

2. Транзисторные усилительные каскады (расчет по постоянному току)

Введение

Приведенные ниже задачи связаны с расчетами простейших усилительных каскадов по постоянному току. Для их успешного решения необходимо знать следующее.

Транзисторы в усилительных каскадах работают в активном режиме, который характеризуется тем, что эмиттерный переход транзисторов открыт, а коллекторный - закрыт. На открытом эмиттерном переходе кремниевого транзистора падает напряжение, равное примерно 0,6 В, а величина запирающего напряжения коллекторного перехода выбирается из условия получения необходимого выходного напряжения.

Если в условиях задачи не сформулированы требования к постоянному току, протекающему через транзистор, и напряжению на его коллекторном переходе, то величина эмиттерного тока $I_э$ и напряжения на коллекторном переходе выбираются номинальными, т. е. такими, которые рекомендуются в справочнике.

Следует также учитывать, что токи в транзисторе, работающем в активном режиме, связаны следующими соотношениями:

$$I_э = I_к + I_б, I_к = \beta I_б, I_э = (1 + \beta) I_б,$$

где $I_э, I_к, I_б$ - соответственно эмиттерный, коллекторный и базовый токи, а β - коэффициент усиления базового тока, причем, как правило, $\beta \gg 1$.

Задача 2.1. Рассчитать режим простейшего усилительного каскада с общим эмиттером, схема которого приведена на рис. 2.1. При расчете учесть, что $R_б = 910$ кОм, $R_к = 5,1$ кОм, $E = 10$ В, а $\beta = 100$ и при изменении температуры β возрастает до 150 (что вполне вероятно).

Решение. 1. Для определения базового тока можно составить следующее уравнение $E - U_{бэ} = I_б R_б$.

Поскольку эмиттерный переход транзистора открыт и $U_{бэ} \approx 0,6$ В, получим

$$I_б = \frac{E - U_{бэ}}{R_б} \approx 10 \text{ мкА.}$$

2. Определим коллекторный ток

$$I_к = \beta I_б = 1 \text{ мА.}$$

3. Определим напряжение на коллекторе

$$U_к = E - I_к R_к = 5 \text{ В.}$$

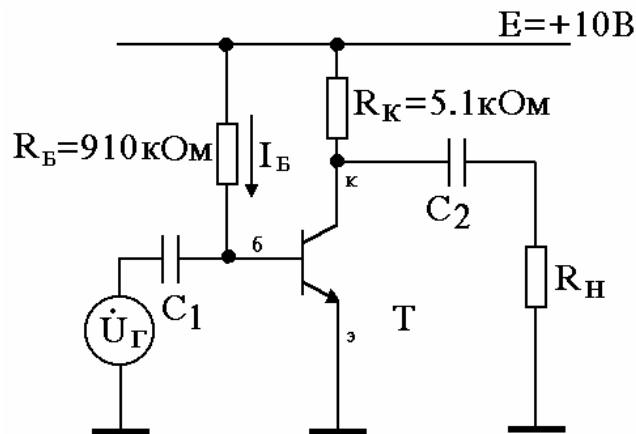


Рис. 2.1. Простейший усилительный каскад с общим эмиттером.

Заметим, что генератор напряжения $\dot{U}_Г$ и R_H не влияют на режим каскада по постоянному току, т.к. постоянный ток через конденсаторы C_1 и C_2 не протекает.

4. Таким же образом можно определить, как изменится режим, если при изменении температуры β увеличится до 150. Получим:

$$I_K = 1,5 \text{ мА}, \text{ а } U_K = 2,5 \text{ В}.$$

На основании приведенных расчетов можно сделать вывод, что режим усилительного каскада при изменении температуры может существенно измениться. Нестабильность режима является основным недостатком приведенной на рис. 2.1 схемы.

Задача 2.2. Рассчитать по постоянному току транзисторный каскад с общим эмиттером, схема которого приведена на рис. 2.2. Значения сопротивлений следующие: $R_1 = 100 \text{ кОм}$, $R_2 = 51 \text{ кОм}$, $R_3 = 4,3 \text{ кОм}$, $R_K = 5,1 \text{ кОм}$.

При решении учесть также, что транзистор имеет $\beta = 100$.

Решение. 1. Для токов, протекающих в базовой цепи, выполняется следующее условие: $I_1 = I_2 + I_B$. Для приближенного расчёта U_B пренебрежём током I_B , т.е. положим, что $I_B = 0$. При этом $I_1 \approx I_2$.

$$\text{Отсюда найдем напряжение на базе: } U_B = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} \approx 5 \text{ В}.$$

2. Учитывая, что на эмиттерном переходе транзистора падает напряжение 0,6 В, получаем напряжение на эмиттере:

$$U_э = U_B - 0,6 \approx 4,4 \text{ В}.$$

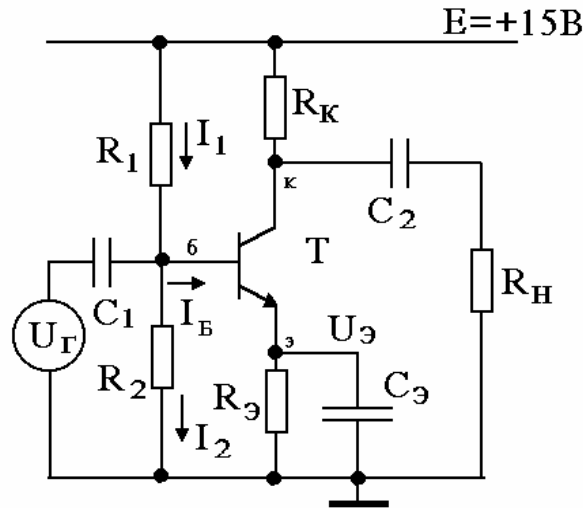


Рис. 2.2. Усилительный каскад с общим эмиттером.

3. Определим ток эмиттера $I_э = U_э / R_э \approx 1 \text{ мА}$.

4. Найдем напряжение на коллекторе транзистора $U_к = E - I_к R_к$.
Учитывая, что $I_э \approx I_к$, получаем $U_к \approx E - I_э R_к \approx 10 \text{ В}$.

5. Учтем влияние тока базы на величину напряжения на базе. Для этого определим ток базы $I_б \approx \frac{I_э}{\beta} = 10 \text{ мкА}$.

6. Выразим токи I_1 и I_2 через уточнённое значение $U_б$. Получим

$$I_1 = \frac{E - U'_б}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U'_б}{R_2}.$$

$$\text{Отсюда } \frac{E - U'_б}{R_1} = \frac{U'_б}{R_2} + I_б \text{ и } U'_б = 4,7 \text{ В}, \Delta U_б = U_б + U'_б = 0,3 \text{ В}.$$

По сравнению с разбросом значений сопротивлений величиной 0,3 В по сравнению с $U_б = 5 \text{ В}$ можно пренебречь.

Можно убедиться также в том, что при данных R_1 и R_2 изменение β не приведет к существенному изменению режима усилительного каскада по постоянному току. При больших значениях R_1 и R_2 влияние β на режимный ток увеличивается.

Задача 2.3. Рассчитать по постоянному току эмиттерный повторитель (каскад с общим коллектором), схема которого приведена на рис. 2.3, при

условии, что $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 50 \text{ кОм}$, $\beta=100$, $E=15 \text{ В}$. Транзистор при этом должен работать в номинальном режиме: $I_3=1 \text{ мА}$, $U_{кв}=5 \text{ В}$.

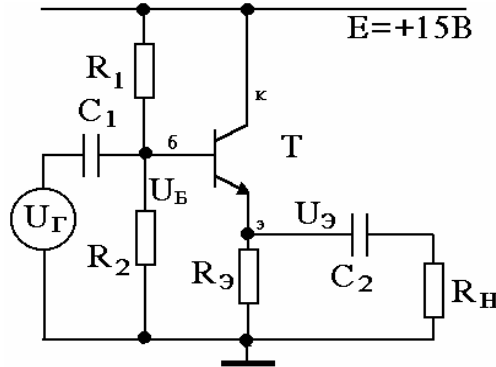


Рис. 2.3. Схема эмиттерного повторителя.

Решение. 1. Определим напряжение на базе U_b из уравнения $U_b = E - U_{кв}$: $U_b = 10 \text{ В}$.

2. Из условия $U_b = \frac{ER_2}{R_1 + R_2}$ определим коэффициент передачи базового делителя

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{3} \quad (2.1)$$

3. Учитывая, что $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 50 \text{ кОм}$ и (2.1), получим

$R_1 = 75 \text{ кОм}$.

4. Из (2.1) найдем R_2 : $R_2 = 150 \text{ кОм}$.

5. Зная U_b , определим $U_э$: $U_э \approx U_b - 0,6 = 9,4 \text{ В}$.

6. Полагая, что $I_3 = 1 \text{ мА}$, найдем сопротивление R_3 :

$$R_3 = \frac{U_э}{I_3} \approx 9,1 \text{ кОм}.$$

Задача 2.4. Рассчитать по постоянному току дифференциальный усилительный каскад, схема которого приведена на рис 2.4. При расчете учесть, что $R_{к1} = R_{к2} = 10 \text{ кОм}$, $R_3 = 4,7 \text{ кОм}$, $R_1 = 20 \text{ кОм}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, $\beta = 100$, $E_1 = -E_2 = E = 15 \text{ В}$, а параметры транзисторов Т1 и Т2 идентичны.

Определить также режимы работы всех транзисторов, полагая, что $U_{Г1} = U_{Г2} = 0$.

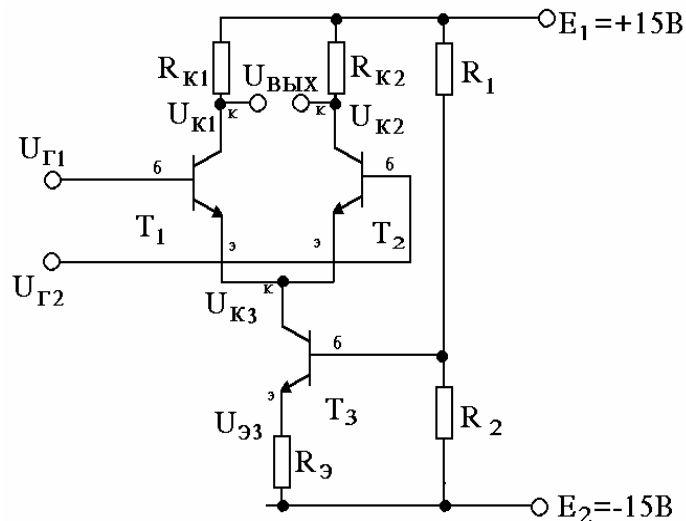


Рисунок 2.4. Схема простейшего дифференциального усилительного каскада.

Решение. 1. Определим $U_{Б3}$, используя метод наложений (суперпозиций) и пренебрегая током $I_{Б3}$,

$$U_{Б3} = \frac{E_1 R_2}{R_1 + R_2} - \frac{E_2 R_1}{R_1 + R_2} = \frac{E(R_2 - R_1)}{R_1 + R_2} = -5 \text{ В.}$$

2. Определим $U_{Э3}$: $U_{Э3} = U_{Б3} - 0,6 = -5,6 \text{ В.}$

3. Определим $I_{Э3}$: $I_{Э3} = \frac{U_{Э3} - E_2}{R_3} \approx 2 \text{ мА.}$

4. Из условия симметрии схемы определим токи $I_{Э1}$ и $I_{Э2}$:

$$I_{Э1} = I_{Э2} = \frac{I_{Э3}}{2} = 1 \text{ мА.}$$

5. Определим $U_{К1}$ и $U_{К2}$. Из условия симметрии, полагая, что

$$I_{К1} = I_{К2}, I_{К1} \approx I_{Э1}, I_{К2} \approx I_{Э2},$$

получаем: $U_{К1} = E - I_{К1} R_{К1} = U_{К2} = E - I_{К2} R_{К2} = 5 \text{ В.}$

6. При условии $U_{Г1} = U_{Г2} = 0$ получаем, что $U_{КБ1} = U_{КБ2} = 5 \text{ В.}$

7. Напряжение $U_{К3} = -0,6 \text{ В.}$ Отсюда $U_{КБ3} = U_{Б3} - U_{К3} = -4,4 \text{ В.}$

Заметим, что, как показывает анализ, если $|U_{Г1} - U_{Г2}| > 50 \text{ мВ}$ один из транзисторов T_1 или T_2 закрывается и весь ток $I_{К3}$ протекает через другой транзистор. Например, если $U_{Г1} > U_{Г2} + 50 \text{ мВ}$ весь ток $I_{К3}$ будет протекать через транзистор T_1 . К тому же эффекту может привести неидентичность транзисторов.

Контрольные вопросы

1. Какие напряжения должны быть на коллекторном и эмиттерном переходах транзистора, чтобы он работал в активном режиме?
 2. Нарисуйте зависимость тока эмиттера от напряжения на переходе база - эмиттер для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, при различных напряжениях между коллектором и базой.
 3. Нарисуйте зависимости тока коллектора от напряжения на переходе коллектор - база для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, при различных токах базы.
 4. Какие соотношения между токами в транзисторе, работающем в активной области, Вам известны?
 5. К каким последствиям может привести неправильно рассчитанный режим транзистора по постоянному току?
 6. Какие параметры, характеризующие номинальный режим транзистора по постоянному току, указываются в справочнике?
 7. К каким последствиям может привести использование транзистора с режимным током много больше или много меньше номинального?
 8. К каким последствиям может привести использование транзистора с режимным напряжением коллектор - база много больше или много меньше номинального?
 9. К каким последствиям приводит изменение β транзистора в усилительном каскаде с общим эмиттером?
 10. С какой целью в цепь эмиттера транзистора вводят резистор R_3 ?
 11. Какими соображениями следует руководствоваться при выборе абсолютных значений сопротивлений базового делителя R_1 и R_2 ?
 12. Чем принципиально отличается каскад с общим эмиттером от каскада с общим коллектором с точки зрения постоянного тока?
 13. Как будет меняться режим работы транзисторов в дифференциальном усилительном каскаде при изменении $U_{Г1}$ и $U_{Г2}$ в случае, если $U_{Г1}=U_{Г2}$ и $U_{Г1}\neq U_{Г2}$?
 14. От чего зависят режимные токи пары транзисторов в дифференциальном усилительном каскаде?
 15. Какими соображениями следует руководствоваться, выбирая R_1 , R_2 и R_3 в дифференциальном усилительном каскаде?
- При ответе на вопросы воспользуйтесь литературой, рекомендованной в конце учебного пособия [1-4,7,10-13].