы. В установившемся режиме число дырок в базе должно быть неизменным. Вследствие рекомбинации каждую секунду сколько-то дырок исчезает, но столько же новых дырок возникает за счет того, что из базы уходит в направлении к плюсу источника  $E_1$  такое же число электронов. Иначе говоря, в базе не может накапливаться много электронов. Если некоторое число инжектированных в базу из эмиттера электронов не

доходит до коллектора, а остается в базе, рекомбинируя с дырками, то точно такое же число электронов должно уходить из базы в виде тока  $i_{\sigma}$ . Поскольку ток коллектора получается меньше тока эмиттера, то в соответствии с первым законом Кирхгофа всегда существует следующее соотношение между токами:

$$i_{\sigma} = i_{\kappa} + i_{\sigma}$$

Ток базы является бесполезным и даже вредным. Желательно, чтобы он был как можно меньше. Обычно  $i_{\sigma}$  составляет малую долю (проценты) тока эмиттера, т. е.  $i_{\sigma} \ll i_{\sigma}$ , а следовательно, ток коллектора лишь незначительно меньше тока эмиттера и можно считать  $i_{\sigma} \approx i_{\sigma}$ . Именно для того, чтобы ток  $i_{\sigma}$  был как можно меньше, базу делают очень тонкой и уменьшают в ней концентрацию примесей, которая определяет концентрацию дырок. Тогда меньшее число электронов будет рекомбинировать в базе с дырками.

Если бы база имела значительную толщину и концентрация дырок в ней была велика, то большая часть электронов эмиттерного тока, диффундируя через базу, рекомбинировала бы с дырками и не дошла бы до коллекторного перехода. Ток коллектора почти не увеличивался бы за счет электронов эмиттера, а наблюдалось бы лишь увеличение тока базы.

Когда к эмиттерному переходу напряжение не приложено, то практически можно считать, что в этом переходе нет тока. В этом случае область коллекторного перехода имеет большое сопротивление постоянному току, т.к. основные носители зарядов удаляются от этого перехода и по обе стороны от границы создаются области, обедненные этими носителями. Через коллекторный переход протекает лишь очень небольшой обратный ток, вызванный перемещением навстречу друг другу неосновных носителей, т.е. электронов из  $p$ -области и дырок из  $n$ -области.

**Важное свойство транзистора – приблизительно линейная зависимость между его токами**, т.е. все три тока транзистора изменяются почти пропорционально друг другу.

Подобные же процессы происходят в транзисторе типа  $p-n-p$ , но в нем меняются ролями электроны и дырки, а также изменяются полярности напряжений и направления токов (рис. 5.3). В транзисторе типа  $p-n-p$  из эмиттера и базу инжектируются не электроны, а дырки, которые являются для базы неосновными носителями. С увеличением тока эмиттера больше таких дырок проникает через базу к коллекторному переходу. Это вызывает уменьшение его сопротивления и возрастание тока коллектора.

Работу транзистора можно наглядно представить с помощью потенциальной диаграммы, которая приведена на рис. 5.4 для транзистора типа  $n-p-n$ . Потенциал эмиттера принят за нулевой. В эмиттерном переходе имеется небольшой потенциальный барьер. Чем больше напряжение  $U_{б-э}$ , тем ниже этот барьер. Коллекторный переход имеет значительную разность потенциалов, ускоряющую электроны.

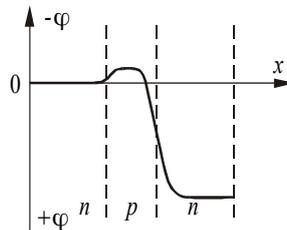


Рис. 5.4. Потенциальная диаграмма работы  $n-p-n$  транзистора

Помимо рассмотренных основных физических процессов в транзисторах приходится учитывать еще ряд явлений.

Существенно влияет на работу транзисторов сопротивление базы  $r_{б0}$ , т.е. сопротивление, которое база оказывает току базы  $i_{б}$  (ноль в индексе здесь означает, что данная величина относится к постоянному току.) Этот ток протекает к выводу базы в направлении, перпендикулярном направлению эмиттер–коллектор. Так как база очень тонкая, то в направлении от эмиттера к коллектору, т.е. для тока  $i_{к}$  ее сопротивление очень мало и не принимается во внимание. А в направлении к выводу базы сопротивление базы  $r_{б0}$  (его

называют поперечным) достигает сотен ом, т.к. в этом направлении база аналогична очень тонкому проводнику. Напряжение на эмиттерном переходе всегда меньше, чем напряжение  $U_{б-э}$  между выводами базы и эмиттера, т.к. часть подводимого напряжения теряется на сопротивлении базы. С учетом сопротивления  $r_{б0}$  можно изобразить эквивалентную схему транзистора для постоянного тока (рис. 5.5).

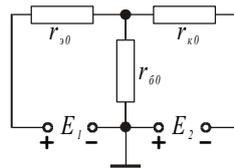


Рис. 5.5. Эквивалентная схема транзистора для постоянного тока

На рис. 5.5,  $r_{э0}$  – сопротивление эмиттера, в которое входят сопротивление эмиттерного перехода и эмиттерной области. Значение  $r_{э0}$  у маломощных транзисторов достигает десятков ом, поскольку напряжение на эмиттерном переходе не превышает десятых долей вольта, а ток эмиттера в таких транзисторах составляет единицы миллиампер. У более мощных транзисторов больше и  $i_{э0}$  соответственно меньше. Сопротивление  $r_{б0}$  определяется формулой (в омах)  $r_{б0} \approx 25 / i_{э}$ , где ток  $i_{э}$  выражается в миллиамперах.

Сопротивление коллектора  $r_{к0}$  представляет собой практически сопротивление коллекторного перехода и составляет единицы и десятки килоом. В него входит также сопротивление коллекторной области, но оно сравнительно мало и им можно пренебречь.

Рассмотренная эквивалентная схема является весьма приближенной, т.к. на самом деле эмиттер, база и коллектор имеют между собой контакт не в одной точке, а во множестве точек по всей площади переходов. Тем не менее, эта схема может применяться для рассмотрения многих процессов в транзисторе.

При повышении напряжения на коллекторном переходе в нем происходит лавинное размножение носителей заряда, из-за ударной ионизации. Это явление и туннельный эффект способны вызвать **электрический пробой**, который при возрастании тока может перейти в **тепловой пробой перехода**. Электрический и тепловой пробой коллекторного перехода в транзисторе происходит в основном так же, как и в диоде. Но в транзисторе при чрезмерном коллекторном токе может возникать тепловой пробой без предварительного электрического пробоя, т.е. без повышения напряжения на коллекторном переходе до пробивного. Это явление, связанное с перегревом коллекторного перехода называется **вторичным пробоем**.

Изменение напряжений на коллекторном и эмиттерном переходах сопровождается изменением толщины этих переходов. В результате изменяется толщина базы. Такое явление называют **модуляцией толщины базы**. Его особенно надо учитывать при повышении напряжения коллектор–база, т.к. тогда толщина коллекторного перехода возрастает, а толщина базы уменьшается.

При очень тонкой базе может произойти **эффект замыкания** («прокол» базы) – соединение коллекторного перехода с эмиттерным. В этом случае область базы исчезает и транзистор перестает нормально работать.

При увеличении инжекции носителей из эмиттера в базу происходит накопление неосновных носителей заряда в базе, т. е. увеличение концентрации и суммарного заряда этих носителей. И наоборот, при уменьшении инжекции происходит уменьшение концентрации и суммарного заряда неосновных носителей в базе. Этот процесс называют **рассасыванием неосновных носителей заряда в базе**.

Рассмотрим соотношения между токами в транзисторе. Ток эмиттера управляется напряжением на эмиттерном переходе, но до коллектора доходит несколько меньший ток, который можно назвать **управляемым коллекторным током**  $i_{к. упр.}$ . Часть инжектированных из эмиттера в базу

носителей рекомбинирует, поэтому  $i_{к.унр.} = \alpha i_э$ , где  $\alpha$  – **коэффициент передачи тока эмиттера**, являющийся основным параметром транзистора. При нормальных токах он может иметь значения от 0,950 до 0,998. Чем слабее рекомбинация инжектированных носителей в базе, тем ближе  $\alpha$  к 1.

Через коллекторный переход всегда проходит очень небольшой (не более единиц микроампер) **неуправляемый обратный ток**  $i_{к0}$  (рис. 5.6). Этот ток называют еще начальным током коллектора. Он неуправляем потому, что не проходит через эмиттерный переход. Таким образом, полный коллекторный ток

$$i_k = \alpha i_э + i_{к0} \quad (5.1)$$

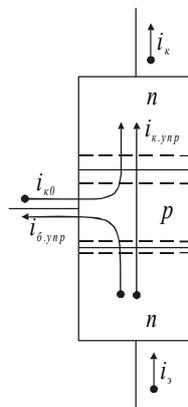


Рис. 5.6. Направления токов в транзисторе

Во многих случаях  $i_k \ll i_э$  и поэтому можно считать, что  $i_k \approx \alpha i_э$ .

Преобразуем формулу (5.1)  $i_э = i_б + i_k$ ,  $i_k = \alpha(i_k + i_б) + i_{к0}$ .

Выразим:  $i_k = i_б \alpha / (1 - \alpha) + i_{к0} / (1 - \alpha)$ .

Обозначим  $\alpha / (1 - \alpha) = \beta$  и  $i_{к0} / (1 - \alpha) = i_{к-э0}$ , тогда

$$i_k = \beta i_б + i_{к-э0}; \quad (5.2)$$

здесь  $\beta$  – **коэффициент передачи тока базы** и составляет несколько десятков. Например, если  $\alpha = 0,95$ ,  $\beta = \alpha / (1 - \alpha) = 0,95 / (1 - 0,95) = 19$ , а если  $\alpha = 0,99$ , то  $\beta = 0,9 / (1 - 0,9) = 99$ .

Т. е. при увеличении  $\alpha$  на 0,04,  $\beta$  увеличился в пять раз.

Выразим  $a$  через  $b$ :  $\alpha = \beta / (1 + \beta)$ .

Следует заметить, что коэффициент  $a$  не является строго постоянным. Он зависит от режима работы транзистора, в частности от тока эмиттера. При малых и больших токах  $a$  уменьшается, а при некотором среднем значении тока достигает максимума. В пределах рабочих значений тока эмиттера меняется сравнительно мало.

Коэффициент  $b$  изменяется в зависимости от режима работы транзистора гораздо больше, нежели коэффициент  $a$ . При некотором среднем значении тока эмиттера коэффициент  $b$  максимален, а при меньших и больших токах он снижается, причем иногда в несколько раз.

Ток  $i_{K-\text{Э}0}$  называют **начальным сквозным током**, т.к. он протекает сквозь весь транзистор (через три его области и через оба  $n-p$ -перехода) в том случае, если  $i_{\text{Б}}=0$ , т.е. оборван провод базы. Из (5.2) при  $i_{\text{Б}}=0$  получаем  $i_{K-\text{Э}0} = i_{K0}$ . Сквозной ток составляет десятки или сотни микроампер и значительно превосходит начальный ток коллектора  $i_{K0}$ .

$$i_{K-\text{Э}0} = i_{K0} / (1 - \alpha) \quad \text{или} \quad i_{K-\text{Э}0} = (\beta + 1)i_{K0}, \quad \text{а т.к. } \beta \gg 1, \quad \text{то } i_{K-\text{Э}0} \approx \beta i_{K0}.$$

Сравнительно большой ток  $i_{K-\text{Э}0}$  объясняется тем, что некоторая часть напряжения  $U_{K-\text{Э}}$ , приложена к эмиттерному переходу в качестве прямого напряжения. Вследствие этого возрастает ток эмиттера, а он в данном случае и является сквозным током.

При значительном повышении напряжения  $U_{K-\text{Э}}$ , ток  $i_{K-\text{Э}0}$  резко возрастает и происходит электрический пробой.

### 3. Усиление с помощью транзистора

Рассмотрим схему усилительного каскада с транзистором  $n-p-n$  типа (рис. 5.7). Эта схема называется схемой с общим эмиттером (ОЭ), т.к. эмиттер является общей точкой для входа и выхода схемы.

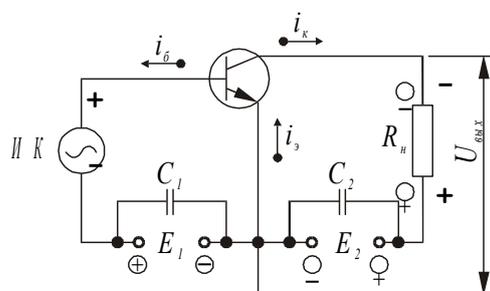


Рис. 5.7. Схема включения транзистора с ОЭ

Входное напряжение, которое необходимо усилить, подается от источника колебаний ИК на участок база – эмиттер. На базу подано также положительное смещение от источника  $E_1$ , которое является прямым напряжением для эмиттерного перехода. Цепь коллектора (выходная цепь) питается от источника  $E_2$ . Для получения усиленного выходного напряжения в эту цепь включена нагрузка  $R_H$ .

$C_1$  – конденсатор большой емкости необходим для того, чтобы не происходила потеря части входного переменного напряжения на внутреннем сопротивлении источника  $E_1$ .  $C_2$  – необходим для того, чтобы не было потери части выходного усиленного напряжения на внутреннем сопротивлении источника  $E_2$ .

Рассмотрим эквивалентную схему коллекторной цепи (рис. 5.8).

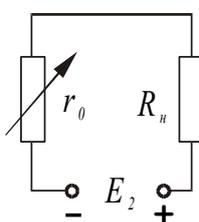


Рис. 5.8. Эквивалентная схема коллекторной цепи при включении транзистора с ОЭ

Работа усилительного каскада с транзистором происходит следующим образом. Напряжение источника  $E_2$  делится между сопротивлением нагрузки и внутренним сопротивлением транзистора  $r_0$ , которое он оказывает постоянному току коллектора. Это сопротивление приблизительно равно сопротивлению коллекторного перехода  $r_{к0}$  для постоянного тока. В действительности к сопротивлению  $r_{к0}$  еще добавляются небольшие сопротивления эмиттерного перехода, а также  $n$ - и  $p$ -областей, но эти сопротивления можно не принимать во внимание.

Если во входную цепь включается источник колебаний, то при изменении его напряжения изменяется ток эмиттера, а следовательно, сопротивление коллекторного перехода  $r_{к0}$ . Тогда напряжение источника  $E_2$  будет перераспределяться между  $R_H$  и  $r_{к0}$ . При этом переменное напряжение на резисторе нагрузки  $R_H$  может быть получено в десятки раз большим, чем входное переменное напряжение. Изменения тока коллектора почти равны изменениям тока эмиттера и во много раз больше изменений тока базы. Поэтому в данной схеме получается значительное усиление тока и очень большое усиление мощности.

Для большей наглядности рассмотрим работу усилительного каскада с транзистором на числовом примере. Пусть питающие напряжения  $E_1 = 0,2 В$  и  $E_2 = 12 В$ , сопротивление резистора нагрузки  $R_H = 4 кОм$  и сопротивление транзистора  $r_0$  при отсутствии колебаний на входе также равно  $4 кОм$ , т.е. полное сопротивление коллекторной цепи равно  $8 кОм$ . Тогда ток коллектора, который можно приблизительно считать равным току эмиттера, составляет

$$i_k = E_2 / (R_H + r_0) = 12 / 8 = 1,5 мА.$$

Напряжение  $E_2$  разделится пополам, напряжение на  $R_H$  и на  $r_0$  будет по  $6 В$ .

Пусть от источника колебаний на вход поступает переменное напряжение с амплитудой  $0,1 В$ . Максимальное напряжение на участке база – эмиттер при положительной полуволне становится равным  $0,3 В$ . Предположим, что под влиянием этого напряжения ток эмиттера возрастает до  $2,5 мА$ . Таким же практически станет и ток коллектора. Он создаст на резисторе нагрузки падение напряжения  $2,5 \cdot 4 = 10 В$ , а падение напряжения на сопротивлении  $r_0$  транзистора уменьшится до  $12 - 10 = 2 В$ . Следовательно, это сопротивление уменьшится до  $2 : 2,5 = 0,8 кОм$ .

Через полпериода, когда источник колебаний даст напряжение, равное  $-0,1 В$ , произойдет обратное явление. Минимальное напряжение база – эмиттер станет  $0,2 - 0,1 = 0,1 В$ . Токи эмиттера и коллектора уменьшатся до  $0,5 мА$ . На резисторе  $R_H$  падение напряжения уменьшится до  $0,5 \cdot 4 = 2 В$ , а на сопротивлении  $r_0$  оно возрастет до  $10 В$ . Следовательно, это сопротивление увеличится до  $10 : 0,5 = 20 кОм$ .

Таким образом, подача на вход транзистора переменного напряжения с амплитудой  $0,1 В$  вызывает изменение сопротивления от  $0,8$  до  $20 кОм$ . При этом напряжения на резисторе нагрузки и на транзисторе изменяются на  $4 В$  в ту и другую сторону (от  $10$  до  $2 В$ ). Следовательно, выходное напряжение имеет амплитуду колебаний  $4 В$ , т. е. оно в  $40$  раз больше входного напряжения. Этот числовой пример является приближенным, так как на самом деле зависимость между током коллектора и входным напряжением нелинейна.

Следующие уравнения:

$$\text{входное напряжение } u_{вх} = U_{вхм} \sin \omega t ;$$

$$\text{напряжение на участке база – эмиттер } u_{б-э} = U_{б-э0} + U_{б-эм} \sin \omega t, \quad \text{где}$$

$$U_{тб-э} = U_{твх} ;$$

ток коллектора  $i_k = I_{k0} + I_{km} \sin \omega t$ ;

напряжение на нагрузке  $u_R = U_{R0} + U_{Rm} \sin \omega t$ ,

где  $U_{Rm} = U_{\kappa-эм} = I_{km} R_H$  и  $U_{R0} = I_{k0} R_H$ ;

напряжение на выходе  $u_{вых} = u_{\kappa-э} = U_{\kappa-э0} - U_{\kappa-эм} \sin \omega t$ ,

где  $U_{\kappa-э0} = E_2 - U_{R0}$ .

### 3.1. Схемы включения транзисторов (ОБ, ОК, ОЭ)

Применяют три основные схемы включения транзисторов в усилительные или иные каскады. В этих схемах один из электродов транзистора является общей точкой входа и выхода каскада. Во избежание ошибок при этом надо помнить, что под входом (выходом) понимают точки, между которыми действует входное (выходное) переменное напряжение. Не следует рассматривать вход и выход по постоянному напряжению.

Основные схемы включения транзисторов называются соответственно схемами с *общим эмиттером (ОЭ)*, *общей базой (ОБ)* и *общим коллектором (ОК)*. Принцип усиления колебаний во всех этих каскадах одинаков, но свойства схем различны.

### 3.2. Схема с общим эмиттером (ОЭ)

Эта схема изображена на рис. 5.7 и является наиболее распространенной, т.к. она дает наибольшее усиление по мощности.

**Коэффициент усиления по току**  $k_i$  – это отношение амплитуд (или действующих значений) выходного и входного переменного тока, т. е. переменных составляющих токов коллектора и базы:

$$k_i = I_{\text{выхт}} / I_{\text{вхт}} = I_{\text{кт}} / I_{\text{бт}}.$$

Усилительные свойства транзистора при включении его по схеме ОЭ характеризует один из главных его параметров – **статический коэффициент усиления по току** (или коэффициент передачи тока) для схемы ОЭ, обозначаемый  $\beta$ . Поскольку он должен характеризовать только сам транзистор, то его определяют в режиме без нагрузки ( $R_H=0$ ), т. е. при постоянном напряжении участка коллектор-эмиттер:

$$\beta = \Delta i_k / \Delta i_b, \text{ при } u_{\text{к-э}} = \text{const}.$$

**Коэффициент усиления каскада по напряжению** равен отношению амплитудных или действующих значений выходного и входного переменного напряжения. Входным является переменное напряжение база - эмиттер  $U_{\text{б-э}}$ , а выходным - переменное напряжение на резисторе нагрузки  $U_R$ , что соответствует напряжению между коллектором и эмиттером  $U_{\text{к-э}}$ :

$$k_u = U_{\text{выхт}} / U_{\text{вхт}} = U_{R\text{т}} / U_{\text{б-эт}} = U_{\text{к-эт}} / U_{\text{б-эт}}.$$

**Коэффициент усиления каскада по мощности**  $k_p$  представляет собой отношение выходной мощности к входной. Каждая из этих мощностей определяется половиной произведения амплитуд соответствующих токов и напряжений:

$$P_{\text{вых}} = 0,5 I_{\text{выхт}} U_{\text{выхт}} = 0,5 I_{\text{кт}} U_{\text{к-эт}};$$

$$P_{\text{вх}} = 0,5 I_{\text{вхт}} U_{\text{вхт}} = 0,5 I_{\text{бт}} U_{\text{б-эт}},$$

$$\text{ПОЭТОМУ } k_p = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}} = I_{\text{выхт}} U_{\text{выхт}} / I_{\text{вхт}} U_{\text{вхт}} = k_i k_u.$$

Важной величиной для транзистора является его **входное сопротивление**, которое определяется по закону Ома. Для схемы ОЭ

$$R_{вх} = U_{вх} / I_{вх} = U_{б-э} / I_{бэ}.$$

Каскад по схеме ОЭ при усилении переворачивает фазу напряжения, т. е. между выходным и входным напряжением имеется фазовый сдвиг  $180^\circ$ .

**Достоинство схемы ОЭ** – удобство питания ее от одного источника, поскольку на коллектор и базу подаются питающие напряжения одного знака.

**Недостатки** данной схемы – худшие по сравнению со схемой ОБ частотные и температурные свойства. С повышением частоты усиление в схеме ОЭ снижается в значительно большей степени, нежели в схеме ОБ. Режим работы схемы ОЭ сильно зависит от температуры.

Схема с общей базой (ОБ)

Схема с ОБ показана на рис. 5.10. Эта схема дает значительно меньшее усиление по мощности и имеет еще меньшее входное сопротивление, чем схема ОЭ, все же ее иногда применяют, так как по своим частотным и температурным свойствам она значительно лучше схемы ОЭ.

**Коэффициент усиления по току** каскада ОБ всегда несколько меньше единицы:

$$k_i = I_{кэ} / I_{э} \approx 1,$$

.к. ток коллектора всегда лишь немного меньше тока эмиттера.

**Статический коэффициент усиления по току** (коэффициент передачи тока), для схемы ОБ обозначается  $a$ . Он определяется для режима без нагрузки ( $R_H = 0$ ), т. е. при постоянном напряжении коллектор-база:

$$\alpha = \Delta i_k / \Delta i_e, \text{ при } u_{к-б} = \text{const.}$$

Чем ближе  $a$  к  $1$ , тем лучше транзистор. Коэффициент усиления по току  $k_i$ , для каскада ОБ всегда немного меньше  $a$ , т.к. при включении  $R_H$  ток коллектора уменьшается.

**Коэффициент усиления по напряжению** определяется формулой:

$$k_u = U_{m\kappa-\delta} / U_{m\varepsilon-\delta}$$

**Коэффициент усиления по мощности**  $k_p = k_i \cdot k_u$ . Поскольку,  $k_i \approx 1$  то  $k_p \approx k_u$ .

**Входное сопротивление** для схемы ОБ:  $R_{ex} = U_{m\varepsilon-\delta} / I_{m\varepsilon}$ .

Входное сопротивление получается в десятки раз меньшим, чем в схеме ОЭ, поскольку напряжение  $U_{m\delta-\varepsilon}$  равно напряжению  $U_{m\varepsilon-\delta}$ , а ток  $I_{m\varepsilon}$  в десятки раз больше тока  $I_{m\delta}$ .

Для схемы ОБ фазовый сдвиг между выходным и входным напряжением отсутствует, т. е. фаза напряжения при усилении не переворачивается.

**Достоинство** данной схемы включения в том, что каскад по схеме ОБ вносит при усилении меньшие искажения, чем каскад по схеме ОЭ.

### 3.3. Схема с общим коллектором (ОК)

Схема с ОК показана на рис. 5.11. Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь.

Входное напряжение равно сумме переменного напряжения база-эмиттер  $u_{б-э}$  и выходного напряжения:

$$u_{вх} = u_{б-э} + u_{вых}.$$

**Коэффициент усиления по току** каскада ОК определяется по формуле:

$$k_i = I_{тэ} / I_{тб} = (I_{тк} + I_{тб}) / I_{тб} = I_{тк} / I_{тб} + 1$$

и имеет почти такое значение, как и в схеме ОЭ.

Отношение  $I_{тк} / I_{тб}$  – есть коэффициент усиления по току для схемы ОЭ.

**Коэффициент усиления по напряжению** близок к единице, причем всегда меньше ее:

$$k_u = U_{твых} / U_{твх} = U_{твых} / (U_{тб-э} + U_{твых}) < 1.$$

**Коэффициент усиления по мощности**  $k_p \approx k_i$ .

Фазового сдвига между  $u_{вых}$  и  $u_{в}$  нет, поскольку выходное напряжение совпадает по фазе с входным и почти равно ему. Данная схема включения транзистора называется **эмиттерным повторителем**. Эмиттерным потому, что резистор нагрузки включен в провод эмиттера и выходное напряжение снимается с эмиттера (относительно корпуса).

**Входное сопротивление** каскада по схеме ОК определяется по формуле

$$R_{вх} = U_{твх} / I_{твх} = (U_{тб-э} + U_{твых}) / I_{тб}.$$

**Важным достоинством** данной схемы включения является высокое входное сопротивление.

## **Заключение**

Действие транзистора можно сравнить с действием плотины. С помощью постоянного источника (течения реки) и плотины создан перепад уровней воды. Затрачивая очень небольшую энергию на вертикальное перемещение затвора, мы можем управлять потоком воды большой мощности, т.е. управлять энергией мощного постоянного источника

Срок службы полупроводниковых триодов и их экономичность во много раз больше, чем у электронных ламп. За счёт чего транзисторы нашли широкое применение в микроэлектронике — теле-, видео-, аудио-, радиоаппаратуре и, конечно же, в компьютерах. Они заменяют электронные лампы во многих электрических цепях научной, промышленной и бытовой аппаратуры.

### **Список использованных источников**

"Электронные твердотельные приборы"- Е.И. Бочаров, Г.Б. Гогоберидзе, Ю.М. Першин, К.С. Петров, А.Н. Штагер

"Руководство к лабораторным работам по курсу "Электронные твердотельные приборы (Выпуск 2)"

"Пассивные компоненты радиоэлектронной аппаратуры" - К.С.Петров