

7. Обратим внимание на значение входного тока для ОУ типа 140УД6; по справочнику, $I_{\text{вх}} = 40$ нА. Подсчитаем величину $U_{\text{вх}} = I_{\text{вх}}(R_3 + R_1 \parallel R_2) = 40 \cdot 10^{-9} \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 160$ мкВ. Это напряжение можно скомпенсировать, подключив между неинвертирующим входом ОУ и общей шиной резистор $R_4 \approx 4$ кОм.

7.11. Определить реальную полосу пропускания фильтра верхних частот (см. рис. 7.28), построенного на операционном усилителе типа 140УД6, если коэффициент передачи в полосе пропускания $K_0 = 20$ дБ, а частота среза $f_0 = 10$ кГц.

Ответ: 90 кГц.

7.12. Для фильтра нижних частот по схеме на рис. 7.23 определить относительную нестабильность частоты среза f_0 при изменении окружающей температуры от 20 до 80 °С. Принять ТКС резисторов 10^{-2} 1/град, ТКЕ конденсаторов 10^{-3} 1/град; считать операционный усилитель идеальным.

Ответ: -0,66.

7.13. Определить добротность полосового фильтра, изображенного на рис. 7.29, если $\bar{R} = 36$ кОм и $\bar{R} = 10$ кОм. Принять $R_1 = R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C$.

Ответ: 3,5.

7.14. Для фильтра, изображенного на рис. 7.24, найти коэффициент передачи в полосе пропускания и частоту среза при $R_1 = R_2 = 10$ кОм, $C_1 = 0,1$ мкФ и $C_2 = C_3 = 0,01$ мкФ.

Ответ: 10; 1,6 кГц.

7.15. Определить максимально достижимую величину частоты среза для фильтра нижних частот (см. рис. 7.23), построенного на основе операционного усилителя с $f_T = 1$ МГц и внутренней частотной коррекцией. Принять $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 100$ кОм.

Ответ: 10 кГц.

7.16. Определить, во сколько раз увеличится отношение сигнал/помеха после прохождения сигнала через фильтр верхних частот (см. рис. 7.28) с частотой среза $f_0 = 1$ кГц. Принять частоту сигнала 10 кГц, а частоту помехи 50 Гц.

Ответ: в 200 раз.

ГЛАВА 8 ТРАНЗИСТОРНЫЕ КЛЮЧИ

§ 8.1. КЛЮЧИ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Транзисторный ключ — это схема, предназначенная для коммутации цепи нагрузки транзистора при воздействии на него внешних управляющих сигналов.

Транзисторный ключ может находиться в двух стационарных состояниях: разомкнутом, когда транзистор заперт и работает в режиме отсечки тока, и замкнутом, когда транзистор открыт и работает либо в режиме насыщения, либо в активном режиме. Обычно (особенно при больших токах нагрузки) используют насыщенный транзисторный ключ, так как в режиме насыщения на биполярном транзисторе рассеивается меньшая мощность, чем в активном режиме. В насыщенном транзисторном ключе активный режим является переходным от одного стационарного состояния ключа в другое и определяет его быстрдействие.

В настоящее время для расчета переходных процессов в ключах на биполярных транзисторах широко применяют метод заряда [13]. Расчет переходных процессов по этому методу заключается в определении закона изменения во времени заряда неосновных носителей тока в базе и установлении связи этого заряда с внешними токами транзистора.

Основные уравнения метода заряда таковы:

$$dQ/dt = I_6 - Q/\tau_\beta, \quad (8.1)$$

где Q — заряд неосновных носителей в базе; τ_β — постоянная времени, характеризующая время жизни неосновных носителей в базе; I_6 — ток базы;

$$Q = \tau_\beta I_6 = \tau_\beta I_k / \beta, \quad (8.2)$$

где I_k — ток коллектора; β — коэффициент усиления по току в схеме ОЭ.

С учетом емкостных токов уравнение (8.1) будет иметь вид

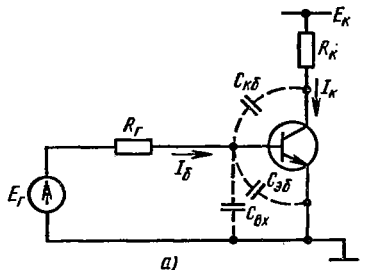
$$\frac{dQ}{dt} = I_6 - \frac{Q}{\tau_\beta} - C_3 \frac{dU_{36}}{dt} + C_k \frac{dU_{к6}}{dt}, \quad (8.3)$$

где C_3 , C_k — барьерные емкости эмиттерного и коллекторного переходов соответственно; U_{36} , $U_{к6}$ — напряжение на переходах.

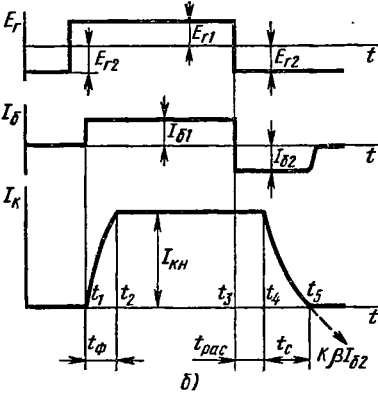
Решив уравнения (8.1) или (8.3) для конкретных условий и учтя уравнение (8.2), можно найти переходную характеристику $I_k(t)$. Временные диаграммы переключения транзистора в схеме ключа (рис. 8.1, а), управляемого от источника с напряжением E_T и внутренним сопротивлением R_T , приведены на рис. 8.1, б.

В исходном состоянии при $E_T = E_{T2}$ транзистор находится в режиме отсечки. Коллекторный ток в нагрузке R_k определяется начальным током транзистора $I_{к60}$, который настолько мал, что можно принять $I_k(0) \approx 0$.

В момент скачкообразного изменения управляющего напряжения от значения E_{T2} до E_{T1} эмиттерный переход транзистора



а)



б)

Рис. 8.1

остается закрытым, так как напряжение на барьерных емкостях переходов $C_э$ и $C_к$ мгновенно изменяться не может. Для появления базового тока необходимо, чтобы входная емкость $C_{вх} \approx C_{эб} + C_{кб}$ перезарядилась до некоторого положительного напряжения, называемого пороговым. Обычно для кремниевых транзисторов $U_{пор} = 0,6 \div 0,8$ В. Полагая, что базовый ток возрастает мгновенно до значения $I_{б1} \approx (E_r - U_{пор}) / (R_r + r_б)$, методом заряда можно показать, что ток коллектора изменяется по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = \tau_б + C_к R_к (\beta + 1)$, стремясь от нуля к значению $I_{б1} \beta$ вследствие возрастания заряда в базе.

Коллекторный ток при конечном сопротивлении резистора $R_к$ может возрасти только до значения $I_{кн} = (E_k - U_{кн}) / R_к \approx E_k / R_к$.

В этот момент транзистор входит в режим насыщения. Коллекторный ток остается постоянным, а заряд в базе продолжает возрастать до значения $I_{б1} \bar{\tau}_б$ ($\bar{\tau}_б$ — среднее время жизни носителей в базовом и коллекторном слоях). Происходит накопление неосновных зарядов в базе.

При подаче запирающего тока $I_{б2}$ ток $I_к = I_{кн}$ остается постоянным до тех пор, пока заряд в базе не рассосется до граничного значения. В момент времени t_4 транзистор выходит из режима насыщения и коллекторный ток уменьшается до нуля.

Таким образом, весь процесс переключения транзистора можно разделить на три этапа: формирование фронта $t_ф$ (активный режим транзистора), рассасывание заряда в базе $t_{рас}$ (режим насыщения) и формирование среза коллекторного тока t_c (активный режим).

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

8.1. Определить время задержки выходного сигнала транзисторного ключа (рис. 8.1, а) при скачкообразном изменении ба-