

Определим емкость затвора:

$$C_3 = \epsilon \epsilon_0 \Pi / d = 3,7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-6} / (150 \cdot 10^{-9}) = 0,87 \text{ пФ.}$$

Следовательно, крутизна характеристики

$$S = 0,02 \cdot 0,87 \cdot 10^{-12} \cdot 8 / (5 \cdot 10^{-6})^2 = 5,6 \text{ мА/В.}$$

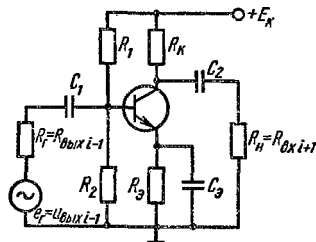
## ГЛАВА 3

### МНОГОКАСКАДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ С РЕОСТАТНО-ЕМКОСТНЫМИ СВЯЗЯМИ

В многокаскадных усилителях с реостатно-емкостными связями источником сигнала для  $i$ -го промежуточного каскада является выходная цепь предыдущего каскада, а нагрузкой — входная цепь последующего.

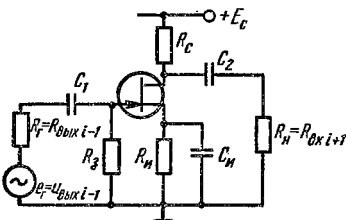
Типовые схемы промежуточных каскадов с включением биполярного или полевого транзистора по схеме ОЭ (ОИ) изображены на рис. 3.1 и 3.2 соответственно. Они содержат переходные конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  и блокирующий конденсатор  $C_3$  ( $C_{и}$ ).

Конденсатор  $C_1$  пропускает во входную цепь промежуточного каскада переменную составляющую напряжения источника сигнала и не пропускает постоянную составляющую. Конденсатор  $C_2$  выполняет аналогичную функцию по отношению к нагрузке и выходной цепи промежуточного каскада. Конденсатор  $C_3$  ( $C_{и}$ ) шунтирует резистор  $R_3$  ( $R_{и}$ ) по перемен-



$i$ -й каскад

Рис. 3.1



$i$ -й каскад

Рис. 3.2

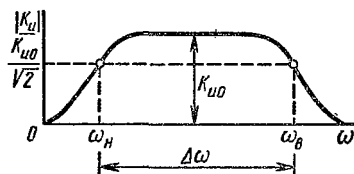


Рис. 3.3

ному току, исключая тем самым отрицательную обратную связь по переменным составляющим. Отсутствие конденсатора  $C_3(C_H)$  привело бы к уменьшению усиления каскада.

Амплитудно-частотная характеристика каскада рассматриваемого вида показана на рис. 3.3. Полоса пропускания определяется как  $\Delta\omega = \omega_B - \omega_H$ . Параметр  $K_{U0}$  характеризует усиление в области средних частот. В области низших частот на работу каскадов оказывают влияние переходные и блокирующие конденсаторы, в области высших частот для каскадов на биполярных транзисторах — частотная зависимость коэффициента передачи тока базы  $\beta$ , коллекторная емкость  $C_K$  и емкость нагрузки  $C_{нв}$ , а для каскадов на полевых транзисторах — паразитные межэлектродные емкости  $C_{зв}$ ,  $C_{зс}$ ,  $C_{си}$  и емкость нагрузки.

### § 3.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ В ОБЛАСТИ СРЕДНИХ ЧАСТОТ

В области средних частот внешние емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3(C_H)$  будем предполагать бесконечно большими, емкости  $C_K$ ,  $C_H$  и паразитные емкости  $C_{зв}$ ,  $C_{зс}$ ,  $C_{си}$  — равными нулю, коэффициент передачи  $\beta$  — действительной величиной. Тогда малосигнальные эквивалентные схемы каскадов в области средних частот будут иметь вид, показанный на рис. 3.4 и 3.5. Здесь приняты следующие обозначения:  $r_6$  — объемное сопротивление базы биполярного транзистора;  $r_3 = \varphi_T / I_3$  — дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода;  $r_k^* = r_k / (1 + \beta)$ , где  $r_k$  — дифференциальное сопротивление коллекторного перехода;  $r_c$  — дифференциальное сопротивление канала полевого транзистора в пологой области характеристик;  $S$  — его крутизна.

Определим среднечастотные параметры каскадов. Непосредственно из эквивалентной схемы рис. 3.4 без учета влияния резисторов базового делителя получаем

$$R_{вх} = r_6 + r_3(1 + \beta_e), \quad K_U = \frac{\beta_e (R_K \parallel R_H)}{R_r + R_{вх}}, \quad R_{вых} =$$

$$= R_K \parallel [r_k^* (1 + \beta\gamma_6)] \approx R_K, \quad R_{вых3} = r_3 + (r_6 + R_r) / (1 + \beta_e),$$

$$K_I = \frac{R_r}{R_r + R_{вх}} \beta_e \frac{R_K}{R_K + R_H}, \quad \text{где } \beta_e = \beta \frac{r_k^*}{r_k^* + R_K \parallel R_H},$$

$$\gamma_6 = \frac{r_3}{r_3 + r_6 + R_r}.$$

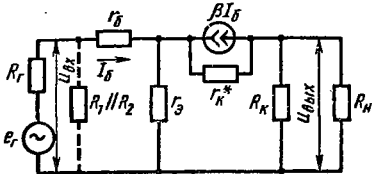


Рис. 3.4

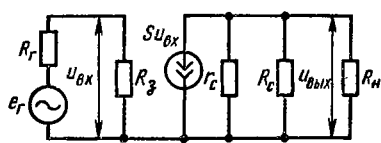


Рис. 3.5

Из эквивалентной схемы рис. 3.5 находим

$$R_{\text{вх}} = R_3, \quad K_U = \frac{R_3}{R_r + R_3} S (r_c \parallel R_c \parallel R_n) \approx SR_{\text{сн}}$$

$$R_{\text{вых}} = r_c \parallel R_c, \quad R_{\text{выхн}} = \frac{1}{S},$$

$$K_I = \frac{R_r}{R_r + R_3} SR_r \frac{R_{\text{вых}}}{R_{\text{вых}} + R_n}, \quad \text{где } R_{\text{сн}} = R_c \parallel R_n.$$

Для  $N$ -каскадного усилителя, структурная схема которого приведена на рис. 3.6, коэффициент усиления можно записать в следующем виде:

$$K_U = \frac{u_{\text{вых}}}{e_r} = K_{\text{хх}} \frac{R_n}{R_{\text{вых}N} + R_n} = K_{U1} K_{U2} \dots K_{UN} \frac{R_n}{R_{\text{вых}N} + R_n}, \quad (3.1)$$

где  $K_{U1} = e_1/e_r$ ,  $K_{U2} = e_2/e_1$ , ...,  $K_{UN} = e_N/e_{N-1}$ .

Если многокаскадный усилитель построен на биполярных транзисторах, то  $K_{U1} = \beta_{e1} R_{к1} / (R_r + R_{\text{вх}1})$ , а коэффициент усиления каждого из последующих каскадов

$$K_{Um} = \frac{\beta_{em} R_{км}}{R_{км-1} + R_{\text{вх}m}}.$$

Тогда формула (3.1) запишется в виде

$$K_U = \frac{\beta_{eN} (R_n \parallel R_{кN})}{R_r + R_{\text{вх}1}} \prod_{m=1}^{N-1} \beta_{em} \frac{R_{км}}{R_{км-1} + R_{\text{вх}m+1}}. \quad (3.2)$$

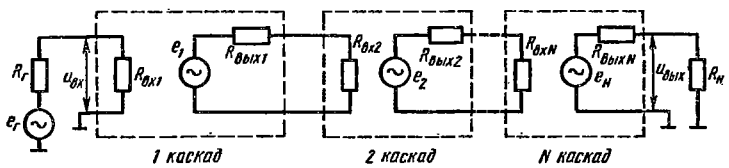


Рис. 3.6

Полагая  $R_k \gg R_{вх}$  и считая все транзисторы одинаковыми, получим

$$K_U = \frac{\beta_e^N R_H}{R_r + R_{вх}}$$

Если многокаскадный усилитель построен на полевых транзисторах, то  $K_{U1} = \frac{R_{31}}{R_r + R_{31}} S_1 R_{c1}$ ,

$$K_{Um} = \frac{R_{3m}}{R_{cm-1} + R_{3m}} S_m R_{cm}$$

Тогда (3.1) запишется так:

$$K_U = \frac{R_{3N}}{R_r + R_{31}} S_N R_{cN} \parallel R_H \prod_{m=1}^{N-1} \frac{R_{3m}}{R_{cm} + R_{3m+1}} S_m R_{cm} \quad (3.3)$$

Полагая  $R_{3m} \gg R_{cm}$  и считая все транзисторы одинаковыми, получим

$$K_U = \frac{R_{31}}{R_r + R_{31}} (SR_c)^N \frac{R_H}{R_c + R_H}$$

## § 3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ В ОБЛАСТИ НИЗШИХ ЧАСТОТ

Эквивалентные схемы каскадов в области низших частот, в которой существенное влияние оказывают емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  ( $C_H$ ), показаны на рис. 3.7 и 3.8. С понижением частоты реактивное сопротивление указанных емкостей увеличивается. При этом емкости  $C_1$  и  $C_2$  препятствуют прохождению сигнала со входа каскада на его выход, уменьшая тем самым коэффициент усиления каскада в области низших частот. Действие блокирующей емкости несколько иное — в области низших частот она перестает шунтировать резистор  $R_3$  ( $R_H$ ) и коэффициент усиления каскада уменьшается за счет действия отрицательной обратной связи. Для того чтобы количественно оценить уменьшение усиления, вводят понятие коэффициента частотных искажений

$$M_H = K_{Uсч} / K_{УНЧ} \quad (3.4)$$

который показывает, во сколько раз коэффициент усиления в области средних частот ( $K_{Uсч}$ ) больше коэффициента усиления в области низших частот ( $K_{УНЧ}$ ). Так как в области низших частот коэффициент усиления является комплексной величиной, то под  $K_{УНЧ}$  понимают его модуль. Коэффициент частотных иска-