

При  $\vartheta_c < 0,2$ ,  $\vartheta_n > 2$  используют формулу

$$L = \tau_{\alpha} t_{и} / (C n_{б,опт}). \quad (11.22 б)$$

Амплитуда обратного выброса коллекторного напряжения

$$\Delta U_{км} \approx 0,75 E_{к} t_{и} n_{б,опт} / \tau_{в}, \quad (11.23)$$

где  $\tau_{в} = I / R_{н}$  — постоянная времени выброса.

Длительность выброса  $t_{в} \approx 2,5 \tau_{в}$ . Для устранения выброса коллекторную обмотку трансформатора шунтируют диодом.

Время между двумя соседними импульсами (время паузы)

$$t_{п} = RC \frac{n_{б} (E_{к} + \Delta U_{км}) + E_{б} + I_{кб0} R}{E_{б} + I_{кб0} R}. \quad (11.24)$$

При  $E_{б} \gg I_{кб0} R$  и  $E_{б} \gg \Delta U_{км}$  получим

$$t_{п} = RC \ln \left( 1 + \frac{n_{б} E_{к}}{E_{б}} \right). \quad (11.25)$$

Время восстановления исходного состояния в ждущем блокинг-генераторе при положительном значении  $E_{б}$

$$t_{восст} = (3 \div 5) RC. \quad (11.26)$$

## ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

**11.1.** Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой  $U_{вых} = 10$  В, длительностью  $t_{и} = 100$  мкс и частотой  $F = \approx 1,2$  кГц. Нагрузка  $R_{н}$  с сопротивлением 10 кОм включена между коллекторами транзисторов и «землей». Диапазон температур окружающей среды 20–60 °С. Нестабильность рабочей частоты при изменении температуры не должна превышать 12%.

### Решение

1. Определяем скважность выходного сигнала:

$$Q = \frac{T}{t_{и}} = \frac{1}{F t_{и}} = 8.$$

2. По формуле (11.7) находим минимальный коэффициент усиления транзистора по току:  $\beta_{\min} \geq 3(Q - 1) = 21$ .

3. Полагая ориентировочно, что  $E_{к} = 1,2 U_{вых}$ , из условия  $U_{кб,доп} > 2 E_{к}$  (см. временные диаграммы рис. 11.1, б) найдем максимально допустимое коллекторное напряжение закрытого транзистора:

$$U_{кб,доп} \geq 2(1,2 U_{вых}) = 24 \text{ В.}$$

4. На основании п. 2 и 3 выбираем транзистор типа МП25Б, имеющий следующие параметры:  $\beta = 30 \div 80$ ,  $U_{кб. доп} = 40$  В,  $I_{к. доп} = 100$  мА,  $I_{КБ0} = 500$  мкА при  $t = +60^\circ\text{C}$ ,  $f_\alpha = 500$  кГц.

5. Выбираем ток коллектора насыщения  $I_{кн}$  открытого транзистора. Из условия (11.5) для получения малой длительности отрицательного фронта необходимо уменьшать сопротивление резистора  $R_k$ , а следовательно, увеличивать  $I_{кн}$ . Однако в области больших значений рабочих токов, близких к допустимому для данного типа транзистора, уменьшается коэффициент усиления по току  $\beta$ . Поэтому в диапазоне токов  $I_{кн} < I_{к. доп}$  для транзистора МП25Б выбираем ток  $I_{кн} = 30$  мА, при котором значение  $\beta$  максимально.

Следует заметить, что задание мощности потребления схемы  $P_0 = E_k I_{кн}$  накладывает дополнительное ограничение на ток  $I_{кн}$ .

6. Определяем сопротивление резистора в коллекторной цепи:

$$R_{к1} = R_{к2} = R_k \approx \frac{E_k}{I_{кн}} = \frac{1,2U_{\text{вых}}}{I_{кн}} = 0,4 \text{ кОм.}$$

7. Уточняем напряжение источника питания:

$$E_k = U_{\text{вых}} \frac{R_k + R_n}{R_n} + I_{КБ0\text{max}} R_n = 14 \text{ В.}$$

8. Из формулы (11.6) находим сопротивления резисторов в базовых цепях транзисторов:

$$R_1 = R_2 = R \leq \beta_{\text{min}} R_k.$$

Принимаем  $R = 0,8\beta_{\text{min}} R_k = 9,6$  кОм.

9. Оцениваем влияние обратного тока закрытого транзистора при максимальной температуре на рабочую частоту, исходя из условия

$$I_{КБ0\text{max}} R / E_k \ll 1. \quad (11.27)$$

10. Так как условие (11.27) не выполняется, то емкость конденсатора  $C_1$  определяется из формулы (11.1). Таким образом,  $C_1 \approx 0,016$  мкФ.

11. Для определения емкости  $C_2$  воспользуемся формулой (11.2), что дает  $C_2 = 0,1$  мкФ.

12. Проверяем выполнение условия  $C_1, C_2 > C_{кб}$ . Так как  $C_{кб} = 60$  пФ, то условие выполняется.

13. Определяем длительности фронтов  $t_{\phi}^-$  и  $t_{\phi}^+$  выходного импульса мультивибратора с учетом резистора нагрузки:

$$t_{\phi}^{-} \approx 2,3C_2 \frac{R_k R_H}{R_k + R_H} = 86 \text{ мкс},$$

$$t_{\phi}^{+} \approx 3\tau_{\alpha} = 1 \text{ мкс}.$$

14. Оцениваем нестабильность рабочей частоты при изменении температуры в заданных пределах 20–60 °С:

$$\delta = \frac{F(60^{\circ}\text{C}) - F(20^{\circ}\text{C})}{F(60^{\circ}\text{C})}.$$

Так как параметры мультивибратора рассчитывались из условия максимальной температуры 60 °С, то частота  $F(60^{\circ}\text{C}) = 1,2 \text{ кГц}$  соответствует заданной.

Значение рабочей частоты при температуре 20 °С можно определить из формул (11.3) и (11.4), так как в этом случае выполняется условие  $E_k \gg I_{кв0}R$ :

$$F(20^{\circ}\text{C}) = \frac{1}{0,7R(C_1 + C_2)} = 1,08 \text{ кГц}.$$

Таким образом,  $\delta = 10\%$ , что не превышает допустимого значения, определенного условием задачи.

11.2. Как изменится рабочая частота мультивибратора (рис. 11.1), если резисторы  $R_1$  и  $R_2$  подключить к источнику напряжения  $-E_0 = E_k/2$  (рис. 11.5, а)? Определить минимальное значение  $E_0$ , при котором мультивибратор сохраняет работоспособность. Принять  $R_1 = R_2 = R = 10 \text{ кОм}$ ,  $C_1 = C_2 = C$ ,  $E_k = -12 \text{ В}$ ,  $\beta_{\min} = 50$ .

### Решение

1. При подключении резисторов  $R_1$  и  $R_2$  к источнику с напряжением  $|E_0| < |E_k|$  уменьшается уровень, к которому

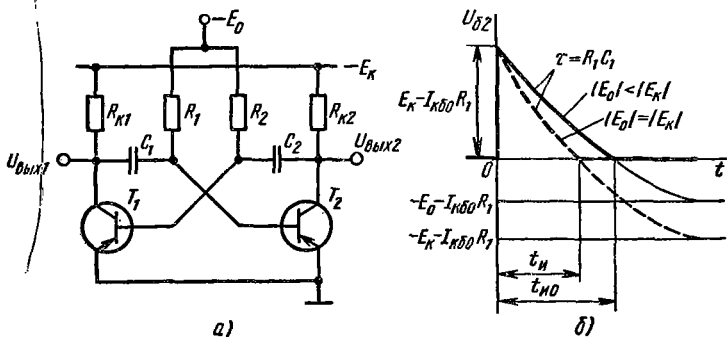


Рис. 11.5

стремится перезарядиться соответствующий конденсатор (рис. 11.5, б). В результате длительности  $t_{н}$  и  $t_{п}$  увеличиваются:

$$t_{н0} = R_1 C_1 \ln \frac{E_k + E_0 + I_{КБ0}(R_1 - R_k)}{E_0 + I_{КБ0}R_1},$$

$$t_{п0} = R_2 C_2 \ln \frac{E_k + E_0 + I_{КБ0}(R_2 - R_k)}{E_k + I_{КБ0}R_2}.$$

Рабочая частота соответственно уменьшается. Если  $E_0 \gg I_{КБ0}R$ , то данные формулы приобретают вид

$$t_{н0} \approx R_1 C_1 \ln \left( 1 + \frac{E_k}{E_0} \right),$$

$$t_{п0} \approx R_2 C_2 \ln \left( 1 + \frac{E_k}{E_0} \right).$$

Таким образом, рабочая частота

$$F_0 = \frac{1}{t_{н0} + t_{п0}} = \frac{1}{(R_1 C_1 + R_2 C_2) \ln \left( 1 + \frac{E_k}{E_0} \right)}. \quad (11.28)$$

Подставляя значение  $|E_0| = |E_k/2|$ , заданное по условию задачи, в формулу (11.28), после преобразований получим

$$\frac{F}{F_0} = \frac{\ln 3}{\ln 2} = 1,6.$$

2. Снижение величины  $E_0$  уменьшает не только рабочую частоту, но и степень насыщения открытого транзистора. При наличии источника  $|E_0| < |E_k|$  условие насыщения открытого транзистора можно записать так:

$$E_0/R \geq E_k/(R_k \beta_{\min}).$$

Знак равенства в этом выражении соответствует предельному случаю, когда транзистор работает на границе между режимом насыщения и активным режимом. Следовательно,

$$\frac{E_{0 \min}}{R} = \frac{E_k}{R_k \beta_{\min}},$$

откуда

$$E_{0 \min} = E_k R / (R_k \beta_{\min}) = 2,4 \text{ В.}$$

Ясно, что для выполнения условия насыщения открытого транзистора при  $|E_0| \leq |E_k|/2$  необходимо, чтобы  $R \leq 0,5 R_k \beta_{\min}$ .

**11.3.** Определить максимальную скважность выходных импульсов в схеме мультивибратора с диодной фиксацией коллекторных потенциалов на уровне  $E_\phi = -4$  В (рис. 11.6, а). Напряжение питания  $E_k = -12$  В. Тип транзистора ГТ321Б.

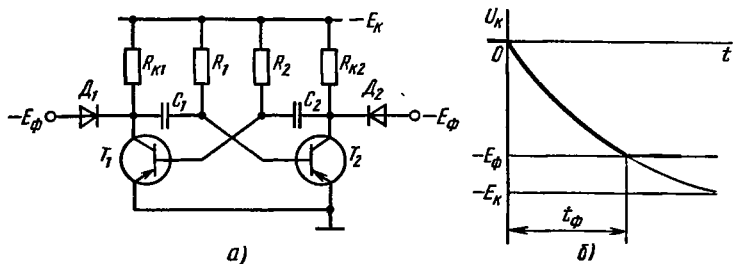


Рис. 11.6

### Решение

По определению, максимальная скважность

$$Q_{\max} = \frac{t_{\text{пmax}}}{t_{\text{иmin}}} + 1. \quad (11.29)$$

Минимальная длительность выходного импульса  $t_{\text{иmin}}$  ограничивается длительностью отрицательного фронта  $t_{\text{иmin}} = \bar{t}_\phi$ , поскольку при дальнейшем уменьшении  $t_{\text{и}}$  конденсатор не успевает зарядиться до исходного значения, что приводит к нарушению нормальной работы схемы.

Длительность фронта  $\bar{t}_\phi$  (рис. 11.6, б) в схеме мультивибратора с диодной фиксацией коллекторных потенциалов можно определить из формулы

$$\bar{t}_\phi = R_k C_2 \ln \frac{|E_k|}{|E_k - E_\phi|}. \quad (11.30)$$

Если  $E_\phi \gg I_{к60} R$ , то максимальная длительность паузы между соседними выходными импульсами

$$t_{\text{пmax}} = R_{2\max} C_2 \ln \frac{E_k + E_\phi}{E_k}.$$

Учитывая, что максимальное сопротивление резисторов  $R_1 = R_2 = R$  определяется условием насыщения открытого транзистора  $R_{\max} = \beta_{\min} R_k$ , будем иметь

$$t_{\text{пmax}} = \beta_{\min} R_k C_2 \ln \left( 1 + \frac{E_\phi}{E_k} \right). \quad (11.31)$$

После подстановки (11.31) и (11.30) в выражение (11.29) найдем максимальную скважность следования импульсов в рассматриваемой схеме:

$$Q_{\max} = \beta_{\min} \frac{\ln(1 + E_{\phi}/E_k)}{\ln[1/(1 - E_{\phi}/E_k)]} + 1. \quad (11.32)$$

Если выполняется условие  $E_{\phi}/E_k < 0,5$ , то, разлагая функцию  $\ln(1 + E_{\phi}/E_k)/\ln[1/(1 - E_{\phi}/E_k)]$  в ряд с точностью до второго члена, получим

$$Q_{\max} = \beta_{\min} \frac{\varepsilon_{\phi} - \varepsilon_{\phi}^2/2}{\varepsilon_{\phi} + \varepsilon_{\phi}^2/2} + 1, \quad (11.33)$$

где  $\varepsilon_{\phi} = E_{\phi}/E_k$ .

Для транзистора ГТ321Б величина  $\beta_{\min} = 40$ . Подставляя исходные данные в выражение (11.33), будем иметь  $Q_{\max} \approx 30$ .

**11.4.** Рассчитать параметры ждущего мультивибратора с коллекторно-базовыми связями (см. рис. 11.2), формирующего на выходе импульсы отрицательной полярности с амплитудой  $U_{\text{вых}} = -6$  В и длительностью  $t_{\text{и}} = 30$  мкс. Время восстановления исходного состояния схемы не должно превышать 15 мкс. Разброс значений напряжения питания  $\delta_E$  и номиналов резисторов  $\delta_R$  не должен превышать 10%. Температура окружающей среды 20–60 °С.

### Решение

1. Определяем ориентировочно напряжение питания по формуле

$$E_k = (1,1 \div 1,2) U_{\text{вых}} = -8 \text{ В.}$$

Выбираем тип транзистора, исходя из следующих соображений:

а) максимально допустимое напряжение коллектор – база должно превышать удвоенное напряжение питания

$$U_{\text{кб, доп}} > 2E_k = -16 \text{ В;}$$

б) длительность выходного импульса должна удовлетворять условию

$$t_{\text{и}} > 8(\tau_{\alpha} + C_k R_k).$$

В этом случае влиянием длительностей фронтов при переключении схемы на величину  $t_{\text{и}}$  можно пренебречь;

в) тип транзистора должен соответствовать заданной полярности выходного импульса.

Выше перечисленным требованиям удовлетворяет транзистор типа ГТ308А, параметры которого  $U_{\text{кб, доп}} = -20$  В,

$\tau_{\alpha} = C_k R_k = 1 \text{ мкс}$ ,  $\beta = 20 \div 75$ ,  $I_{k, \text{доп}} = 50 \text{ мА}$ ,  $I_{\text{КБ0}} (60^\circ \text{C}) = 30 \text{ мкА}$ ,  $C_k = 8 \text{ пФ}$ .

2. Выбираем сопротивление резистора  $R_{k2}$ , ориентируясь на ток  $I_{k2} = (0,3 \div 0,5) I_{k, \text{доп}}$ , при котором значение  $\beta$  получается наибольшим:

$$R_{k2} = \frac{E_k}{0,4 I_{k, \text{доп}}} = \frac{8}{0,4 \cdot 50} = 0,4 \text{ кОм.}$$

3. Значение резистора  $R$  определяем из условия неглубокого насыщения транзистора  $T_2$ :

$$R = 0,8 \beta_{\text{min}} R_{k2} = 6,4 \text{ кОм.}$$

4. Проверив выполнение неравенства  $E_k \gg I_{\text{КБ0}} R$ , найдем емкость конденсатора:

$$C \approx \frac{t_{\text{и}}}{0,7 R} \approx \frac{30}{0,7 \cdot 6,4} = 7 \text{ нФ.}$$

5. Из формулы (11.10) определим значение резистора  $R_{k1}$ :

$$R_{k1} \leq t_{\text{восст}} / (3C) = 7,2 \text{ кОм.}$$

Принимаем  $R_{k1} = 680 \text{ Ом}$ .

6. Задав напряжение смещения  $E_{\text{см}} = (0,1 \div 0,3) E_k = 1 \text{ В}$ , из формулы (11.13) с учетом разброса параметров будем иметь

$$R_2 \leq E_{\text{см}} (1 - \delta_E - \delta_R) / I_{\text{КБ0max}} = 25 \text{ кОм.}$$

7. Из условия насыщения транзистора  $T_1$  получим с учетом разброса параметров

$$R_1 \leq (1 - 2\delta_R) \left( \frac{\beta_{\text{min}} R_{k1}}{1 + \frac{\beta_{\text{min}} E_{\text{см}} R_{k1}}{1 - 2\delta_E E_k R_{k2}}} - R_{k2} \right) = 9,6 \text{ кОм.}$$

Примем  $R_1 = 6,3 \text{ кОм}$ .

8. Имея в виду, что должны выполняться неравенства

$$C' \gg C_k, \quad 3C' (R_1 \parallel R_2) < t_{\text{восст}},$$

выбираем  $C' = 960 \text{ пФ}$ .

По формуле (11.11) длительность отрицательного фронта выходного импульса

$$t_{\bar{\phi}_2} = 2,3C' (R_{k2} \parallel R_1) = 0,84 \text{ мкс} \ll t_{\text{и}}$$

9. Длительность положительного фронта выходного импульса определим из формулы (11.12):  $t_{\phi_2}^+ = 3\tau_{\alpha} \approx 1 \text{ мкс}$ .

**11.5.** Рассчитать параметры ждущего мультивибратора с эмиттерной связью (см. рис. 11.3), предназначенного для фор-

мирования импульсов отрицательной полярности с амплитудой  $U_{\text{вых}} = -5$  В и длительностью 15 мкс. Частота запускающих импульсов  $f$  равна 20 кГц. Температура окружающей среды 20–40 °С.

## Решение

1. Полагая, что  $R_3 \ll R_k$ , определяем напряжение источника питания:

$$E_k = (1,2 \div 1,4) U_{\text{вых}} = 6 \text{ В.}$$

2. Исходя из соображений, приведенных в предыдущей задаче, выбираем транзистор типа МП116, параметры которого таковы:  $\beta = 15 \div 100$ ,  $U_{\text{кб.доп}} = -15$  В,  $f_\alpha = 0,5$  МГц,  $I_{\text{КБ0}}(20^\circ\text{C}) = 10$  мкА,  $I_{\text{к.доп}} = 10$  мА.

3. Выбираем ток коллектора насыщенного транзистора  $T_2$ , при котором значение коэффициента  $\beta$  максимально:

$$I_{\text{к2}} = (0,3 \div 0,5) I_{\text{к.доп}}$$

Принимаем  $I_{\text{к2}} = 5$  мА.

4. Определяем сопротивление резистора  $R_{\text{к2}} \approx E_k / I_{\text{к2}} = 1$  кОм.

5. Из условия неглубокого насыщения транзистора  $T_2$  находим сопротивление резистора  $R = 0,8\beta_{\text{мин}} R_{\text{к2}} = 12$  кОм.

6. Сопротивление  $R_3$  найдем, учитывая, что  $R_3 \ll R_k$ :

$$R_3 = 0,1 R_{\text{к2}} = 0,1 \text{ кОм.}$$

7. Определяем напряжение на эмиттерах транзисторов в исходном состоянии схемы:  $U_{32} = I_{32} R_3 \approx I_{\text{к2}} R_3 = 0,6$  В.

8. Для обеспечения надежного запираания  $T_1$  необходимо, чтобы  $|U_{32}| > |I_{\text{доп}} R_2|$ .

Для экономичности использования источника питания следует обеспечить  $I_{\text{дел}} \ll I_{\text{к2}}$ . Принимая  $I_{\text{дел}} = 0,1 I_{\text{к2}} = 0,6$  мА, получим  $R_2 = 0,7 U_{32} / I_{\text{дел}} = 0,7$  кОм.

9. Сопротивление резистора  $R_1$  определяем из формулы  $R_1 = E_k / I_{\text{дел}} - R_2 = 9,3$  кОм.

10. Из условия насыщения транзистора  $T_1$  находим сопротивление резистора  $R_{\text{к1}} = 1,4 R_{\text{к2}} + (R_1 / \beta_{\text{мин}}) = 2,1$  кОм.

11. Предварительно проверив выполнение неравенства  $U_3 \ll E_k$ , по формуле (11.16) рассчитываем емкость конденсатора  $C = t_{\text{н}} / 0,7 R = 1,8$  нФ.

12. Определяем время восстановления исходного состояния схемы на основании формулы (11.17):  $t_{\text{восст}} = (3 \div 5) R_{\text{к1}} C = 18,8$  мкс.

13. Находим максимальную частоту запускающих импульсов:  $f_{\text{max}} = 1 / (t_{\text{н}} + t_{\text{восст}}) \approx 27$  кГц.



14. Проверить работоспособность ждущего мультивибратора при заданной частоте запускающих импульсов  $f$  согласно условию  $f_{\max} > f$ . Данное неравенство, очевидно, выполняется.

11.6. Рассчитать схему блокинг-генератора (см. рис. 11.4), работающего в автоколебательном режиме на нагрузку с сопротивлением  $R_n = 1$  кОм и генерирующего импульсы с амплитудой  $U_{\text{вых}} = 4$  В, длительностью  $t_n = 20$  мкс и скважностью  $Q = 70$ . Температура окружающей среды не превышает  $30^\circ\text{C}$ .

### Решение

Выбираем тип транзистора, исходя из условий быстродействия и надежности.

а) Для обеспечения малых длительностей фронта и спада выходного импульса необходимо [13], чтобы

$$f_\alpha \geq \frac{3 \div 10}{t_n} = 500 \text{ кГц.}$$

При выполнении этого условия величины  $t_\phi^-$ ,  $t_\phi^+$  получаются порядка нескольких  $\tau_\alpha$ .

б) Допустимое напряжение на коллекторе транзистора  $U_{\text{кб.доп}}$  должно удовлетворять соотношению  $U_{\text{кб.доп}} \geq (E_k + \Delta U_{\text{кт}})(1 + n_6)$ . Обычно значение  $n_6$  лежит в пределах  $0,1 - 0,7$ .

Так как выброс сильно искажает форму выходного сигнала блокинг-генератора, то амплитуда выброса, как правило, не должна превышать  $10 - 30\%$  от амплитуды коллекторного напряжения:

$$U_k = U'_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}/n_n, \text{ т. е. } \Delta U_{\text{кт}} = (0,1 \div 0,3) U_k.$$

Напряжение питания выбираем, исходя из равенства  $E_k = (1,1 \div 1,2) U_k = (1,1 \div 1,2) U_{\text{вых}}/n_n = -5$  В. Положим  $n_n = 1$ . Тогда  $U_{\text{кб.доп}} = (1,2 U_{\text{вых}} + 0,3 U_{\text{вых}}) 1,7 = -10$  В. Исходя из полученных значений  $f_\alpha$  и  $U_{\text{кб.доп}}$ , выбираем транзистор типа МП116, для которого  $\beta = 15 \div 100$ ,  $I_{\text{КБ0}} = 10$  мкА,  $f_\alpha = 0,5$  МГц,  $U_{\text{кб.доп}} = -15$  В,  $I_{\text{к.доп}} = 50$  мА,  $C_k = 60$  пФ. Определяем оптимальное значение коэффициента трансформации  $n_6 = 0,4$  из формулы (11.20). Длительности фронтов  $t_\phi^+ \approx t_\phi^-$  найдем по формуле (11.21):  $t_\phi^+ \approx t_\phi^- = 0,2$  мкс.

Определяем сопротивление резистора  $R$ , приняв во внимание следующее:

а) Во время формирования импульса цепь резистора  $R$  должна мало влиять на ток в базовой цепи транзистора. Для этого необходимо [13], чтобы  $R \gg r'_6$ .

б) Протекание обратного тока закрытого транзистора через резистор  $R$  не должно создавать заметного падения напряжения, т. е.  $R \leq E_6 / (10 I_{\text{КБ0max}})$ .

Положив  $E_6 = 1$  В, найдем, что величина  $R = 3$  кОм удовлетворяет обоим условиям. При заданной скважности находим требуемую длительность паузы:  $t_n = t_n(Q - 1) = 990$  мкс.

Проверив условие  $E_6 \gg I_{кб0\max}R$  и положив  $\Delta U_{км} \ll E_6$ , определяем емкость конденсатора  $C$  из формулы (11.25):

$$C = \frac{t_n}{R \ln \left( 1 + \frac{n_6 E_k}{E_6} \right)} = 0,5 \text{ мкФ.}$$

Находим

$$\vartheta_c = \frac{r_6 C}{\tau_\beta} = 12, \quad \vartheta_n = \frac{t_n}{\tau_\beta} = \frac{20}{5} = 4.$$

Тогда, подключив добавочный резистор с сопротивлением  $R_d = 200$  Ом, можно по формуле (11.22) определить индуктивность трансформатора, необходимую для формирования импульса длительностью 20 мкс:

$$L = \frac{t_n (r_6 + R_d) e^{t_n/\tau_c}}{n_6 \beta} = 1 \text{ мГн.}$$

Проверим [13] условие отсутствия влияния нагрузки на длительность импульса по формуле

$$L \ll (t_n + \tau_\beta) R'_{\min} = 25 \text{ мГн.}$$

Таким образом, нагрузка мало влияет на длительность импульса.

Процесс формирования выброса импульса блокинг-генератора будет апериодическим, если выполняется условие (11.19). Определив  $C_0 = 20$  пФ на основании формулы (11.18), убедимся, что условие (11.19) выполняется при данных значениях  $L$  и  $C_0$ , т. е. выброс апериодически спадает до нуля. Амплитуда выброса, согласно (11.23),

$$\Delta U_{км} = 0,75 \cdot 5 \cdot 20 / 7,5 = 10 \text{ В.}$$

Длительность выброса  $t_b = 2,5\tau_\beta = 2,5L/R'_n = 7,5$  мкс.

Для транзистора МП116 такая амплитуда выброса недопустима, так как здесь

$$U_{кб} = (5 + 10) 1,4 > U_{кб.доп} = 15 \text{ В.}$$

Следовательно, необходима цепь из диода  $D_{ш}$  и резистора  $R_{ш}$ , уменьшающая амплитуду выброса до значения

$$\Delta U'_{км} = 0,75 \frac{E_k t_n}{L} (R'_n \parallel R_{ш}).$$

Вычислим допустимую амплитуду обратного выброса:

$$\Delta U'_{ктдоп} \leq \frac{U_{кб.доп}}{1 + n_6} - E_k = \frac{15}{1,4} - 5 = 5,7 \text{ В.}$$

Максимальное сопротивление шунтирующего резистора найдем из формулы

$$(R'_н \parallel R_{ш\max}) = \frac{\Delta U'_{ктдоп} L}{0,75 E_k t_{и}} = 0,6 \text{ кОм,}$$

откуда  $R_{ш\max} = 0,75 \text{ кОм.}$

Выбранный тип диода  $D_{ш}$  должен удовлетворять условиям

$$I_{д\max} = I_{\mu\max} = \frac{E_k t_{и}}{L} < I_{д.доп}$$

$$|U_{д.доп}| > |E_k|.$$

Выбираем диод типа Д9Г.

**11.7.** Определить максимальную частоту повторения запускающих импульсов ждущего блокинг-генератора на транзисторе МП111. Задано, что  $E_k = 12 \text{ В}$ ,  $E_6 = +2 \text{ В}$ ,  $C = 1 \text{ нФ}$ ,  $R = 1 \text{ кОм}$ ,  $L = 1 \text{ мГн}$ ,  $n_6 = 0,2$ ,  $n_n = 1$ . Длительности отрицательного и положительного фронтов выходного импульса можно не учитывать. Считать, что  $t_v < t_{восст}$ .

### Решение

Определим длительность импульса блокинг-генератора. Для большинства типов низкочастотных транзисторов, у которых  $f_{\alpha} < 1 \text{ МГц}$ , соотношение  $\tau_c/\tau_{\beta} > 4$  не выполняется при  $C < 0,1 \text{ мкФ}$ , поэтому для определения  $t_{и}$  воспользуемся формулой

$$t_{и} = \frac{n_6 LC}{\tau_{\alpha}} \approx 0,7 \text{ мкс.}$$

Определим время восстановления исходного состояния схемы из формулы  $t_{восст} = 3RC = 3 \text{ мкс.}$

Максимальная частота повторения запускающих импульсов

$$F_{п} = \frac{1}{t_{и} + t_{восст}} = 0,27 \text{ МГц.}$$

## § 11.2. РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

В настоящее время широко применяются релаксационные генераторы (мультивибраторы), выполненные в виде гибридных ИМС, на основе логических ИМС и операционных усилителей.