

используется для подключения блокирующей емкости к второму каскаду, выводы 9 и 10 — для подключения корректирующих емкостей. Цепочка $R_2 - C_2$ на рис. 4.16 позволяет корректировать АЧХ данного трехкаскадного усилителя. В справочных данных на эту ИМС приводятся следующие цифры, которые являются основой для расчетов: $K_U \geq 10$, $R_{вх} = 1$ кОм, $R_{вых} = 75$ Ом на частоте 100 кГц, $f_B \geq 45$ МГц. На частоте f_B усиление снижается на 3 дБ по сравнению со своим значением на средних частотах.

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

4.9. Рассчитать широкополосный усилитель напряжения, работающий на согласованной кабель ($R_H = 75$ Ом), по следующим данным: $u_r = 2,5$ мВ; $R_r = 1$ кОм; $u_n = 500$ мВ; $K_r \leq 5\%$; $f_B \geq 20$ МГц. Нестабильность коэффициента усиления при всех условиях эксплуатации не должна превышать 10%.

Решение

1. Будем использовать в усилителе ИМС 175УС1А, так как она обеспечивает усиление до частоты 45 МГц.

2. Подсчитаем необходимое количество микросхем n . Требуемое усиление $K_U = u_n/u_r = 500/2,5 = 200$. С учетом потерь усиления на входе и выходе усилителя и учитывая, что гарантированный коэффициент усиления одной ИМС 175УС1А составляет 10, получим $n = 3$.

3. Найдем коэффициент усиления всего усилителя по формуле

$$K_U = \frac{R_{вх1}}{R_r + R_{вх1}} K_{U1} \frac{R_{вх2}}{R_{вых1} + R_{вх2}} K_{U2} \frac{R_{вх3}}{R_{вых2} + R_{вх3}} K_{U3} \frac{R_H}{R_{вых3} + R_H}.$$

Учитывая, что $R_{вх1} = R_{вх2} = R_{вх3} = 1$ кОм (по справочным данным для микросхемы 175УС1А), а $R_{вых1} = R_{вых2} = R_{вых3} = 75$ Ом, получим

$$K_U = \frac{1}{1+1} 10 \frac{1}{0,075+1} 10 \frac{1}{0,075+1} 10 \frac{0,075}{0,075+0,075} = 216,$$

т. е. усилитель будет обеспечивать необходимое усилие.

4. Проверяем верхнюю граничную частоту усилителя:

$$f_B = \frac{\bar{f}_B}{\sqrt{3}} = \frac{45}{\sqrt{3}} = 26 \text{ МГц} > 20 \text{ МГц},$$

где $\bar{f}_B = f_{B1} = f_{B2} = f_{B3}$ — верхняя граничная частота ИМС. Необходимая широкополосность усилителя обеспечивается.

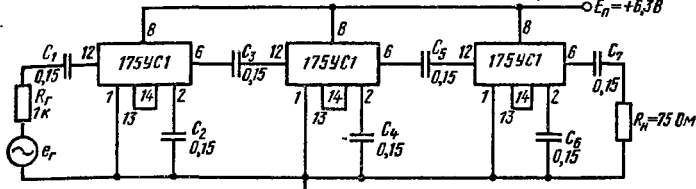


Рис. 4.17

Так как в условиях не оговорены требования на нижнюю граничную частоту усилителя, то выбираем переходные и блокирующие емкости, как в типовой схеме включения (рис. 4.16).

5. Проверяем коэффициент гармоник и стабильность коэффициента усиления. По справочнику при $u_{\text{вых}} = 0,5$ В величина K_r для данной ИМС не превышает 5%. При этом наибольшие нелинейные искажения будет создавать ИМС, стоящая на выходе усилителя; искажениями первых двух микросхем можно пренебречь. По справочнику, нестабильность коэффициента усиления ИМС на средних частотах за счет использования общей обратной связи не превышает 10% при всех условиях эксплуатации. Итак, рассчитанный усилитель (рис. 4.17) удовлетворяет всем требованиям задания.

4.10. Двухкаскадный усилитель, схема которого показана на рис. 4.18, имеет коэффициент гармоник $K_r = 20\%$ при требуемом эффективном уровне выходного тока, равном 5 мА. Определить сопротивление резистора обратной связи R_{oc} , который следует включить между эмиттером второго и базой первого транзистора для уменьшения K_r до уровня 5%. Определить также изменение значения тока генератора входного тока с внутренним сопротивлением 10 кОм, необходимое для того, чтобы сохранить требуемое значение выходного тока.

Решение

1. Из справочника выписываем требуемые параметры транзистора ГТ108А: $\beta = 40$, $r_b = 100$ Ом, $r_k = 400$ кОм.

2. Ориентировочно определяем режимные токи и напряжения в исходном усилителе:

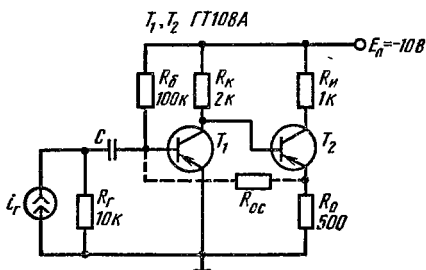


Рис. 4.18

$$I_{B1} \approx \frac{E_k}{R_6} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ МА}, I_{K1} = \beta I_{B1} = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ МА},$$

$$U_{K1} = E_k - I_{K1} R_k = 10 - 4 \cdot 2 = 2 \text{ В}, I_{K2} \approx I_{\Sigma 2} = \\ = \frac{U_{K1} - U_{\Sigma 2}}{R_0} \approx \frac{U_{K1}}{R_0} = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ МА},$$

$$U_{K\Sigma 2} = E_k - I_{\Sigma 2} (R_H + R_0) = 10 - 4(1 + 0,5) = 4 \text{ В}.$$

3. Определяем требуемые в дальнейшем расчете параметры каскадов по переменному току: $r_3 = \varphi_T / I_{\Sigma 3}$, отсюда $r_{31} = r_{32} \cong \cong 6 \text{ Ом}$; $r_k^* = r_k / (1 + \beta) \cong 10 \text{ кОм}$; $R_{Bx1} \cong r_{61} + r_{31} (1 + \beta_1) = = 100 + 6(1 + 40) \cong 340 \text{ Ом}$; $R_{Bx2} \cong r_{62} + (r_{32} + R_0)(1 + \beta_2) \cong \cong R_0 \beta_2 = 500 \cdot 40 = 20 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм}$, $\beta_{e1} = \beta_1 \frac{r_{k1}^*}{r_{k1}^* + R_k \parallel R_{Bx2}} = = 40 \frac{10}{10 + 2} = 33$; $\beta_{e2} = \beta_2 \frac{r_{k2}^*}{r_{k2}^* + R_H} = 40 \frac{10}{10 + 1} = 36$.

4. Определяем коэффициент усиления по току исходного усилителя:

$$K_I = \frac{R_T}{R_T + R_{Bx} \parallel R_6} \frac{R_6}{R_6 + R_{Bx1}} \beta_{e1} \frac{R_k}{R_k + R_{Bx2}} \beta_{e2} = \\ = \frac{10}{10 + 0,34 \parallel 100} \cdot \frac{100}{100 + 0,34} \cdot 33 \frac{2}{2 + 20} 36 = 105.$$

5. Находим ток генератора тока I_T в исходном усилителе:

$$I_T = \frac{I_H}{K_I} = \frac{5}{105} = 46,5 \cdot 10^{-3} \text{ МА} = 46,5 \text{ мкА}.$$

6. Определяем необходимую глубину обратной связи, считая, что введение сравнительно высокоомного резистора R_{oc} практически не шунтирует входную цепь усилителя. Согласно (4.3), имеем $F = 1 + \gamma K_I = K_I / K_{T,oc} = 20/5 = 4$, т. е. $\gamma = R_0 / (R_0 + + R_{oc}) = (4 - 1) / K_I = 0,0286$.

7. Определяем величину резистора R_{oc} из уравнения $R_0 / (R_0 + R_{oc}) = 0,0286$; при $R_0 = 500 \text{ Ом}$ имеем $R_{oc} = 17 \text{ кОм}$.

8. Определяем новое значение тока \bar{I}_T :

$$K_{I,oc} = \frac{K_I}{1 + \gamma K_I} = \frac{105}{4} = 26,2 \text{ и } \bar{I}_T = \frac{I_H}{K_{I,oc}} = \frac{5}{26,2} = \\ = 0,19 \text{ МА} = 190 \text{ мкА}.$$

Итак, введенная обратная связь позволила снизить коэффициент K_T до уровня 5%.

4.11. В трехкаскадном усилителе на полевых транзисторах (см. рис. 4.13) найти глубину общей отрицательной обратной связи при следующих условиях: крутизна характеристик всех полевых транзисторов $S = 4 \text{ мА/В}$, $R_{31} = R_{32} = R_{33} = R_{34} = 500 \text{ кОм}$, $R_{г} = R_{н} = 1 \text{ кОм}$, $R_{с1} = R_{с2} = 5 \text{ кОм}$, $R_{н3} = 2 \text{ кОм}$, $R_0 = 200 \text{ Ом}$, $R_{ос} = 2 \text{ кОм}$.

Ответ: 14,6.

4.12. В усилителе, изображенном на рис. 4.10, определить значения резисторов в цепи обратной связи R_0 и $R_{ос}$, обеспечивающих максимальную глубину обратной связи при $K_{U_{ос}} = 10$, $R_{г} = R_{н} = R_{к1} = 1 \text{ кОм}$. Воспользоваться значениями физических параметров транзисторов из задачи 4.10. Пренебречь влиянием резисторов базовых делителей.

Ответ: 61 и 549 Ом.

4.13. Подсчитать, в каких пределах изменяется величина входного сопротивления схемы, изображенной на рис. 4.11, при изменении сопротивления резистора R' в пределах от 100 Ом до 10 кОм. Считать, что $R_{г} = R_{н} = R_{к1} = R_{к2} = 1 \text{ кОм}$, $R_0 = 100 \text{ Ом}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$; транзисторы T_1 и T_2 имеют параметры $\beta = 50$, $r_6 = 200 \text{ Ом}$, $r_3 = 5 \text{ Ом}$, $r_k^* = 10 \text{ кОм}$.

Ответ: от 2,2 Ом до 79 Ом.

4.14. Определить, во сколько раз увеличится коэффициент усиления по напряжению в схеме на рис. 4.8, если резистор R_0 зашунтировать конденсатором большой емкости. Принять крутизну характеристики полевого транзистора $S = 5 \text{ мА/В}$ и $R_0 = 500 \text{ Ом}$.

Ответ: в 2,5 раза.

4.15. Определить величину входного сопротивления схемы на рис. 4.7 с учетом резисторов базового делителя и без их учета. Принять следующие параметры транзисторов: $\beta = 100$, $r_6 = 100 \text{ Ом}$, $r_3 = 5 \text{ Ом}$, сопротивления $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$, $R_0 = 500 \text{ Ом}$.

Ответ: 4,55 и 50 кОм.

4.16. Вычислить величину выходного сопротивления в схеме на рис. 4.9, если $R_k = 1 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$, $\beta = 100$. Считать, что $R_{н} \gg R_k$ и $R_{г} \gg R_{вк}$.

Ответ: 91 Ом.

ГЛАВА 5

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

Усилители мощности служат для обеспечения в нагрузке заданной мощности. При этом предъявляются определенные требования к коэффициенту полезного действия, уровню нели-