

Рис. 10.12

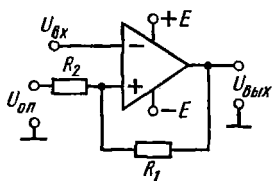


Рис. 10.13

зисной передаточной характеристики к неинвертирующему входу операционного усилителя подключена цепь положительной обратной связи.

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

10.11. Рассчитать триггер Шмитта на транзисторах (см. рис. 10.11, а), работающий в качестве формирователя прямоугольных положительных импульсов с амплитудой 10 В и длительностью $t_{\text{вых}} = 100$ мкс из сигнала синусоидальной формы $e_r = U_m \sin \omega t$. Температура окружающей среды $20 - 60$ °С.

Указания. Расчетные формулы см. в [15].

1. Определение пороговых уровней срабатывания и отпускания:

$$E_{r1} = I_{\text{КБ}0} R_{\Gamma} + E_{\text{к}} R_3 / (R_{\text{к}2} + R_3); \quad (10.1)$$

$$E_{r2} = \lambda E_{\text{к}} (1 + \lambda R_{\text{к}1} / R_3), \quad (10.2)$$

где $\lambda = R_2 / (R_1 + R_2)$.

2. Выбор напряжения источника питания:

$$E_{\text{к}} = (1,1 \div 1,2) (U_{\text{вых}} + E_{r1}). \quad (10.3)$$

3. Выбор транзисторов:

$$U_{\text{кбдоп}} > E_{\text{к}}, \quad f_{\alpha} > (3 \div 5) F_{\text{max}}. \quad (10.4)$$

4. Выбор емкости ускоряющего конденсатора:

$$1,5\tau_{\alpha} = R_{\text{к}} C, \quad 3C (R_1 \parallel R_2) < t_{\text{н}}; \quad (10.5)$$

$$3CR_{\text{к}1} < (T - t_{\text{н}}), \quad (10.6)$$

где $t_{\text{н}}$ — длительность нахождения триггера в рабочем режиме; $T - t_{\text{н}}$ — длительность нахождения триггера в исходном состоянии.

5. Определение времен фронта выходного напряжения при переходе триггера в рабочий режим t_{ϕ} и спада выходного напряжения при возвращении триггера в исходное состояние t_c :

$$t_{\phi} \approx (0,6 \div 0,8) \tau_{\alpha}, \quad (10.7)$$

$$t_c \approx (1,2 \div 1,8) \tau_{\alpha}. \quad (10.8)$$

Решение

1. За время положительного полупериода синусоидального входного сигнала триггера Шмитта должен сформировать один импульс на выходе, т. е. сработать и вернуться в исходное состояние. Следовательно, $T/2 = (1,2 \div 1,6) t_{\text{вых}}$, откуда можно определить частоту входного сигнала:

$$\omega = 2\pi \frac{1}{T} = \frac{\pi}{(1,2 \div 1,6) t_{\text{вых}}} = \frac{2 \div 2,6}{t_{\text{вых}}}.$$

Принимаем $\omega = 2,5/t_{\text{вых}} = 25$ кГц.

2. Зададим значения напряжений срабатывания и отпускания триггера $E_{r1} = 2$ В, $E_{r2} = 1$ В.

Полагая $U_m \gg E_{r1}, E_{r2}$, из решения системы уравнений

$$E_{r1} = U_m \sin \omega t_1 \approx U_m \omega t_1,$$

$$E_{r2} = U_m \sin \omega \left[\frac{T}{2} - (t_1 + t_{\text{вых}}) \right] \approx U_m \omega \left[\frac{T}{2} - (t_1 + t_{\text{вых}}) \right],$$

где t_1 — момент срабатывания триггера, найдем, что амплитуда входного сигнала, необходимая для получения заданной длительности выходного импульса,

$$U_m = \frac{E_{r1} + E_{r2}}{\omega (\pi/2 - t_{\text{вых}})} = \frac{E_{r1} + E_{r2}}{\pi [1 - (0,75 - 0,55)]}.$$

Получим $U_m = 5$ В.

3. Определяем напряжение источника питания из соотношения

$$E_{\kappa} = (1,1 \div 1,2)(U_{\text{вых}} + E_{r1}).$$

Принимаем $E_{\kappa} = 12,4$ В.

4. Выбираем транзистор типа МП111, удовлетворяющий требованиям надежности ($U_{\kappa б. доп} = 20$ В $> E_{\kappa}$) и полярности выходного сигнала.

5. Определяем сопротивление резистора $R_{\kappa 2}$, учитывая следующее:

а) коллекторный ток насыщенного транзистора T_2 не должен превышать значение допустимого тока для данного типа транзистора $I_{\kappa н} < I_{\kappa доп}$. Следовательно,

$$R_{к2} \geq \frac{E_{к} - E_{г1}}{I_{кдоп}} = 100 \text{ Ом};$$

б) для исключения влияния обратного тока транзистора T_2 при его запираии необходимо, чтобы

$$R_{к2} \geq \frac{E_{к} - E_{г1}}{I_{КБ0\max}} = 30 \text{ кОм};$$

в) для исключения влияния емкости коллекторного перехода при переключении транзистора необходимо, чтобы

$$R_{к2} \leq \frac{1,2}{2\pi f_{\alpha} C_{к}} = 2,8 \text{ кОм}.$$

Учитывая вышеприведенные неравенства, принимаем $R_{к2} = 2,5 \text{ кОм}$.

6. Так как $I_{КБ0\max} R_{г} \ll E_{г1}$, можно принять $E_{г1} \approx U_{з2}$. Тогда сопротивление резистора R_3 в эмиттерной цепи транзисторов определим из соотношения (10.1):

$$R_3 = E_{г1} R_{к2} / U_{вых} = 500 \text{ Ом}.$$

7. Поскольку выполняется неравенство

$$R_{г} \ll \beta_{1\min} R_3 (0,5 \text{ кОм} \ll 5 \text{ кОм}),$$

принимаем $R_{к1} = 2R_{к2} = 5 \text{ кОм}$.

8. Из формулы (10.2) определяем

$$\lambda = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{E_{г2}}{E_{к} - \frac{E_{г2} R_{к1}}{R_3}} = 0,4.$$

9. Из условия насыщения транзистора T_2 без учета тока смещения $U_{з2}/R_2$ и обратного теплового тока $I_{КБ0\max} \ll U_{з2}/R_{к1}$, получим $R_1 \leq \beta_{2\min} R_{к2} - R_{к1}$. Принимаем $R_1 = 0,8 (\beta_{2\min} R_{к2} - R_{к1}) = 15 \text{ кОм}$.

10. Тогда $R_2 = \frac{\lambda R_1}{1 - \lambda} = \frac{0,4 R_1}{0,6} = 10 \text{ кОм}$.

11. Определяем емкость конденсаторов из условия

$$t_{вых} \geq 3\tau_p = 3(R_1 \parallel R_2) C.$$

В этом случае влияние динамического смещения можно не учитывать. Итак,

$$C = \frac{t_{вых}}{(R_1 \parallel R_2)} = 0,004 \text{ мкФ}.$$

12. Принимаем длительность фронта равной $0,8\tau_{\alpha}$, т. е. $t_{ф} = 0,8\tau_{\alpha} = 2,4 \text{ мкс}$. Длительность спада определим по формуле (10.8): $t_c = 8,2 \text{ мкс}$.

10.12. Рассчитать навесные элементы схемы триггера Шмитта, выполненной на интегральных расширителях К155ЛП1 (рис. 10.13) и предназначенной для работы в качестве порогового устройства с напряжениями срабатывания и отпускания соответственно $E_{Г1} = 1,6$ В, $E_{Г2} = 1,2$ В. Напряжение источника питания $E_{к} = 5$ В. Напряжения на прямосмещенном эмиттерном и коллекторном переходах считать одинаковыми: $U_{бэ} = U_{бк} = 0,7$ В. Напряжение коллектор – эмиттер насыщенного транзистора $U_{кн} = 0,2$ В. Пороговое напряжение отпирающего эмиттерного перехода закрытого транзистора $U_{пор} = 0,6$ В. Нормальный и инверсный коэффициенты усиления транзистора по току $\beta = 60$, $\beta_I = 0,02$. Сопротивление резисторов $R_{б1} = R_{б2} = 4$ кОм. Обратными токами транзистора можно пренебречь.

Решение

В исходном состоянии, когда $U_{вх} < E_{Г1}$, транзистор $T_{м1}$ открыт и насыщен, транзистор T_1 закрыт, транзистор $T_{м2}$ работает в активном инверсном режиме, а транзистор T_2 – в режиме насыщения. Условие насыщения транзистора T_2

$$I_{б2}\beta_2 \geq I_{к2}.$$

Учитывая, что

$$I_{б2} = I_{бм2}(\beta_{I2} + 1) \approx I_{бм2},$$

$$I_{бм2} = \frac{E_{к} - U_{бк} - U_{бэ2} - U_{э2}}{R_{б2}},$$

$$I_{к2} = \frac{E_{к} - U_{кн2} - U_{э2}}{R_{к2}},$$

условие насыщения транзистора T_2 можно записать так:

$$\frac{E_{к} - U_{бк} - U_{бэ2} - U_{э2}}{R_{б2}} \geq \frac{E_{к} - U_{кн2} - U_{э2}}{R_{к2}}. \quad (10.9)$$

Поскольку

$$E_{Г1} = U_{кнм1} + U_{пор1} + U_{э2},$$

напряжение

$$U_{э2} = E_{Г1} + U_{кнм1} - U_{пор1} = 12 \text{ В.}$$

Из выражения (10.9) после преобразований найдем сопротивление резистора $R_{к2}$:

$$R_{к2} \geq \frac{(E_{к} - U_{кн} - U_{э2})R_{б2}}{E_{к} - U_{бк} - U_{э2} - U_{бэ2}} \geq 0,1 \text{ кОм.}$$

Принимаем $R_{к2} = 0,36$ кОм.

Определим сопротивление R_3 , записав выражение

$$U_{32} = I_{32}R_{32}, \quad I_{32} = \frac{E_k - U_{к32} - U_{32}}{R_{к2}}.$$

Выполнив несложные преобразования, получим

$$R_3 = \frac{U_{32}R_{к2}}{E_k - U_{к32} - U_{32}} = 0,12 \text{ кОм.}$$

После переключения схемы при $U_{вх} = E_{т1}$ транзистор $T_{м1}$ работает в активном инверсном режиме, транзисторы T_1 и $T_{м2}$ — в режиме насыщения, а транзистор T_2 закрыт. Для переключения схемы в исходное состояние заданным напряжением $E_{т2}$ необходимо выполнение условия

$$U_{вх} = E_{т2} = U_{бм1} - U_{порм1}.$$

Учитывая, что

$$U_{бм1} = U_{31} + U_{б31} + U_{бкм1},$$

$$U_{31} = \frac{E_k - U_{к31}}{R_{к1} + R_3} R_3,$$

будем иметь

$$E_{т2} = \frac{(E_k - U_{к31}) R_3}{R_{к1} + R_3} + U_{б31} + U_{бкм1} - U_{порм1}. \quad (10.10)$$

Из выражения (10.10) найдем сопротивление резистора $R_{к1}$:

$$R_{к1} = \frac{(E_k - U_{к31}) R_3}{E_{т2} - U_{б31} - U_{бкм1} + U_{порм1}} - R_3.$$

10.13. Определить пороговые напряжения срабатывания и отпускания в схеме триггера Шмитта на операционном усилителе (см. рис. 10.13). Исходные данные для расчета: $R_1 = 12$ кОм, $R_2 = 400$ Ом, $U_{оп} = 1$ В.

Максимальное выходное напряжение операционного усилителя $U_{вых\max} = \pm 10$ В.

Решение

Введя величину $\gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,03$, будем иметь

$$U_{сраб} = (U_{вых\max}^+ - U_{оп}) \gamma + U_{оп} =$$

$$= U_{вых\max}^+ \gamma + U_{оп} (1 - \gamma) = 1,27 \text{ В,}$$

$$U_{отп} = U_{вых\max}^- \gamma + U_{оп} (1 - \gamma) = -0,3 + 1(1 - 0,03) = 0,7 \text{ В.}$$