

Содержание.

Исходные данные для расчета:.....	5
Расчет по постоянному току.	6
Расчёт усилительного каскада по переменному току.	10
Перечень используемой литературы.	13

Для усилительного каскада на транзисторе, включенном по схеме (рис. 1) с общим эмиттером требуется определить:

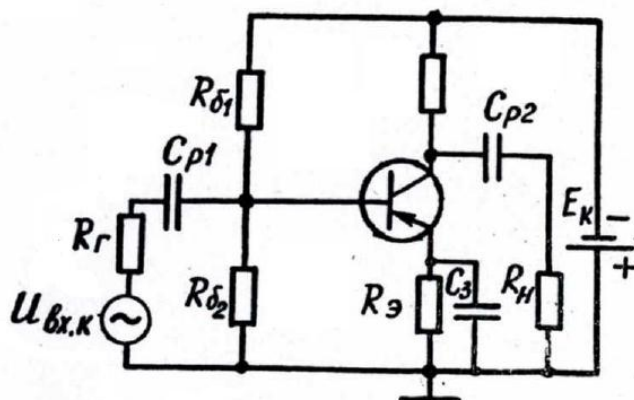


Рис. 1. Типовая принципиальная электрическая схема усилительного каскада по схеме с общим эмиттером.

1. Номиналы элементов R , C .
2. h – в рабочей точке.
3. $R_{вхк}$ – входное сопротивление каскада.
4. $R_{выхк}$ – выходное сопротивление каскада.
5. $K_{ик}$ – коэффициент передачи (усиления) напряжения входного сигнала, приложенного ко входу транзистора.
6. $K_{ик}^1$ – коэффициент передачи (усиления) напряжения входного сигнала, приложенного ко входу каскада.
7. $K_{ик}$ – коэффициент усиления по входному току сигнала через базу транзистора.
8. $K_{ик}^1$ – коэффициент усиления по входному току каскада.
9. $K_{рк}$ – коэффициент передачи (усиления) по мощности сигнала на входе каскада.
10. f_v – крайнее верхнее значение усиливаемой полосы частот.
11. $f_{ш}$ – предельная рабочая частота по шуму.
12. $K_{ш}$ – коэффициент шума на средних частотах.

Исходные данные для расчета:

тип транзистора ГТ308Б;

амплитуда напряжения на входе каскада $U_{вхк} = 0,3В$;

сопротивление источника сигнала $R_{Г} = 1 \text{ кОм}$;

сопротивление нагрузки $R_{Н} = 0,3 \text{ кОм}$;

нижнее значение усиливаемой полосы частот $f_{Н} = 200 \text{ Гц}$;

допустимые частотные искажения $M_{Н} = M_{В} = 0,8$;

минимальная рабочая температура $T^{\circ} K_{мин} 243^{\circ}K$;

максимальная рабочая температура $T^{\circ} K_{мак} 313^{\circ}K$;

напряжение источника питания $E_{К} = 12В$;

относительное отклонение тока коллектора $\Delta I_{К} / I_{К} = 0,3$.

Транзистор – ГТ308Б.

Транзистор сплавно-диффузионного типа, проводимость р-п-р.

Обратный ток коллектора при температуре $T_0^{\circ}K$ $I_{к0} = 5 \text{ мкА}$.

Постоянная времени цепи обратной связи на предельной высокой частоте $\tau_{к} = 400 \text{ пс} = 400 \cdot 10^{-12} \text{ с}$.

Емкость коллекторного перехода $C_{к} = 8 \text{ пФ} = 8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

Предельный режим.

$U_{КЭ}$ – постоянное напряжение коллектор-эмиттер, В.....15

$I_{К}$ – постоянный ток коллектора, мА.....50

$P_{К}$ – постоянная мощность, рассеиваемая на коллекторе, мВт.....150

f_{h3} – предельная частота, мГц.....20

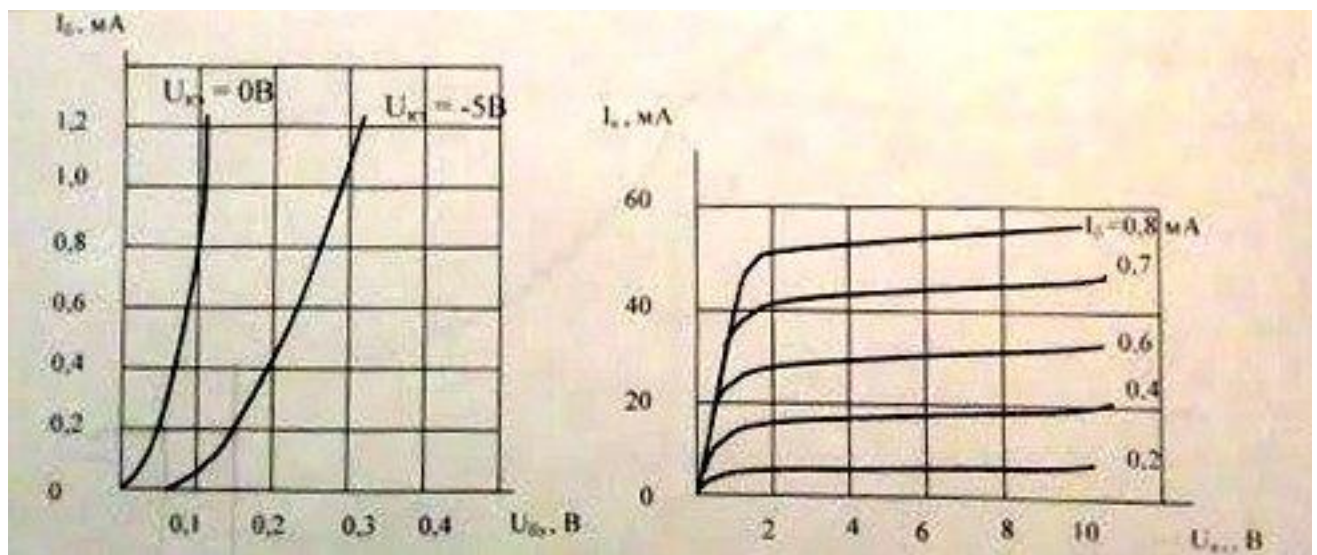


Рисунок 1. Входные и выходные характеристики транзистора ГТ308Б.

Расчет по постоянному току.

Сопротивление резистора R_K из соотношения

$$K_R \geq 1 + \frac{R_H}{R_K},$$

где $K_R = (1,2-1,5)$ при $R_H < 1k$.

Примем $R_K = 390 \Omega$.

R_3 определим из условия

$$R_3 = (0,1-0,5) R_K = 0,5 \cdot 390 \approx 180 \Omega.$$

Построим нагрузочную линию усилительного каскада по двум точкам

$$1\text{-я точка} - I_K = 0, \quad U_{KЭ} = E_K = 12B;$$

$$2\text{-я точка} - I_K = \frac{E_K}{R_H + R_K} = \frac{12}{300 + 390} \approx 17 mA;$$

Перенесем на отдельный рисунок характеристики транзистора заданного для расчетов (рис. 2).

Выберем рабочую точку на нагрузочной прямой с учетом обеспечения линейности характеристик, для точки покоя А получим: $U_{KЭ} = 4B$, $I_{K0} = 11mA$.

Определим мощность рассеивания на коллекторе в рабочей точке:

$$P_K = U_{KЭ} \cdot I_K = 4 \cdot 0,011 = 0,044 Bm.$$

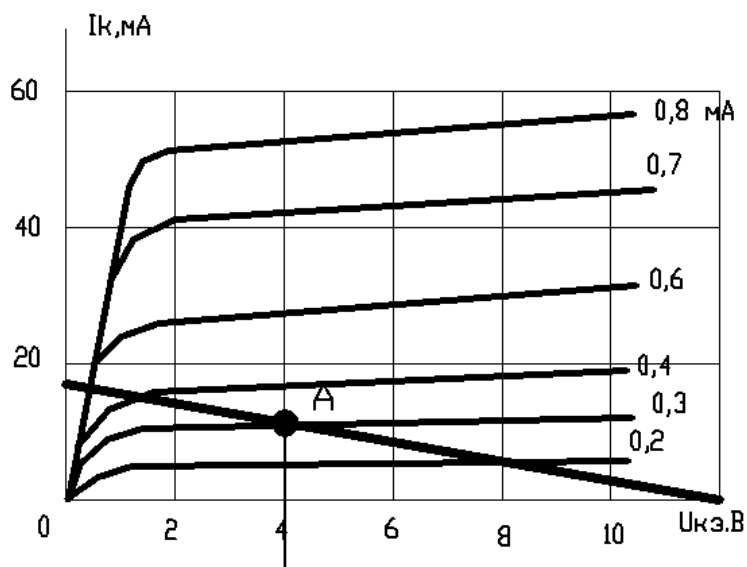


Рисунок 2. Выходные характеристики транзистора ГТ308Б.

Проведем дополнительные построения и определим ток базы в рабочей точке:

$$I_B = 0,3mA.$$

Нанесем на входные характеристики транзистора рабочую точку (рис. 3).

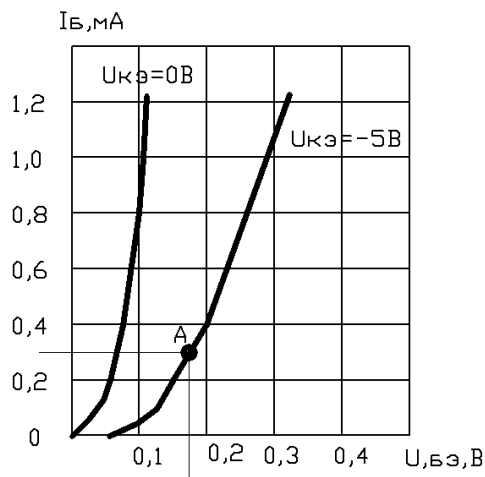


Рисунок 3. Входные характеристики транзистора ГТ308Б.

Определим h – параметры транзистора, соответствующие схеме с ОЭ, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора:

по входным характеристикам определяем:

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{кэ}} = \text{const}} = \frac{0,05}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ Ом}$$

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta U_{\text{кэ}}} \right|_{I_{\text{б}} = \text{const}} = \frac{0,01}{5} = 0,002.$$

по выходным характеристикам определяем:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{кэ}} = \text{const}} = \frac{15}{0,2} = 75;$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{к}}} \right|_{I_{\text{б}} = \text{const}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ См}.$$

Определим параметры Т-образной эквивалентной схемы (рис. 4):

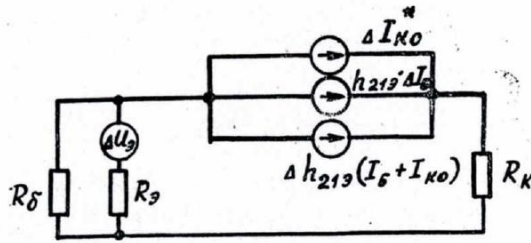


Рис. 4. Эквивалентная схема усилительного каскада на высоких частотах.

$$\alpha = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} = \frac{75}{1 + 75} = 0,986; \quad \beta = h_{21э} = 75.$$

Сопротивление коллекторного перехода:

$$r_k = \frac{h_{21э} + 1}{h_{22э}} = \frac{75 + 1}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 9,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление эмиттерного перехода:

$$r_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}} = \frac{0,002}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \text{ Ом}.$$

Сопротивление базы:

$$r_б = h_{11э} - \frac{h_{12э} \cdot (1 + h_{21э})}{h_{22э}} = 250 - \frac{0,002 \cdot (1 + 75)}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 60 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивление базы по справочным данным транзистора

$$r_б = \frac{\tau_k}{C_k} = \frac{400}{8} = 50 \text{ Ом}.$$

Найденные значения различаются незначительно, следовательно, h-параметры определены достоверно.

Определим приращение напряжения на эмиттерном переходе в зависимости от температуры

$$\Delta U_{э} = \varepsilon \cdot \Delta T = -2,3 \cdot 70 = -161 \text{ мВ},$$

где $\varepsilon = -2,3 \text{ мВ} / ^\circ\text{C}$ - коэффициент теплового смещения напряжения базы.

Приращение обратного тока коллектора в диапазоне температур

$$\begin{aligned} \Delta I_{k0} &= I_{k0}(T_0^\circ\text{C}) \cdot \left(2^{\frac{T_2^\circ\text{C} - T_0^\circ\text{C}}{10}} + 2^{\frac{T_1^\circ\text{C} - T_0^\circ\text{C}}{10}} - 1 \right) = 13,8 \cdot \left(2^{\frac{313 - 293}{10}} + 2^{\frac{243 - 293}{10}} - 1 \right) = \\ &= 13,8 \cdot (4 + 0,03125 - 1) = 41,8 \text{ мкА} \end{aligned}$$

Определим приращение коэффициента усиления по току в диапазоне температур произведем из графика приложения методических указаний.

При минимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_1)}{h_{21э}(T_0)} = 0,6; \quad h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 0,6 = 75 \cdot 0,6 = 45.$$

При максимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_2)}{h_{21э}(T_0)} = 1,1; \quad h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 1,1 = 75 \cdot 1,1 = 82.$$

$$\Delta h_{21э} = 82 - 45 = 37.$$

Определим значение сопротивления резистора R_6 , исходя из допустимого отклонения тока коллектора

$$R_6 \leq \frac{\beta \cdot (\Delta I_{кдон} R_3 - \Delta U_{эб})}{(1 + \beta) \cdot \left[\Delta I_{к0} + \frac{I_3 \Delta \beta}{(1 + \beta)^2} \right] - \Delta I_{кдон}} - R_3 = \frac{75 \cdot (2,3 \cdot 0,18 - 0,161)}{(1 + 75) \cdot \left[0,0418 + \frac{11,3 \cdot 37}{(1 + 75)^2} \right]} - 0,18 = 3,11 \text{ кОм}$$

Примем значение $R_6 = 3 \text{ кОм}$.

Определим значения сопротивления резисторов

$$R_{61} = \frac{E_{\kappa} \cdot R_6}{I_3 \cdot R_3} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^3}{11,3 \cdot 10^{-3} \cdot 180} = 17,7 \text{ кОм},$$

где $I_3 = I_{\kappa} + I_6 = 11 + 0,3 = 11,3 \text{ мА}$.

примем $R_{61} = 18 \text{ кОм}$.

$$R_{62} = \frac{1}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_{61}}} = \frac{1}{\frac{1}{3,11 \cdot 10^3} + \frac{1}{18 \cdot 10^3}} = 2,65 \text{ кОм} \Rightarrow 2,7 \text{ кОм}.$$

Расчёт усилительного каскада по переменному току.

Согласно эквивалентной схеме сопротивление нагрузки усилительного каскада является эквивалентное сопротивление

$$R'_H = \frac{R_k R_H}{R_k + R_H} = \frac{390 \cdot 300}{390 + 300} = 170 \text{ Ом.}$$

На рис. 4 через точку покоя А проведем нагрузочную прямую под углом α

$$\alpha = \arctg \frac{1}{R'_H \cdot K_M} = \arctg \frac{1}{0.17 \cdot 10} = 30^\circ,$$

где $K_M = \frac{m_{I_K}}{m_{U_{к\bar{y}}}} = 10$ - коэффициент для уравнивания масштабов.

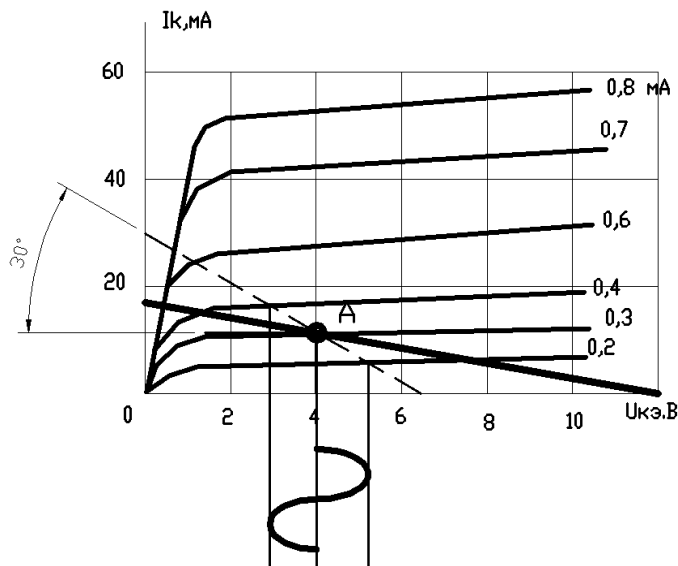


Рис. 4.

Определим входное сопротивление каскада

$$R_{B\bar{K}k} = \frac{R_{\bar{o}} R_{\text{вхт}}}{R_{\bar{o}} + R_{\text{вхт}}} = \frac{3,11 \cdot 10^3 \cdot 250}{3,11 \cdot 10^3 + 250} = 0,23 \text{ кОм,}$$

где $R_{\text{вхт}} = h_{11\bar{o}} = 250 \text{ Ом.}$

Определим амплитуду входного тока, поступающего в усилительный каскад

$$I_{B\bar{K}k} = \frac{U_{\text{вхк}}}{R_2 + R_{\text{вхк}}} = \frac{0.3}{2,7 \cdot 10^3 + 230} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Определим амплитуду напряжения сигнала на входе транзистора

$$U_{\text{вхт}} = I_{\text{вхк}} R_{\text{вхк}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 230 = 23 \text{ мВ.}$$

На входных характеристиках (рис. 5.) отложим размах переменного напряжения $U_{\text{вхт}}$ относительно точки покоя.

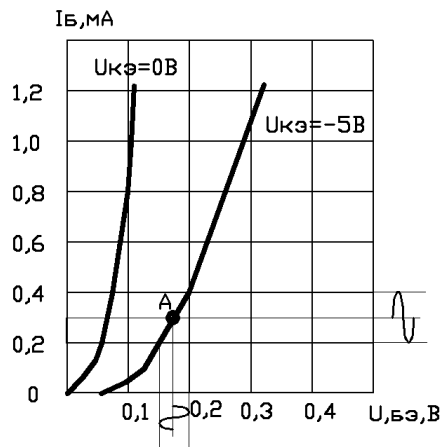


Рис. 5.

По крайним изменениям U_{BXT} на входной характеристике определим амплитудное значение входного тока транзистора

$$I_{BXT} = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Крайние значения тока базы определим на выходных характеристиках (рис. 4). По ним определим амплитуду сигнала на нагрузке, т.е. на выходе каскада $U_{BKK}=1 \text{ В}$.

Определим выходное сопротивление транзистора

$$R_{BbIXT} = \frac{1}{h_{22\phi}} = \frac{1}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 1250 \text{ Ом.}$$

Определим выходное сопротивление каскада

$$R_{BbIXK} = \frac{R_K R_{BbIXT}}{R_K + R_{BbIXT}} = \frac{1250 \cdot 390}{1250 + 390} = 0,3 \text{ кОм.}$$

Определим коэффициент усиления

$$K_{Uk} = \frac{U_{BbIXK}}{U_{BXT}} = \frac{1}{0,023} = 43.$$

Определим коэффициент передачи

$$K'_{Uk} = \frac{U_{BbIXK}}{U_{BXT}} = \frac{1}{0,3} = 3,3.$$

Определим коэффициент усиления K_{Ik}

$$K_{Ik} = \frac{I_{BbIXT}}{I_{BXT}} = \frac{5}{0,1} = 50.$$

Определим коэффициент усиления K'_{Ik}

$$K'_{Ik} = \frac{I_{BbIXT}}{I_{BXT}} = \frac{5}{0,11} = 45.$$

Определим коэффициент усиления по мощности

$$K_{Pk} = K_{Ik} K_{Uk} = 50 \cdot 43 = 2150.$$

Аналитический вариант расчета:

$$R_{BKT} = r_o + r_{\pi} (h_{21\beta} + 1) = 60 + 2,5 \cdot (75 + 1) = 250 \text{ Ом}$$

Коэффициент токораспределения между входным сопротивлением транзистора и эквивалентным сопротивлением цепи базы

$$\gamma_1 = \frac{R_o}{R_o + R_{\text{вх.Т}}} = \frac{3110}{3110 + 250} = 0,93.$$

Коэффициент токораспределения между нагрузкой и выходным сопротивлением транзистора

$$\gamma_2 = \frac{R_{\kappa} \parallel R_{\text{выхТ}}}{R_{\text{н}} + R_{\kappa} \parallel R_{\text{выхТ}}} = \frac{300}{300 + 300} = 0,5.$$

$$K'_{Ik} = h_{21\beta} \gamma_1 \gamma_2 = 75 \cdot 0,93 \cdot 0,5 = 35.$$

$$K_{Uk} = h_{21\beta} \frac{R'_{\text{н}}}{R_{\text{вхт}}} = 75 \frac{170}{250} = 51.$$

Сравнительная оценка значений параметров полученных разными вариантами расчета, позволяет заключить, что инструментальная погрешность расчета графическим путем не превышает 25%.

Найдем емкости конденсаторов, для этого зададим влияние каждой из емкостей на коэффициент частотных искажений, где $M_{\text{н}} = M_{\text{Н1}} \cdot M_{\text{Н2}} \cdot M_{\text{Н3}} = 0,8$.

Положим $M_{\text{Н1}} = M_{\text{Н2}} = M_{\text{Н3}} = 0,93$, тогда

$$C1 \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{н}} (R_{\Gamma} + R_{\text{ВХК}})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\text{Н1}}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot (1000 + 230)} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,93^2} - 1} = 2,56 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 0,33 \text{ мкФ}$.

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{н}} (R_{\kappa} + R_{\text{н}})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\text{Н2}}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot (390 + 300)} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,93^2} - 1} = 4,56 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 0,47 \text{ мкФ}$.

$$C3 \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{н}} (R_{\text{с}})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\text{Н3}}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 180} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,93^2} - 1} = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 2 \text{ мкФ}$.

Перечень используемой литературы.

1. Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. Электронная техника. М. «Академия», 2008 г.
2. Л.А. Пигарев. Конспект лекций по дисциплине «Электроника» при подготовке бакалавра по направлению 110800.62 – «Агроинженерия», (заочная форма обучения).
3. Ю.С. Забродин. Промышленная электроника. «Высшая школа», М., 1982.
4. Электроника. Методические указания по изучению дисциплины и задание для контрольной работы (студентам заочникам). М., 1985.