

Основные параметры полупроводниковых диодов и стабилитронов.

Прямой ток диода – ток, протекающий через диод, к которому приложено напряжение, равное 1 Вольт.

Обратный ток диода – ток, протекающий через диод, к которому приложено постоянное напряжение, равное наибольшему обратному напряжению. При этом отрицательный полюс источника напряжения присоединён к положительному выводу диода.

Среднее значение выпрямленного тока – значение тока, который может длительно протекать через диод, не вызывая изменения его параметров.

Наибольшее допустимое обратное рабочее напряжение – напряжение, которое может быть приложено к диоду в не пропускном (обратном) направлении в течении длительного времени без опасности нарушения нормальной работы диода.

Наименьшая амплитуда пробивного обратного напряжения – значение обратного напряжения, которое может кратковременно выдержать диод. При увеличении этого напряжения даже на малую величину диод выходит из строя.

Температурный коэффициент напряжения – отношение относительного изменения напряжения стабилизации к изменению температуры окружающей среды при постоянном токе стабилизации.

Динамическое сопротивление – отношение изменения напряжения на стабилитроне к изменению тока, проходящего через стабилитрон в режиме стабилизации.

Основные параметры транзисторов.

Коэффициент усиления по току – величина, показывающая во сколько раз амплитуда тока усиливаемого сигнала в выходной цепи больше амплитуды тока во входной цепи. Статический коэффициент усиления по току (при отсутствии сопротивления в выходной цепи) для схемы с общей базой обозначают символом  $\alpha$ , а для схемы с общим эмиттером -  $\beta$ . Значения  $\alpha$  и  $\beta$  связаны между собой зависимостью:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}; \beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1}.$$

Наибольшая (граничная) частота усиления по току – частота, на которой коэффициент усиления по току для схемы с общей базой уменьшается до 0,707 величины своего значения на низких частотах. Для схемы с общим эмиттером, в которой коэффициент усиления по току  $\beta$ , граничная частота определяется по формуле:

$$f_{\beta} = \frac{f_{\alpha}}{f_{\beta}}.$$

Обратный ток коллектора  $I_{КО}$  – ток, вредно влияющий на режим работы транзистора. Особенно резко возрастает при повышении температуры. У транзисторов малой и средней мощности измеряется в микроамперах, у транзисторов большой мощности – в миллиамперах.

Коэффициент шума – параметр, определяющий уровень шумов, создаваемых транзистором. Показывает, во сколько раз полная мощность шума, выделяемая на нагрузке транзистора, больше той части его мощности, которая создаётся на нагрузке только за счёт теплового шума источника сигнала. Коэффициент шума принято измерять на частоте 1000 Герц в полосе частот, равной 1 Герц, при величине активной составляющей внутреннего сопротивления источника сигнала 600 Ом. Коэффициент шума, выраженный в децибелах:

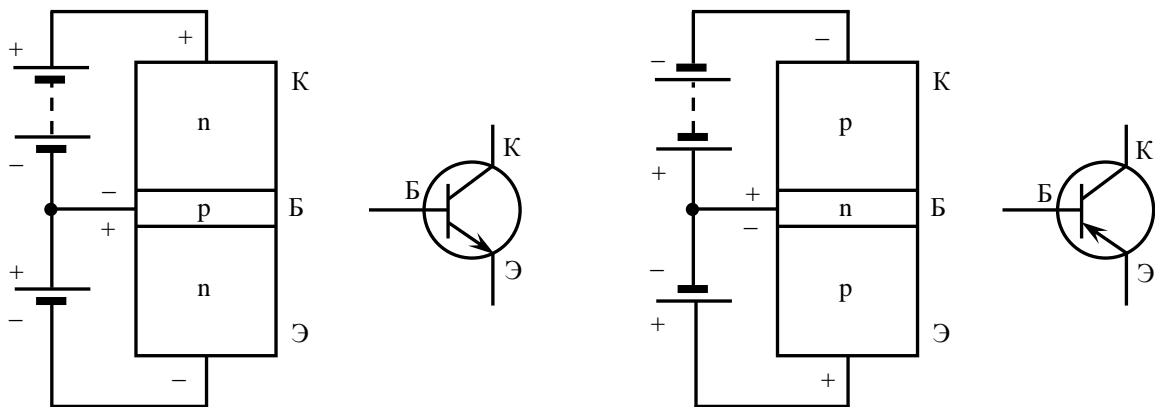
$$K_{ш} = 10 * \lg \frac{P_{ш.ВЫХ} * P_{СИГ.ВХ}}{P_{СИГ.ВЫХ} * P_{ш.ВХ}},$$

где  $P_{ш.ВЫХ}$  – мощность шума выделяемая на нагрузке транзистора,  $P_{СИГ.ВЫХ}$  – мощность сигнала, выделяемая на нагрузке транзистора,  $P_{ш.ВХ}$  – мощность тепловых

шумов, выделяемая на входе транзистора активной частью внутреннего сопротивления генератора сигнала при комнатной температуре,  $P_{\text{сиг.вх}}$  – мощность, выделяемая генератором сигнала на входном сопротивлении транзистора.

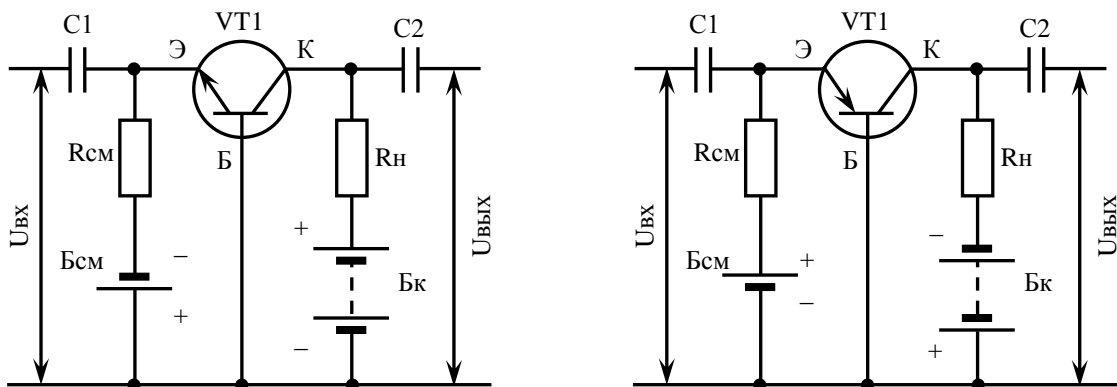
Схемы включения транзисторов с разной проводимостью.

Транзисторы выпускаются с двумя типами проводимости: р-п-р и п-р-п. Принципы работы транзисторов обоих типов аналогичны. У транзисторов с проводимостью р-п-р на коллектор и базу подаётся минус, а на эмиттер плюс источника питания (рис. 1а). У транзисторов с проводимостью п-р-п на коллектор и базу подаётся плюс, а на эмиттер минус источника питания (рис. 1б). На принципиальных схемах транзисторы с разной проводимостью различаются по направлению стрелки эмиттера, которое совпадает с направлением прямого тока эмиттера.



Основные схемы включения транзисторов.

Схема с общей базой аналогична ламповой схеме с заземлённой сеткой. Исходная рабочая точка транзистора однозначно определяется током эмиттера и напряжением на коллекторе. Выбор рабочей точки обеспечивается соответствующим выбором источников питания коллектора и эмиттера и ограничивающего ток эмиттера сопротивления  $R_{\text{Э}}$ . В цепь эмиттера вводится усиливаемый сигнал (например, при помощи трансформатора), а в цепь коллектора нагрузочное сопротивление  $R_{\text{Н}}$ .



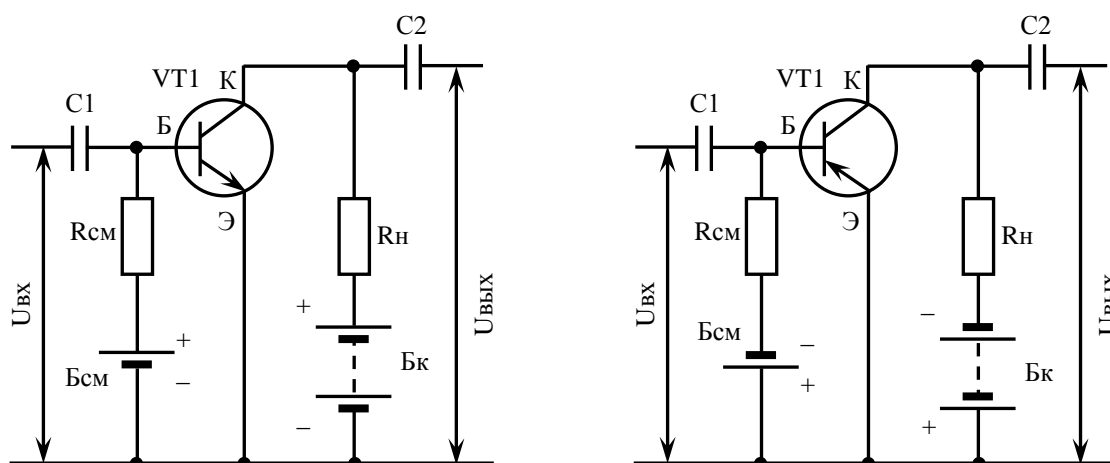
Входное сопротивление транзистора мало, так как эмиттерный переход включен в прямом направлении. Сопротивление  $R_{\text{Н}}$  берётся большим при соответствующем выборе напряжения питания коллектора. В этом случае мощность сигнала в

сопротивлении нагрузки  $R_H$  будет больше мощности, подводимой к транзистору, то есть будет происходить усиление. Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = \frac{P_H}{P_{BX}} = \frac{i_K^2 \cdot R_H}{i_E^2 \cdot R_{BX}} \approx \frac{R_H}{R_{BX}} \text{ так как } i_K \approx i_E$$

Через  $i_K$  и  $i_E$  обозначены действующие значения переменных составляющих токов коллектора и эмиттера. Для схемы с общей базой коэффициенты усиления  $\alpha$  и  $K_i$  меньше единицы, так как  $i_K < i_E$ . Усиление по напряжению и мощности, как это следует из приведённой формулы, возможно лишь при условии, что полезное сопротивление нагрузки выбрано больше входного сопротивления транзистора. Коэффициент усиления по току  $K_i$  примерно равный  $\alpha$ , всегда меньше единицы. Коэффициенты усиления схемы по напряжению и мощности достигают несколько сотен. В схеме с общей базой при усилении сохраняется фаза колебаний.

Схема с общим эмиттером аналогична ламповой схеме с общим катодом и является наиболее распространённой схемой включения транзистора. В ней сигнал так же, как и в схеме с общей базой подводится к эмиттерному переходу, включённому в прямом направлении. Однако нагрузочное сопротивление присоединено не к базе, а к эмиттеру. При этом источник усиливаемого сигнала отдаёт ток равный току базы  $i_B = i_E - i_K$ .

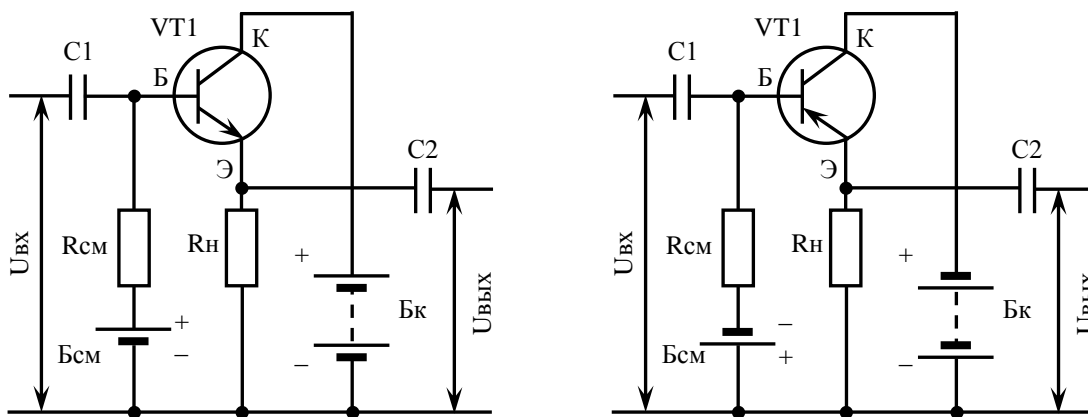


Поэтому при таком включении транзистора его входное сопротивление в десятки раз выше, чем у схемы с общей базой. Коэффициент усиления по току:

$$K_i = \frac{i_K}{i_B}$$

Выходное сопротивление этой схемы составляет десятки – сотни килом. Коэффициент усиления по току  $K_i$  в этой схеме может достигать десятков, по напряжению нескольких сотен, а коэффициент усиления по мощности – до нескольких тысяч. Важным преимуществом схемы с общим эмиттером является большое усиление при сравнительно малом входном сопротивлении, возможность питания от одного источника, так как на базу и на коллектор подаются питающие напряжения одного знака. Фаза усиливаемого переменного напряжения в этой схеме переворачивается. Однако схема с общим эмиттером имеет худшие частотные свойства по сравнению со схемой с общей базой. С повышением частоты коэффициент усиления такой схемы снижается быстрее, чем коэффициент усиления схемы общей базой.

Схема с общим коллектором по своим свойствам подобна схеме катодного повторителя на электронной лампе. Поэтому её часто называют эмиттерным повторителем. Коэффициент усиления по напряжению в этой схеме меньше единицы ( $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$ ). Входное сопротивление особенно велико (достигает единиц мегаом). Выходное сопротивление мало (десятки Ом). Схему с общим коллектором можно питать от одного источника, так как знаки питающих напряжений базы и коллектора одинаковы.



Основным преимуществом схемы с общим коллектором являются большое входное сопротивление и усиление по току, причём фаза переменного напряжения при усилении не меняется.

Сравнительные характеристики трёх схем включения транзисторов.

Характеристика схемы	Схема включения транзистора		
	С общей базой	С общим эмиттером	С общим коллектором
Входное сопротивление	30 – 100 Ом (малое)	0,4 – 20 кОм (среднее)	5 – 200 кОм (большое)
Выходное сопротивление	0,2 – 1 Мом (большое)	25 – 100 кОм (среднее)	30 – 10 000 Ом (малое)
Коэффициент усиления по току	1	10 – 100	10 – 100
Коэффициент усиления по напряжению	1000 – 5000	1000 – 5000	1
Коэффициент усиления по мощности	30 дБ (среднее)	40 дБ (большое)	15 дБ (малое)

В таблице приведены сравнительные характеристики трёх схем включения транзисторов. В отличие от ламповых схем усиление каскада на транзисторах оценивают коэффициентом усиления по мощности.

Стабилизация режима транзистора.

Правильный выбор режима транзистора по постоянному току и сохранение постоянства этого режима в диапазоне температур окружающей среды (стабилизация рабочей точки) определяют надёжную и качественную работу транзисторного каскада.

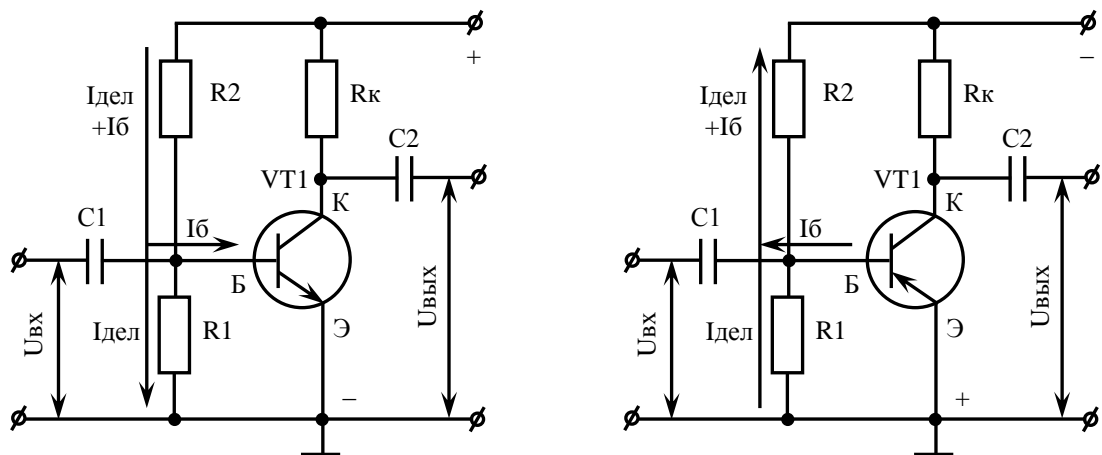
Обратный ток коллектора  $I_{КО}$ . Основными токами, протекающими через транзистор, являются: ток базы  $I_B$ , ток эмиттера  $I_E$  и ток коллектора  $I_C$ . Дополнительно через коллекторный переход протекает обратный ток коллекторного перехода  $I_{КО}$ , вредно влияющий на его работу. Величина обратного тока коллектора при комнатной температуре ( $20^\circ\text{C}$ ) в зависимости от транзистора относительно невелика, но при повышенных температурах ток  $I_{КО}$  возрастает в десятки, сотни и даже тысячи раз. При работе транзистора ток  $I_{КО}$  увеличивает общий ток коллектора и создаёт дополнительное постоянное напряжение на сопротивлении  $R_K$ , снижая усиление каскада. В этом случае напряжение между эмиттером и коллектором значительно уменьшается, вследствие чего появляются существенные нелинейные искажения при больших величинах сигнала.

Обратный ток коллектора сильно зависит от температуры нагрева транзистора. Практически определено, что при изменении температуры нагрева на каждые  $9 - 10^\circ\text{C}$  ток  $I_{КО}$  увеличивается в среднем в два раза. С увеличением температуры (более  $50^\circ\text{C}$ ) ток коллектора увеличивается лавинообразно и транзистор может выйти из строя.

Для устранения изменения тока коллектора от изменений температуры необходимо установить транзистору такой режим, при котором обратный ток коллектора не зависел бы от температуры нагрева. То есть необходимо стабилизировать рабочую точку. Стабилизация заключается в поддержании постоянной величины тока коллектора при изменении температуры нагрева транзистора. В зависимости от методов стабилизация бывает базовой, эмиттерной, коллекторной и комбинированной.

Базовая стабилизация.

Схема с делителем базового напряжения показана на рис. . Схема транзисторного усилителя с базовой стабилизацией рабочей точки.



Стабилизация осуществляется за счёт постоянства базового напряжения на делителе ( $U_B = \text{const}$ ) независимо от температурных колебаний. Эффективность стабилизации зависит от величины тока делителя  $R1R2$  и определяется условием, при котором ток делителя должен быть не менее чем в десять раз больше тока базы:  $I_{ДЕЛ} \geq 10 \cdot I_B$ .

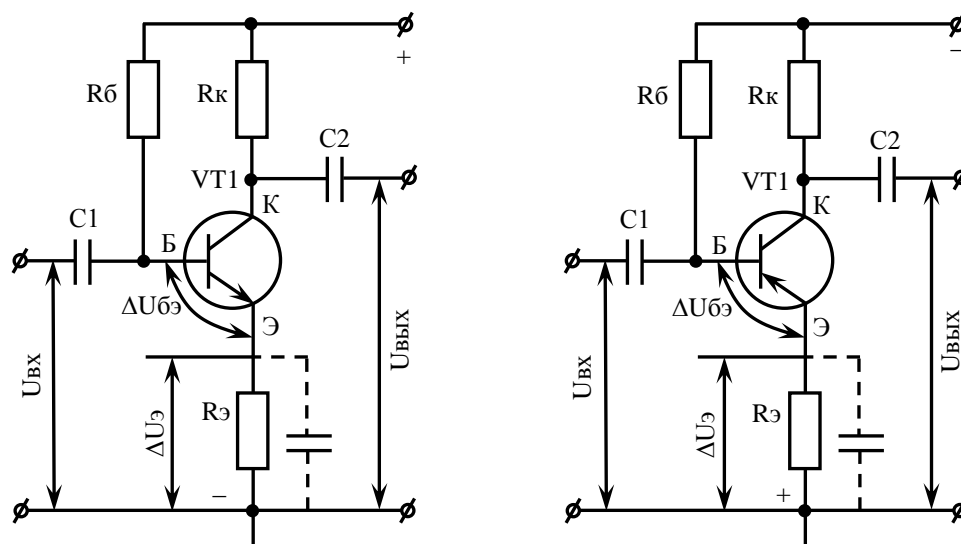
Сущность базовой стабилизации рабочей точки заключается в том, что отрицательное напряжение смещения на базе транзистора независимо от колебаний тока базы остаётся постоянным. Через сопротивление  $R2$  протекают ток делителя и ток базы. Если ток делителя по сравнению с током базы велик, то даже при больших

изменениях величины тока базы общий ток, протекающий через сопротивление  $R_2$ , и падение напряжения на нём изменяются мало. Следовательно, отрицательный потенциал на базе, подаваемый с делителя  $R_1R_2$ , будет изменяться в незначительных пределах, и рабочая точка транзистора практически смещаться не будет. Если ток делителя относительно тока базы мал, то колебания тока базы будут значительно изменять общий ток в сопротивлении  $R_2$ . Падение напряжения на делителе будет сильно изменяться, и отрицательный потенциал на базе не будет постоянен. Следовательно, условием эффективной базовой стабилизации является установление по возможности большого тока базового делителя.

Рекомендуется применять базовый делитель с возможно малым сопротивлением  $R_1$ , шунтирующим эмиттерный переход транзистора. Если делителя нет обратный ток коллектора  $I_{КО}$ , проходя через цепь эмиттера, увеличивает эмиттерный ток, в результате чего появляется дополнительное нежелательное усиление коллекторного тока. При включении сопротивления  $R_1$  создаются две ветви для прохождения обратного тока коллектора, и чем меньше это сопротивление, тем большая часть тока  $I_{КО}$  пройдёт через него.

Эмиттерная стабилизация.

Схема с последовательной обратной связью по постоянному току, создаваемая сопротивлением  $R_3$  в цепи эмиттера показана на рис.

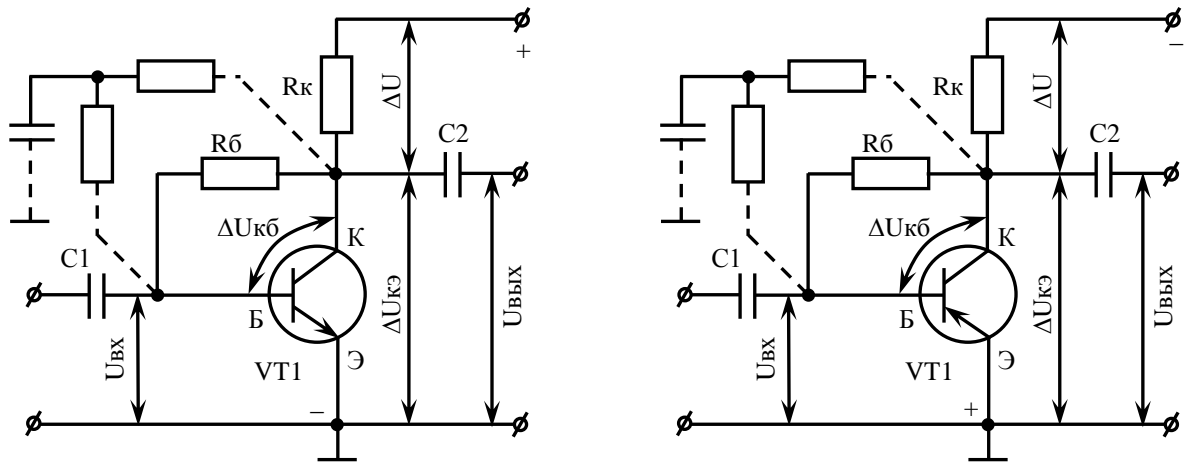


Стабилизация осуществляется за счёт изменения падения напряжения  $\Delta U_{БЭ}$  на эмиттерном переходе ( $r_э$ ). Эффективность стабилизации рабочей точки определяется величиной сопротивления в цепи эмиттера  $R_э$ . Эмиттерная стабилизация происходит следующим образом. Ток базы протекает последовательно через сопротивление смещения  $R_Б$ , перехода база – эмиттер  $r_БЭ$  и  $R_э$  и зависит от напряжения между базой и эмиттером. При увеличении температуры нагрева транзистора вследствие роста тока  $I_{КО}$ , ток коллектора  $I_к$  будет увеличиваться. Так как  $I_э = I_к + I_б$ , при увеличении тока коллектора возрастает ток эмиттера и, следовательно, увеличивается падение напряжения  $\Delta U_э$  на сопротивлении  $R_э$ . Вследствие увеличения этого напряжения напряжение на переходе эмиттер – база ( $\Delta U_{БЭ}$ ) уменьшится, так как напряжение смещения на базе постоянно. При этом уменьшится управляющий ток базы. Эмиттерный переход будет закрываться, в результате чего уменьшится коллекторный ток. При уменьшении температуры нагрева транзистора ток коллектора  $I_к$  уменьшается. В результате этого уменьшается ток эмиттера  $I_э$  и падение напряжения  $\Delta U_э$  на сопротивлении  $R_э$ . При этом возрастут напряжение на эмиттерном переходе

$\Delta U_{БЭ}$  и соответственно и управляющий ток базы. Эмиттерный переход будет открываться и увеличивать коллекторный ток. В результате изменения температуры нагрева транзистора ток цепи коллектора будет стремиться к постоянному значению. Если на вход схемы подаётся переменное напряжение возбуждения. То на сопротивлении  $R_Э$  дополнительно появляется падение переменного напряжения  $U_Э$ , являющееся напряжением отрицательной обратной связи. Это напряжение через источник сигнала подаётся на базу транзистора, вследствие чего снижается усиление каскада, но расширяется полоса усиливаемых частот. Для устранения отрицательной обратной связи по переменному ток, чтобы усиление каскада осталось неизменным, параллельно сопротивлению  $R_Э$  включается конденсатор большой ёмкости (в большинстве случаев электролитический). Недостатком эмиттерной стабилизации рабочей точки является неполное использование напряжения источника питания, часть которого падает на сопротивлении  $R_Э$ .

Коллекторная стабилизация.

Схема с параллельной обратной связью по постоянному напряжению, создаваемой сопротивлением  $R_К$  в цепи коллектора показана на рис.

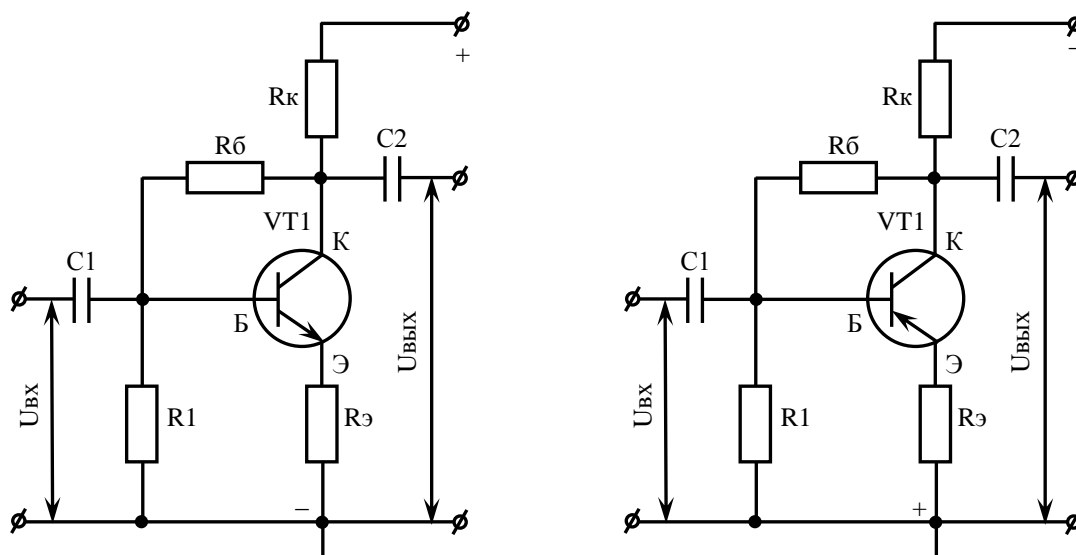


Стабилизация осуществляется изменением падения напряжения на коллекторном переходе ( $\Delta U_{КБ}$ ). Эффективность стабилизации определяется величиной сопротивления  $R_К$ . Стабилизация рабочей точки заключается в следующем. Ток базы  $I_Б$  протекает последовательно через сопротивления  $R_К$ ,  $R_Б$  и переход эмиттер – база. В этой схеме ток базы в значительной степени зависит от напряжения на коллекторном переходе между выводами коллектора и базы ( $\Delta U_{КБ}$ ), приложенного к сопротивлению  $R_Б$ . При увеличении температуры нагрева транзистора вследствие роста тока  $I_{К0}$ , ток коллектора  $I_К$  увеличивается. На сопротивлении  $R_К$  увеличивается падение напряжения  $\Delta U_К$  уменьшается. Соответственно уменьшается и напряжение на сопротивлении  $R_Б$ . Ток базы станет меньше и отрицательный потенциал на базе уменьшится. Переход база – эмиттер будет закрываться, в результате чего ток коллектора уменьшится. При уменьшении температуры нагрева транзистора ток коллектора уменьшается. Падение напряжения на  $R_К$  уменьшается, вследствие чего отрицательный потенциал на коллекторе  $\Delta U_К$  относительно эмиттера увеличится, и напряжение на переходе база – коллектор возрастёт. Вследствие увеличения напряжения на сопротивлении  $R_Б$  увеличится базовый ток. Возрастающий отрицательный потенциал на базе будет открывать переход эмиттер – база, поэтому ток коллектора увеличится. В результате изменения температуры нагрева транзистора ток в цепи коллектора будет стремиться к постоянному значению. Если на вход схемы, показанной на рис, подаётся переменное напряжение возбуждения, то с коллектора через сопротивление  $R_Б$  на базу транзистора подаётся напряжение отрицательной обратной связи, которое снижает усиление

каскада, но расширяет диапазон усиливаемых частот. Для сохранения усиления каскада отрицательную обратную связь по переменному току можно устранить, разделив сопротивление  $R_B$  на две части и соединив среднюю точку с эмиттером через конденсатор (штриховое подключение на рис).

Комбинированная стабилизация.

Схема с базовой, эмиттерной и коллекторной стабилизацией, имеющая соответственно все качества этих видов стабилизации показана на рис.



Эффективность стабилизации рабочей точки велика и близка к 1. Комбинированную стабилизацию рекомендуется применять во всех схемах транзисторных усилителей низкой частоты на сопротивлениях. Схем охвачена сильной обратной связью по переменному току со стороны эмиттера  $R_E$  и коллектора  $R_B$  и имеет малые частотные и нелинейные искажения в усиливаемой полосе частот. Коэффициент температурной нестабильности  $S_T$  токов  $I_K$  и  $I_{K0}$  показывает, во сколько раз температурное изменение тока коллектора  $I_K$  больше, чем соответствующее температурное изменение обратного тока коллектора  $I_{K0}$ :

$$S_T = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_{K0}}$$

Величина температурной нестабильности зависит от величин элементов транзисторных схем и методов температурной стабилизации рабочей точки. В простейших схемах при отсутствии температурной стабилизации рабочей точки нестабильность  $S_T$  будет наибольшая:

$$\Delta I_K = \Delta I_{K0} \cdot (\beta + 1) \quad \text{и} \quad S_T = S_{T.\text{наиб.}} = \beta + 1$$

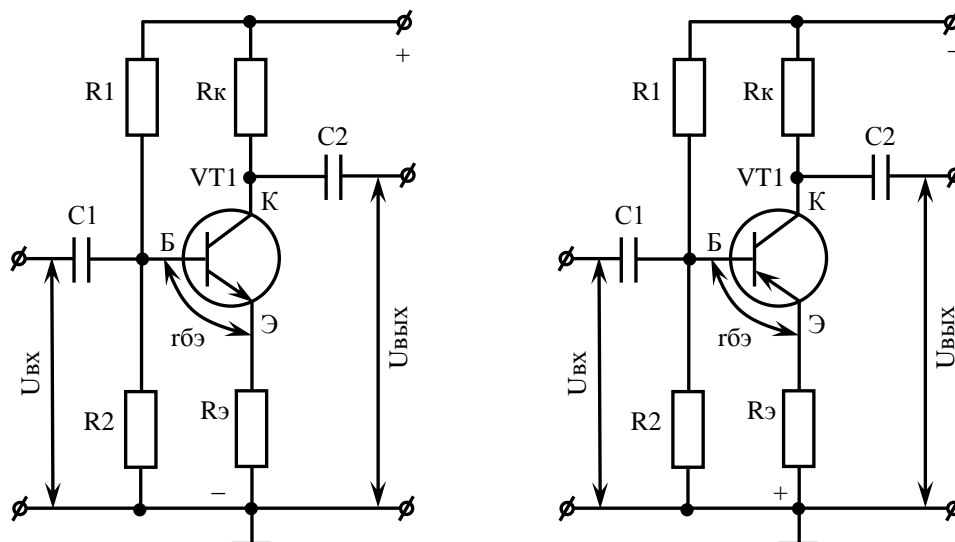
В комбинированных схемах температурной стабилизации рабочей точки при соответствующем выборе элементов каскадов нестабильность будет наименьшая:

$$\Delta I_K = \Delta I_{K0} \quad \text{и} \quad S_T = S_{T.\text{наим.}} = 1$$

Транзисторные схемы с большим входным сопротивлением

Входное сопротивление транзисторного усилителя нагружает выходную цепь предыдущего каскада, шунтируя её в диапазоне усиливаемых частот. Сильно шунтирующими элементами каскада по переменному току в основном являются: переход эмиттер – база ( $r_{БЭ}$ ) с сопротивлением в цепи эмиттера  $R_E$  и сопротивления базового делителя, включённые параллельно цепи эмиттера и базы (рис.)

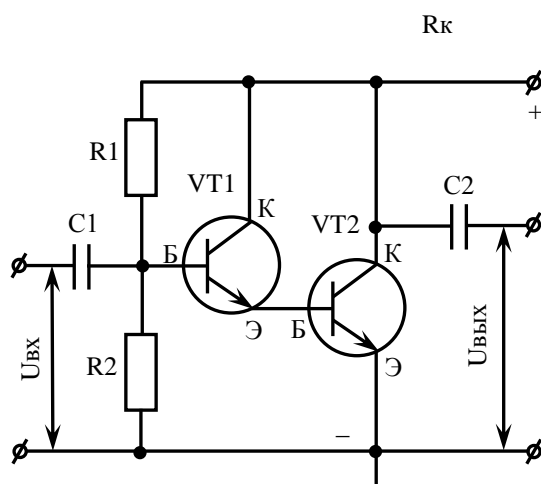




Цепь эмиттера задаётся при расчёте. Сопротивление базового делителя, шунтирующее входную цепь транзистора, может быть различным в зависимости от требований к стабилизации рабочей точки транзистора. Во всех случаях рекомендуется стремиться к увеличению тока протекающего через делитель. При этом обеспечивается хорошая температурная стабилизация и снижается сопротивление базового делителя. В мощных выходных каскадах, где токи коллектора достигают больших величин, токи базы также имеют большую величину, и базовая цепь транзистора сильно шунтирует источник сигнала. Следовательно, увеличение входного сопротивления транзистора по переменному току можно получить, увеличив сопротивление или базовой цепи (эмиттерного перехода), или базового делителя (что нежелательно). Имеется несколько способов получения большого входного сопротивления транзистора по переменному току, два из которых приводятся в следующих схемах.

Схема с составным транзистором.

В мощных оконечных каскадах усилителей низкой частоты, где необходим маломощный источник сигнала, широко применяется схем с составным транзистором.



Базовый ток транзистора VT2 является током эмиттера транзистора VT1. Ток базы:

$$I_B \approx \frac{I_K}{\beta} \approx \frac{I_{Э}}{\beta},$$

где  $\beta$  – коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером. Ток базы первого транзистора:

$$I_B = \frac{I_{K2}}{\beta_1 \cdot \beta_2}$$

Составляет малую величину. Следовательно, сопротивление базовой цепи большое. Сопротивление входа определяется как отношение

$$\frac{U_{Б1}}{I_{Б1}}$$

Если необходимо, можно выполнить составной транзистор из нескольких транзистора, тогда величина входного тока:

$$I_{Б1} \approx \frac{I_{Kn}}{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \dots \beta_n}$$

Если последний транзистор мощный, то предварительные транзисторы могут быть маломощными, так как их коллекторные токи определяются величиной тока базы последующего транзистора.

Схема с обратной связью.

В усилителях, имеющих базовые делители напряжения. Предназначенные для температурной стабилизации рабочей точки транзистора. Применяются схемы с обратной связью. Низкое входное сопротивление по переменному току в обычной схеме определяется в основном двумя низкоомными цепями: сопротивлениями R1 и R2 и сопротивлением эмиттерного перехода  $r_{БЭ}$  плюс  $R_{Э}$ . При отсутствии базового делителя входное сопротивление схемы определяется в основном только сопротивление эмиттерного перехода, величина которого для переменного тока равна:

$$r_B + \beta \cdot r_{Э}$$

В случае применения базового делителя эмиттерный переход сильно шунтируется сопротивлениями R1 и R2, которые соизмеримы с сопротивлением эмиттерного перехода. Для устранения шунтирующего действия сопротивлений R1 и R2 в схему вводится дополнительное сопротивление R3 в точку А. Так как переменные напряжения на базе и эмиттере синфазны, то к сопротивлению R3 через конденсатор С3 приложено переменное напряжение, падающее на переходе эмиттер – база и равное разности  $U_{Б-} - U_{Э-}$  ( $U_{БЭ-}$ ). Обычно это напряжение мало, порядка десятых долей Вольта, поэтому и переменный ток, проходящий через сопротивление R3, относительно мал и равен:

$$\frac{U_{Б-} - U_{Э-}}{R3}, \text{ то есть } \frac{U_{БЭ-}}{R3}$$

Сопротивление R3 для переменного тока источника сигнала в этом случае оказывается велико, хотя для постоянного тока базы остаётся прежним. В итоге сопротивление перехода эмиттер – база по переменному току возрастает. На практике в усилителях низкой частоты с узкой полосой усиливаемых частот, при небольших токах коллектора, вместо входного сопротивления в несколько кОм, при использовании описанной схемы, можно получить входное сопротивление по переменному току порядка десятков и даже сотен кОм. В широкополосных усилителях низкой частоты (до 200 кГц) входное сопротивление по переменному току можно получить до 20 – 50 кОм вместо 1 – 2 кОм.

Широкополосные транзисторные каскады на сопротивлениях.

Приводимые в справочнике (имеется ввиду справочник по электронным приборам Д. С. Гурлев изд. «Техника» Киев, 1966 год) данные граничной частоты усиления по току  $f_\alpha$  относятся к схеме общей базой при коэффициенте усиления в статическом режиме, равном примерно единице, и гарантированы для режима, указанного в «электрических данных». Эти данные характеризуют усилительные свойства только самого транзистора. Для схемы с общим эмиттером граничная частота усиления уменьшается в  $\beta$  раз:

$$f_\beta \approx \frac{f_\alpha}{\beta}$$

Например, если для транзистора указана граничная частота усиления по току  $f_\alpha$ , равная 2000 кГц, то в схеме с общим эмиттером при  $\beta = 40$  граничная частота усиления:

$$f_\beta \approx \frac{f_\alpha}{\beta} = \frac{2000}{40} = 50 \text{ кГц}$$

Из этой формулы следует, что транзисторы с малым значением  $\beta$  являются более широкополосными, чем транзисторы с большим  $\beta$ . Из нескольких транзисторов, имеющих равные граничные частоты, но с различными коэффициентами усиления по току  $f_\beta$ , наиболее широкополосным будет транзистор, который имеет меньший коэффициент усиления по току. Величины  $f_\alpha$  и  $f_\beta$  характеризуют усилительные свойства только самого транзистора в статическом режиме, а усилительные свойства транзисторного каскада, собранного на сопротивлениях, зависит от рационального выбора величин сопротивлений схемы и от величины сопротивления источника сигнала. Динамический коэффициент усиления каскада с общим эмиттером зависит в основном от величин коллекторного  $R_K$  и эмиттерного  $R_\Sigma$  сопротивлений. Чем больше  $R_K$  и чем меньше  $R_\Sigma$ , тем больше динамический коэффициент усиления каскада, но тем меньше динамическая полоса усиливаемых частот. Широкополосность усилительного каскада с общим эмиттером, то есть его граничная частота усиления  $f_{ГП}$  определяется отношением граничной частоты усиления транзистора  $f_\beta$  к коэффициенту усиления каскада  $K$ :

$$f_{ГП} = \frac{f_\beta}{K}$$

Зная статическую величину граничной частоты усиления по току транзистора  $f_\beta$  в схеме с общим эмиттером, можно с практической точностью определить динамическую граничную частоту усиления каскада  $f_{ГП}$  при заданном динамическом коэффициенте усиления каскада  $K$ , и наоборот:

$$K = \frac{f_\beta}{f_{ГП}} \quad f_\beta = K \cdot f_{ГП},$$

Зависимость динамического коэффициента усиления каскада с общим эмиттером от величин  $R_K$  и  $R_\Sigma$  ориентировочно можно определить следующим образом:

$$K \approx \frac{R_K}{R_\Sigma}$$

В некоторых случаях коэффициент усиления по току  $\beta$  приводится для какой – либо одной заданной частоты и характеризуется модулем  $|\beta|$  - абсолютной величиной на этой частоте. На частотах, больших заданной в 2 – 3 раза, коэффициент усиления по току  $\beta$  будет меньше модуля по величине также в 2 – 3 раза, то есть обратно пропорциональным частот. На частотах, меньших заданной в 2 – 3 раза, это соотношение выполняется с достаточной точностью, то есть значение  $\beta$  увеличивается в 2 – 3 раза. На частотах, находящихся за пределами в 2 – 3 раза меньшими модуля  $|\beta|$  или в 2 – 3 раза большими модуля  $|\beta|$ , величина  $\beta$  изменяется непропорционально частоте.

Частотные свойства транзисторов также характеризуются частотой генерации. То есть той наибольшей (или предельной) частотой, на которой транзисторный автогенератор генерирует устойчиво.

Для автогенерации необходимо условие, при котором коэффициент усиления по мощности превышает единицу, поэтому наибольшая частота генерации транзистора равна наибольшей частоте усиления транзистора по мощности. Под частотой генерации  $f_{ген}$  понимается наибольшая частота усиления по мощности, при которой коэффициент усиления транзистора по мощности уменьшается до единицы. В общем случае ориентировочно  $f_{ген} \approx f_{\alpha}$ . Для разных транзисторов наибольшая частота генерации  $f_{ген}$  может быть равна, меньше или больше наибольшей частоты усиления по току  $f_{\alpha}$ . Наибольшую частоту генерации можно рассчитать по формуле:

$$f_{ген} = \sqrt{\frac{f_{\alpha}}{30 \cdot r_B \cdot C_K}},$$

где  $r_B$  – сопротивление базового перехода на высокой частоте, Ом;  $C_K$  – наибольшая ёмкость коллекторного перехода, пФ.

Иногда произведение  $r_B C_K$  называют постоянной времени цепи обратной связи, то есть цепи перехода база – коллектор.

Справочник по электронным приборам. Д. С. Гурлев. Издательство «Техніка» Киев, 1966 год.