

ного напряжения. Емкость конденсатора C_1 составляет в реальных схемах примерно 10^3 пФ.

Конденсатор C_2 позволяет уменьшить выброс выходного напряжения при импульсном изменении нагрузки и входного напряжения.

ПРИМЕРЫ

13.1. Рассчитать компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа (см. рис. 13.2, б), удовлетворяющий следующим условиям: входное напряжение $U_{вх} = -24$ В, нестабильность входного напряжения $\Delta U_{вх} = \pm 2$ В, максимальный ток нагрузки $I_{н\max} = 1,5$ А, коэффициент стабилизации $K_{ст} \geq 10^3$, напряжение источника питания базовой цепи регулирующего транзистора $E_0 = -30$ В. Предусмотреть плавную регулировку выходного напряжения в пределах от -12 до -16 В.

Решение

$$\frac{-4}{-14} В$$

1. Определим максимальное напряжение коллектор — эмиттер регулирующего транзистора T_1 :

$$U_{кэ1\max} = U_{вх} + \Delta U_{вх} - U_{н\min} = U_{вх\max} - U_{н\min} = -14 \text{ В.}$$

2. Определим максимальную мощность, рассеиваемую на транзисторе T_1 :

$$P_{к1\max} = U_{кэ1\max} I_{н\max} = 21 \text{ Вт.}$$

3. По данным расчета п. 1 и 2 выбираем транзистор T_1 , для которого

$$U_{кэ1\max} < U_{к\max\text{доп}}, \quad I_{к1} \approx I_{н\max} < I_{к\text{доп}}$$

$$P_{к1\max} < P_{к\max\text{доп}}$$

Этим условиям удовлетворяет транзистор типа П216В с параметрами: $U_{к\max\text{доп}} = -35$ В, $I_{к\text{доп}} = 7,5$ А, $P_{к\max\text{доп}} = 24$ Вт, $\beta \leq 30$, $r_{к1} = 6$ КОМ.

4. Для создания опорного напряжения $U_{оп}$ выберем стабилизатор типа Д814А с параметрами $U_{ст} = U_{оп} = -8$ В, $R_{д} = 6$ Ом, $I_{ст.\text{ном}} = 20$ мА.

5. Определим максимальное напряжение коллектор — эмиттер усилительного транзистора T_2 :

$$U_{кэ2\max} \approx U_{н\max} - U_{оп} = -8 \text{ В.}$$

6. Исходя из условия $U_{кэ2\max} < U_{к\max\text{доп}}$ выбираем в качестве усилительного элемента транзистор типа П416 с достаточно высоким коэффициентом усиления по току $\beta_2 = 90 \div 250$.

7. Полагая, что $I_{к2} \approx I_{з2} = 10 \text{ мА} < T_{к2\text{доп}}$, найдем сопротивление балластного резистора:

$$R_6 = \frac{|U_{н.ср} - U_{оп}|}{I_{ст.ном} - I_{з2}} = 0,6 \text{ кОм},$$

где

$$U_{н.ср} = \frac{U_{нmax} + U_{нmin}}{2} = -14 \text{ В}.$$

8. Учитывая, что $I_{Rк} = I_{к2} + I_{б1}$, $I_{б1max} = I_{нmax}/(\beta_1 + 1) \approx 48 \text{ мА}$, определим сопротивление

$$R_k = \frac{|E_0 - U_{нmax}|}{I_{б1max} + I_{к2}} = 240 \text{ Ом},$$

обеспечивающее нормальную работу схемы при полном токе нагрузки $I_n = I_{нmax}$.

9. Определим сопротивление резисторов делителя R_1, R_2, R_3 .

Условимся считать, что если движок потенциометра R_2 стоит в крайнем верхнем положении, то выходное напряжение стабилизатора имеет заданное по условию минимальное значение $U_{нmin}$. В крайнем нижнем положении движка выходное напряжение максимально. Тогда можно записать уравнения

$$|U_{нmin} - U_{оп}| = I_{дел} R_1,$$

$$|U_{оп}| = I_{дел} R_3,$$

$$|U_{нmax} - U_{оп}| = I_{дел} (R_1 + R_2).$$

Полагая

$$I_{дел} = 20 I_{б2} = 20 \frac{I_{к2}}{\beta_2} = 2 \text{ мА},$$

получим

$$R_1 = \frac{|U_{нmin} - U_{оп}|}{I_{дел}} = 2 \text{ кОм},$$

$$R_2 = \frac{|U_{нmax} - U_{оп}|}{I_{дел}} - R_1 = 2 \text{ кОм},$$

$$R_3 = \frac{|U_{оп}|}{I_{дел}} = 3,9 \text{ кОм}.$$

10. Записав формулу (13.13) в виде

$$K_{ст.дел} = \frac{U_{оп}}{U_{вх}} \frac{r_{к1}}{R_d + R_{вх.б2}},$$

получим $K_{ст.дел} = 300$.

Полученное значение коэффициента стабилизации меньше заданного. Для повышения коэффициента стабилизации включим в цепь регулирующего элемента дополнительный транзистор T'_1 , образующий с транзистором T_1 схему составного транзистора. Так как ток коллектора T'_1 равен току базы T_1 , т. е. $I_{\text{к1}} = I'_{\text{к1}} = I_{\text{н}}/\beta_1$, то транзистор T'_1 выбираем из условий

$$|U'_{\text{к1доп}}| > |U_{\text{вхmax}} - U_{\text{нmin}}|,$$

$$I'_{\text{к1}} = I_{\text{нmax}}/\beta_1 < I'_{\text{к1доп}}.$$

Этим условиям удовлетворяет транзистор типа МП20А с параметрами

$$\beta' = 50 \div 150, I'_{\text{к.доп}} = 50 \text{ мА},$$

$$U'_{\text{к.доп}} = 20 \text{ В}.$$

11. При использовании дополнительного транзистора T'_1 коэффициент стабилизации схемы (см. рис. 13.2, б) увеличивается в β'_1 раз.

Таким образом,

$$K'_{\text{ст.дел}} = K_{\text{ст.дел}} \beta'_1 \text{ min} = 15 \cdot 10^3.$$

13.2. Как изменяется коэффициент стабилизации стабилизатора напряжения (см. рис. 13.2, б), если резистор $R_{\text{к}}$ подключить к источнику входного напряжения?

Решение

Для повышения коэффициента стабилизации схемы резистор $R_{\text{к}}$, определяющий базовый ток регулирующего транзистора T_1 , подключается к стабильному источнику напряжения $-E_0$. При подключении $R_{\text{к}}$ к источнику входного напряжения возникает прямая связь с выхода на вход схемы, уменьшающая коэффициент стабилизации в $A = 1 + r_{\text{к1}}/R_{\text{к}}$ раз.

Увеличение $R_{\text{к}}$ снижает величину A , но может привести к нарушению условия нормальной работы стабилизатора:

$$\Delta I_{\text{к2}} = -\Delta I_{\text{б1}}. \quad (13.16)$$

Это условие вытекает из очевидного равенства

$$I_{\text{б1}} + I_{\text{к2}} = I_{R_{\text{к}}} \approx \frac{E_0 - U_{\text{н}}}{R_{\text{к}}} = \text{const}. \quad (13.17)$$

Согласно равенству (13.16), увеличение, например, тока базы $I_{\text{б1}}$ транзистора T_1 на значение $\Delta I_{\text{б1}}$ вызывает уменьшение на такое же значение тока коллектора $I_{\text{к2}}$ транзистора T_2 .

Так как ток базы связан с током нагрузки соотношением $I_{\text{б1}} = I_{\text{н}}/\beta$, то при увеличении сопротивления $R_{\text{к}}$ ток $I_{\text{б1}}$ может

оказаться больше, чем ток $I_{к2}$, что приведет к нарушению условия (13.16).

13.3. Выбрать и рассчитать схему последовательного стабилизатора напряжения с параметрами $K_{ст} \geq 10^4$. Исходные данные для расчета: $U_{вх} = 12$ В, $\Delta U_{вх} = \pm 2$ В, $I_{нmax} = 2$ А, $U_{нmin} = 4$ В, $U_{нmax} = 6$ В.

Решение

1. Выбираем тип регулирующего транзистора из условий

$$U_{кэmax} = U_{вх} + \Delta U_{вх} - U_{нmin} = 10 \text{ В} < U_{кэmax доп}$$

$$P_{кmax} = U_{кэmax} I_{нmax} = 20 \text{ Вт} < P_{кmax доп}$$

$$I_{нmax} < I_{кдоп}$$

Этим условиям удовлетворяет транзистор типа КТ908А с параметрами

$$I_{кmax доп} = 10 \text{ А}, P_{кmax доп} = 50 \text{ Вт},$$

$$\beta = 80, U_{кэmax доп} = 65 \text{ В}.$$

2. Рассмотрим возможность получения заданных параметров схемы при использовании в качестве усилительного элемента операционного усилителя (см. рис. 13.4).

Из условий

$$U_{выхОУ} = U_{бэ} + U_{нmax} = 6,6 \text{ В} < U_{выхmax ОУ}, \quad (13.18)$$

$$I_{выхОУ} = I_{бmax} = I_{нmax} / (1 + \beta_{min}) = 25 \text{ мА} < I_{выхmax ОУ}, \quad (13.19)$$

где $U_{выхmax ОУ}$, $I_{выхmax ОУ}$ — предельные значения выходных напряжения и тока операционного усилителя, выбираем операционный усилитель типа К157УД1, для которого $U_{выхmax ОУ} = 12$ В, $I_{выхmax ОУ} = 300$ мА.

Если условие (13.18) не выполняется, то в качестве усилительного элемента следует использовать транзистор. В этом случае расчет проводится по методике, аналогичной той, которая применена в примере 13.1. При невыполнении условия (13.19) в качестве регулирующего элемента используют составной транзистор. Тогда

$$I_{выхОУ} = I_{нmax} / (1 + \beta_1 \beta_2) < I_{выхmax ОУ},$$

где β_1 , β_2 — коэффициенты усиления по току отдельных транзисторов.

3. Для создания опорного напряжения $U_{оп} = U_{ст} < U_{нmin}$ выбираем стабилитрон КС133А с параметрами

$$U_{ст} = U_{оп} = 3 \text{ В}, R_{д} = 65 \text{ Ом}, I_{ст.ном} = 10 \text{ мА}.$$

4. Определяем сопротивление балластного резистора R_6 , полагая, что $I_{\text{ст.ном}} \gg I_{\text{вх.оу}}$:

$$R_6 = (U_{\text{вх.ср}} - U_{\text{оп}}) / I_{\text{ст.ном}} = 0,9 \text{ кОм.}$$

5. Для расчета сопротивлений резисторов R_1 , R_2 , R_3 предположим, что движок в потенциометре R_2 стоит в крайнем верхнем положении. Тогда выходное напряжение стабилизатора имеет заданное по условию минимальное значение. При крайнем нижнем положении движка выходное напряжение максимально. В первом случае

$$U_{\text{нmin}} = U_{\text{вых.оу}} - U_{\text{бэ}} \approx \left(\frac{R_1}{R_2 + R_3} + 1 \right) U_{\text{оп}} - U_{\text{бэ}}. \quad (13.20)$$

Во втором случае

$$U_{\text{нmax}} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3} + 1 \right) U_{\text{оп}} - U_{\text{бэ}}. \quad (13.21)$$

Полагая $R_3 = 1 \text{ кОм}$, из системы уравнений (13.20) и (13.21) находим $R_1 = 0,5 \text{ кОм}$, $R_2 = 0,5 \text{ кОм}$.

Определим коэффициент стабилизации схемы, применив общую формулу [13]

$$K_{\text{стmin}} = \frac{U_{\text{нmin}}}{U_{\text{вхmax}}} \frac{R_i}{R_{\text{вых}}} K_{\text{дел.}}$$

Так как $R_i = r_k^* = r_k / (1 + \beta)$ — внутреннее сопротивление регулирующего транзистора, $R_{\text{вых}} \approx r_3 / K_{\text{оу}}$, $K_{\text{дел}} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$, то

$$K_{\text{стmin}} = \frac{U_{\text{нmin}}}{U_{\text{вхmax}}} \frac{r_{k1}}{r_3} \frac{K_{\text{оу}}}{1 + \beta} K_{\text{дел}} \approx 1,2 \cdot 10^7,$$

где $K_{\text{оу}}$ — коэффициент усиления ОУ без обратной связи.