

Работа 2.4. Усилительный каскад на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером

Схема усилительного каскада, в котором транзистор включен по схеме с общим эмиттером, а для стабилизации рабочей точки используется отрицательная обратная связь по току, показана на рис. 2.4.1.

Конденсаторы C_1 и C_2 являются разделительными: C_1 препятствует связи по постоянному току источника входного сигнала и усилителя, а C_2 служит для разделения по постоянному току коллекторной цепи и нагрузки. Емкости C_1 и C_2 выбирают такими, что на частоте переменной составляющей их сопротивлением можно было пренебречь. Резистор R_{Γ} учитывает внутреннее сопротивление источника сигнала. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения, определяющий положение рабочей точки эмиттерного перехода.

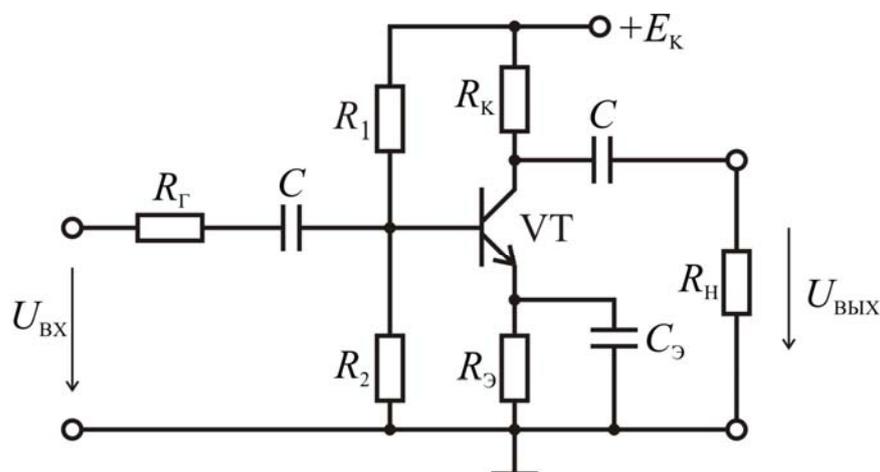


Рис. 2.4.1

Резистор в цепи коллектора преобразует изменение тока коллектора в выходное напряжение. На выходе цепи включен резистор нагрузки $R_{\text{н}}$, с которого снимается усиленный сигнал.

Резистор $R_{\text{э}}$ является цепью отрицательной обратной связи. Конденсатор в цепи эмиттера шунтирует резистор $R_{\text{э}}$. Ёмкость этого конденсатора выбирают такой, чтобы на частоте сигнала $X_{\text{э}} = \frac{1}{\omega C_{\text{э}}} \ll R_{\text{э}}$. За счёт этого увеличивается коэффициент усиления переменной составляющей.

Поскольку в схеме действуют источники переменного (источник сигнала на входе) и постоянного напряжения, для расчета используем метод наложения. Проанализируем цепь отдельно для постоянной и переменной составляющих. Напомним, что анализ по постоянной составляющей

называют анализом в режиме большого сигнала, а по переменной составляющей – анализом в режиме малого сигнала.

Анализ для постоянной составляющей. В схеме на рис. 2.4.1 заменим источник переменного сигнала $e_{вх}$ коротким замыканием, а конденсаторы – разрывом. Схема замещения для постоянной составляющей показана на рис. 2.4.2.

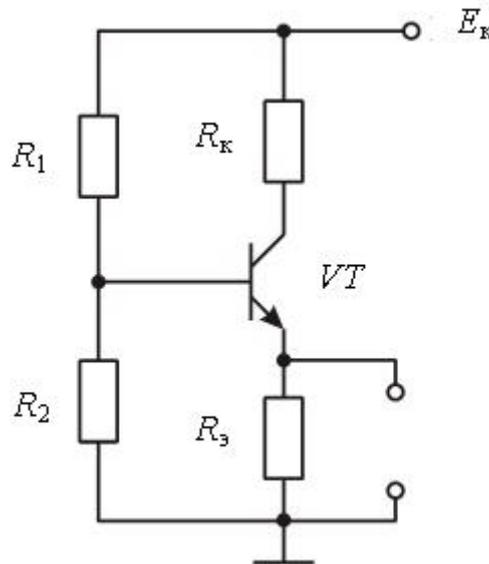


Рис. 2.4.2

Заменяв транзистор моделью для режима большого сигнала, определим постоянные составляющие тока коллектора I_k и напряжения $U_{кэ}$, следовательно, и режим работы транзистора.

Расчетная схема для определения токов коллектора и эмиттера показана на рис. 2.4.3. Транзистор заменен моделью для активного режима. Делитель напряжения, образованный резисторами R_1 , R_2 , заменен эквивалентной схемой Тевенина. Здесь

$$E_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_k, \quad R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Ток базы

$$I_0 = \frac{E_0 - E_0}{R_0 + R_3(\beta + 1)}.$$

Ток коллектора

$$I_k = \beta I_0 = \frac{\beta(E_0 - E_0)}{R_0 + R_3(\beta + 1)}.$$

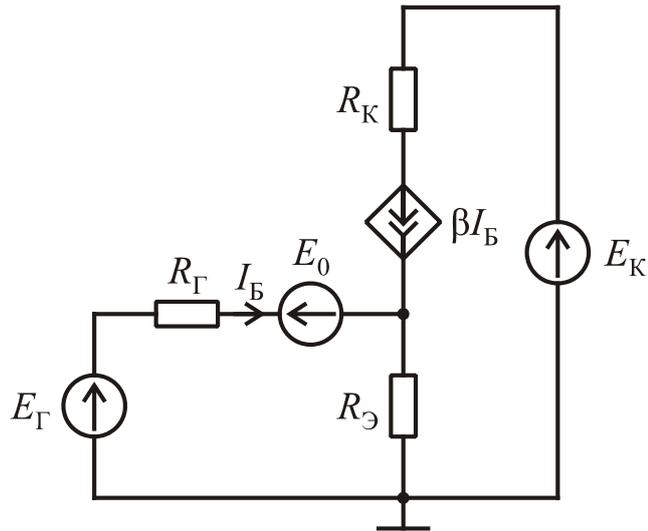


Рис. 2.4.3

Из последнего выражения следует, что изменение тока коллектора пропорционально изменению $E_6 - E_0$. Источник E_0 моделирует напряжение эмиттерного перехода U_{63} , смещенного в прямом направлении. Влияние изменений напряжения U_{63} на ток коллектора будет невелико, если выполняется условие

$$E_6 \gg U_{63}. \quad (2.4.1)$$

Однако увеличение напряжения E_6 при заданном напряжении питания E_K приводит к уменьшению размаха выходного напряжения, если схема используется в качестве усилителя.

Для того чтобы ток коллектора был нечувствителен к изменениям β , должно выполняться условие

$$R_3 \gg \frac{R_6}{\beta + 1}. \quad (2.4.2)$$

Из условия (2.4.2) следует, что для уменьшения чувствительности I_K к вариациям β необходимо уменьшать сопротивления резисторов R_1 и R_2 . Однако при этом увеличивается ток через делитель $R_1 - R_2$. Следовательно, увеличатся и потери в цепи.

Рассмотрим подробнее влияние резистора в цепи эмиттера на стабилизацию рабочей точки транзистора. Резистор R_3 в схеме на рис. 2.4.2 является цепью отрицательной обратной связи. Предположим, что по какой-либо причине ток эмиттера увеличился. Это приведет к увеличению падения напряжения на резисторе R_3 , так как $U_3 = R_3 I_3$. Если выполняется условие (2.4.2), напряжение базы останется прежним. Следовательно, напряжение

эмиттерного перехода $U_{\text{бэ}} = U_{\text{б}} - U_{\text{э}}$ уменьшится, что приведет к уменьшению $I_{\text{э}}$. Таким образом, отрицательная обратная связь стабилизирует ток эмиттера, делает его нечувствительным к вариациям напряжения $U_{\text{бэ}}$ и коэффициента β .

Анализ по переменной составляющей. Исключим из схемы источник постоянного напряжения $E_{\text{к}}$, заменив его коротким замыканием. Верхние зажимы резисторов R_1 и R_2 окажутся заземленными, поэтому R_1 и R_2 , $R_{\text{к}}$ и $R_{\text{н}}$ соединены параллельно. Емкости конденсаторов выбирают такими, чтобы их сопротивление на частоте переменной составляющей было мало по сравнению с сопротивлениями резисторов. Поэтому зажимы конденсаторов закоротим. Заменив транзистор малосигнальной моделью, получим эквивалентную схему усилителя для режима малого сигнала (рис. 2.4.4). Здесь

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Резистор в цепи эмиттера зашунтирован малым сопротивлением конденсатора $C_{\text{э}}$, поэтому отрицательная обратная связь по переменной составляющей отсутствует.

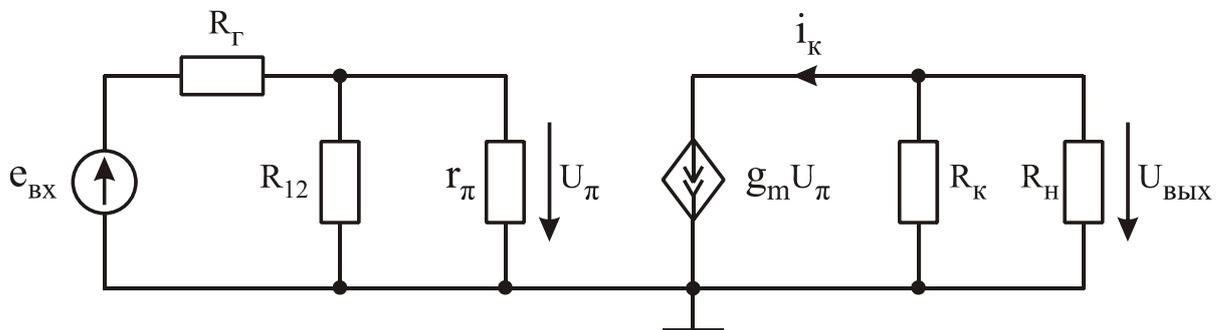


Рис. 2.4.4

Входное сопротивление схемы

$$R_{\text{вх}} = r_{\pi} \parallel R_{12}.$$

Входное сопротивление схемы с общим эмиттером невелико и не превышает нескольких кОм.

Определим выходное напряжение эквивалентной схемы усилителя. Резисторы $R_{\text{Г}}$, R_{12} и r_{π} образуют делитель напряжения, поэтому

$$u_{\pi} = \frac{r_{\pi} \parallel R_{12}}{R_{\text{Г}} + r_{\pi} \parallel R_{12}} e_{\text{вх}}.$$

Выходное напряжение схемы на рис. 2.4.4

$$u_{\text{ВЫХ}} = -g_m R_k \parallel R_H u_\pi = -\frac{g_m R_{\text{ВХ}}}{R_\Gamma + R_{\text{ВХ}}} R_k \parallel R_H e_{\text{ВХ}}. \quad (2.4.1)$$

Если сопротивление источника сигнала невелико, напряжение $u_\pi \approx e_{\text{ВХ}}$, и формулу (2.4.1) можно упростить:

$$u_{\text{ВЫХ}} = -g_m R_k \parallel R_H e_{\text{ВХ}}.$$

Коэффициент усиления переменной составляющей напряжения

$$K_U = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{e_{\text{ВХ}}} = -g_m R_k \parallel R_H. \quad (2.4.2)$$

Знак минус в последнем выражении указывает на то, что входной и выходной сигналы находятся в противофазе.

Определим коэффициент усиления тока схемы с общим эмиттером. При $R_H \ll R_k$ выходной ток

$$i_{\text{ВЫХ}} = -i_k = -g_m R_{12} \parallel r_\pi i_{\text{ВХ}}.$$

Коэффициент усиления переменной составляющей тока

$$K_i = \frac{i_{\text{ВЫХ}}}{i_{\text{ВХ}}} = -g_m R_{12} \parallel r_\pi \approx -g_m r_\pi = -\beta.$$

Это максимальный коэффициент усиления тока, который может быть получен в режиме короткого замыкания выходных зажимов, при $R_H = 0$. В большинстве случаев $|K_i| < \beta$ за счет того, что часть выходного тока замыкается через резистор R_k .

Итак, схема с общим эмиттером обеспечивает усиление как по напряжению, так и по току. Она имеет невысокое входное (сотни ом – десятки килоом) и относительно большое выходное сопротивления (единицы – десятки килоом). В многокаскадных усилителях схему с общим эмиттером используют для получения требуемого коэффициента усиления напряжения.

Рекомендации по сборке схемы

При сборке схемы усилителя можно использовать модели *n-p-n* транзисторов Q2N3904 или Q2N2222 из библиотеки EVAL.slb. Примеры схем можно найти в файлах W2_4_1, W2_4_2 в папке Electronics\Labs.

Рекомендуемая литература

1. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
2. Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 384 с.: ил.
3. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
4. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. – 6-е изд. – М.: Мир, 2003. – 704 с., ил.
5. Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 252 с.