

$$I_{\text{б1}} = \frac{E_{\text{к}} - I_{\text{КБ0}}R_{\text{к}}}{R_{\text{экв}} + R_{\text{к}}} - \frac{E_{\text{см}}}{R_2},$$

где  $R_{\text{экв}} = R_1 (1 + R_{\text{к}}/R_{\text{н}})$ .

Следовательно, чтобы режим открытого транзистора при подключенной нагрузке соответствовал режиму открытого транзистора триггера, рассчитанного на холостой ход, сопротивление резистора  $R_1$  следует уменьшить в  $1 + R_{\text{к}}/R_{\text{н}}$  раз.

2. С уменьшением  $R_1$  снизится амплитуда выходного импульса триггера  $U_{\text{вых}}$ . При наличии нагрузки с сопротивлением  $R_{\text{н}}$  имеем

$$U_{\text{вых}} = \frac{(R_1 \parallel R_{\text{н}})(E_{\text{к}} - I_{\text{КБ0}}R_{\text{к}})}{(R_1 \parallel R_{\text{н}}) + R_{\text{к}}}.$$

При подключении нагрузки зарядка конденсатора  $C$  будет происходить с постоянной времени  $\tau_{\text{в}} = (R_{\text{к}} \parallel R_{\text{н}})C < 1,5 \tau_{\alpha}$ .

В результате нарушается условие максимального быстрогодействия триггера, для выполнения которого необходимо, чтобы  $\tau_{\text{з}} = 1,5 \tau_{\alpha}$ . Следовательно, чтобы сохранить быстродействие триггера, рассчитанного на холостой ход, при работе с нагрузкой емкость конденсатора  $C$  необходимо увеличить в  $1 + R_{\text{к}}/R_{\text{н}}$  раз.

Таким образом,

$$C = \frac{1,5 \tau_{\alpha}}{R_{\text{к}}} \left( 1 + \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{н}}} \right).$$

## § 10.2. ТРИГГЕРЫ ШМИТТА

В отличие от рассмотренных выше триггерных устройств триггер Шмитта представляет собой устройство, в котором переход из одного устойчивого состояния в другое осуществляется только при определенных уровнях входного напряжения  $E_{\text{г1}}$  и  $E_{\text{г2}}$ , называемых пороговыми уровнями.

Наличие двух пороговых уровней входного сигнала в схеме свидетельствует о гистерезисном характере передаточной характеристики данного устройства. Идеализированная передаточная характеристика триггера Шмитта представлена на рис. 10.10. При  $E_{\text{г}} < E_{\text{г1}}$  триггер Шмитта находится в одном из устойчивых состояний, например когда  $U_{\text{вых}} = E^0$ . Как только входное напряжение достигает порогового уровня срабатывания  $E_{\text{г1}}$ , схема скачком переходит в другое устойчивое состояние (рабочий режим), когда  $U_{\text{вых}} = E^1$ . Дальнейшее повышение напряжения генератора  $E_{\text{г}}$  не приводит к изменению состояния схемы. Однако уменьшение  $E_{\text{г}}$  до порогового уровня отпускания  $E_{\text{г2}}$  вызывает скачкообразное возвращение схемы в исходное

состояние ( $U_{\text{вых}} = E^0$ ). Пороговые уровни срабатывания и отпускания, а следовательно, ширина петли гистерезиса определяются элементами схемы.

На рис. 10.11 приведены схема триггера Шмитта на дискретных элементах (а) и временные диаграммы, характеризующие его работу (б). В исходном состоянии (при  $E_r < E_{r1}$ ) схемы транзистор  $T_1$  закрыт, а транзистор  $T_2$  открыт и насыщен. Напряжение на выходе схемы  $U_{\text{вых}} = U_{32} = I_{32}R_3 = E_K R_3 / (R_{K2} + R_3)$ . При переключении схемы в рабочий режим ( $E_r > E_{r1}$ ) транзистор  $T_1$  открывается и насыщается, а  $T_2$  закрывается. Напряжение на выходе возрастает до значения, близкого к напряжению источника питания  $E_K$ . При снижении напряжения  $E_r$  до уровня  $E_{r2}$  схема возвращается в исходное состояние.

Триггер Шмитта можно составить из двух интегральных расширителей по ИЛИ ТТЛ-типа (рис. 10.12). По своей структуре эта схема аналогична схеме триггера Шмитта на дискретных элементах (рис. 10.11, а). Здесь ИМС<sub>1</sub> и ИМС<sub>2</sub> — интегральные расширители, резисторы  $R_{K1}$ ,  $R_{K2}$ ,  $R_3$  являются навесными компонентами схемы. Для регулировки порогов срабатывания и отпускания  $E_{r1}$  и  $E_{r2}$  в схему вводят также навесные резисторы  $R_1$  и  $R_2$ .

Схема триггера Шмитта, выполненная на операционном усилителе, приведена на рис. 10.13. Для получения гистере-

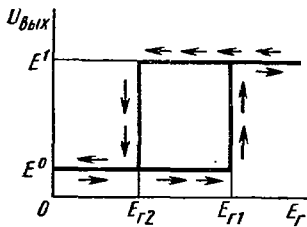
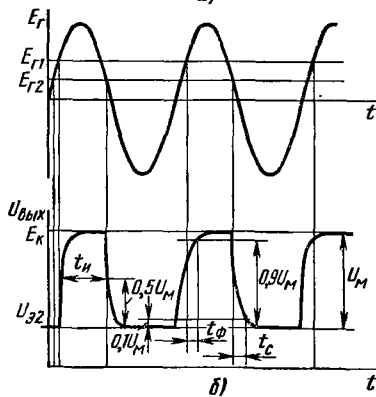
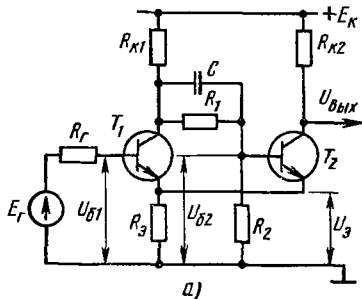


Рис. 10.10

Рис. 10.11

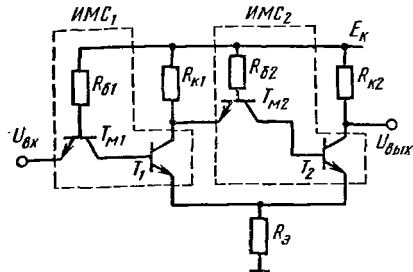


Рис. 10.12

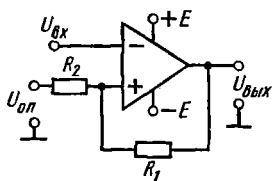


Рис. 10.13

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  $20 - 60^\circ\text{C}$ .

У к а з а н и я. 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:

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

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

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