

Содержание

Исходные данные для расчета:	5
Расчет по постоянному току.	7
Расчёт усилительного каскада по переменному току.	11
Перечень используемой литературы.....	15

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

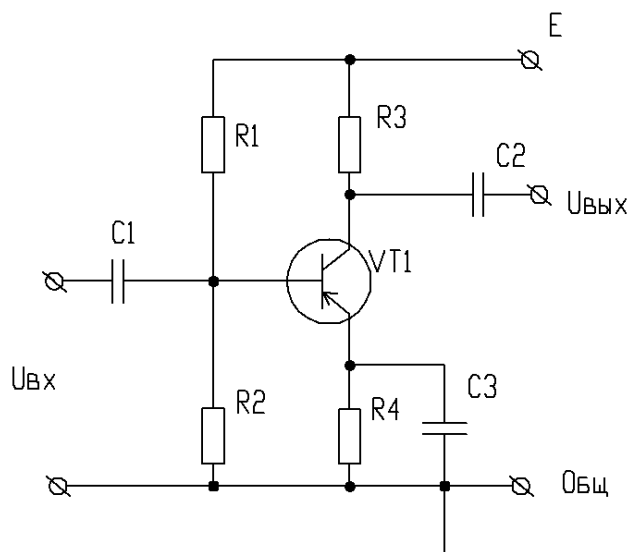


Рисунок 1. Типовая принципиальная электрическая схема усилительного каскада по схеме с общим эмиттером.

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 $U_{\text{вхк}} = 0,4\text{В}$;
- сопротивление источника сигнала $R_{\text{Г}} = 1,1\text{кОм}$;
- сопротивление нагрузки $R_{\text{Н}} = 0,15\text{кОм}$;
- нижнее значение усиливаемой полосы частот $f_{\text{Н}} = 300\text{ Гц}$;
- допустимые частотные искажения $M_{\text{Н}} = M_{\text{В}} = 0,8$;
- минимальная рабочая температура $T^{\circ}\text{ К}_{\text{мин}} 243^{\circ}\text{К}$;
- максимальная рабочая температура $T^{\circ}\text{ К}_{\text{мак}} 313^{\circ}\text{К}$;
- напряжение источника питания $E_{\text{К}} = 12\text{В}$;
- относительное отклонение тока коллектора $\Delta I_{\text{К}} / I_{\text{К}} = 0,3$.

Транзистор – ГТ308Б.

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

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

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

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

Предельный режим.

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

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

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

$f_{\text{hэ}}$ – предельная частота, МГц.....20

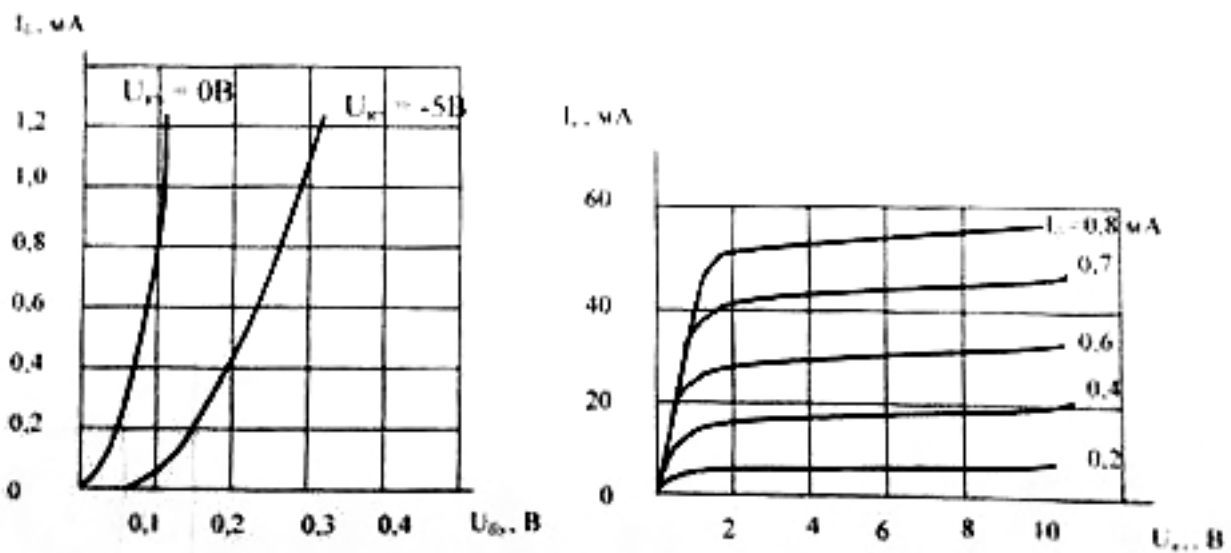


Рисунок 2. Входные и выходные характеристики транзистора ГТ308Б.

Расчет по постоянному току.

Сопротивление резистора R_K выбирается из соотношения

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

где $K_R = (1,2-1,5)$ при $R_H < 1k$.

Примем $R_K = 470 \text{ Ом}$.

R_3 определим из условия

$$R_3 = (0,1-0,5) R_K = (0,1-0,5) \cdot 470 = 220 \text{ Ом}.$$

Нагрузочная линия усилительного каскада строится по двум точкам

1-я точка - $I_K = 0$, $U_{K3} = E_K = 12 \text{ В}$;

$$2\text{-я точка} - I_K = \frac{E_K}{R_H + R_K} = \frac{12}{150 + 470} = 19 \text{ мА};$$

Нагрузочная прямая изображена на рисунке 3.

Выберем рабочую точку на нагрузочной прямой с учетом обеспечения линейности характеристик, для точки покоя А получим: $U_{K3} = 5 \text{ В}$, $I_{K0} = 11 \text{ мА}$.

Определим мощность рассеивания на коллекторе в рабочей точке:

$$P_K = U_{K3} \cdot I_K = 5 \cdot 0,011 = 0,055 \text{ Вт}.$$

$I_K, \text{ мА}$

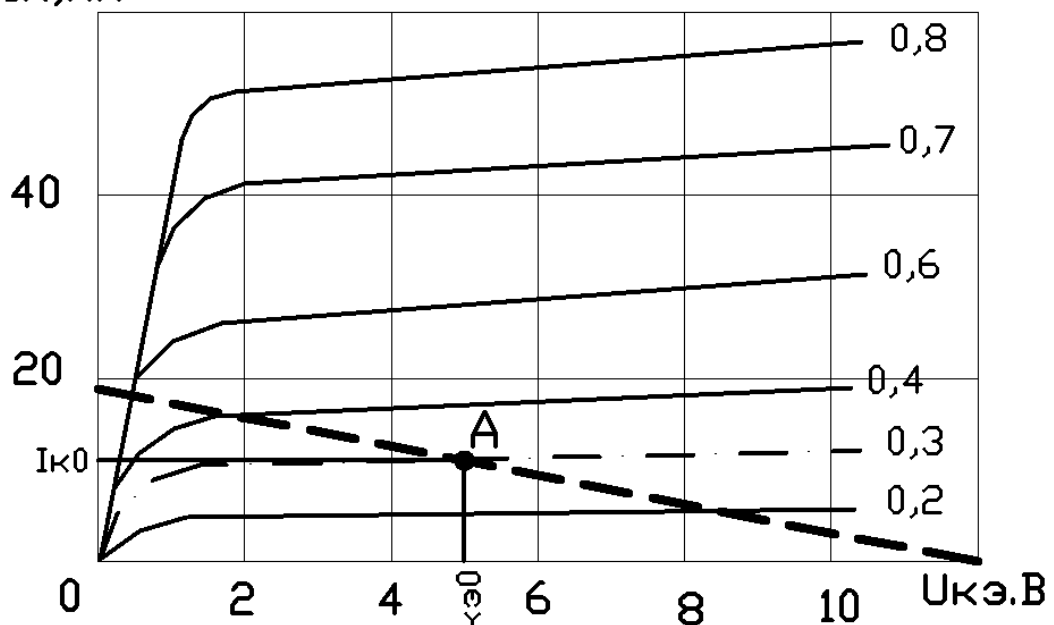


Рисунок 3. Выходные характеристики транзистора ГТ308Б.

Проведем дополнительные построения и определим ток базы в рабочей точке: $I_{Б0}=0,3\text{мА}$.

Нанесем на входные характеристики транзистора рабочую точку (рис. 4).

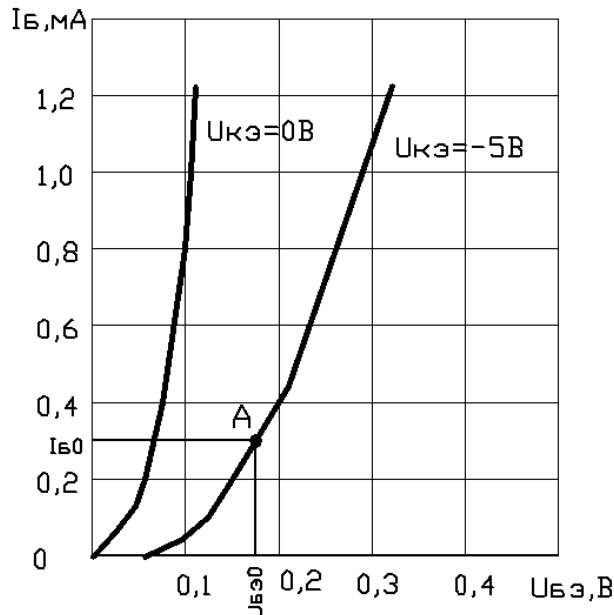


Рисунок 4. Входные характеристики транзистора ГТ308Б.

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:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{кэ}} = \text{const}} = \frac{16}{0,2} = 80,$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{к}}} \right|_{I_{\text{б}} = \text{const}} = \frac{1,58 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,79 \cdot 10^{-3} \text{ См.}$$

Определим параметры Т-образной эквивалентной схемы (рис. 5):

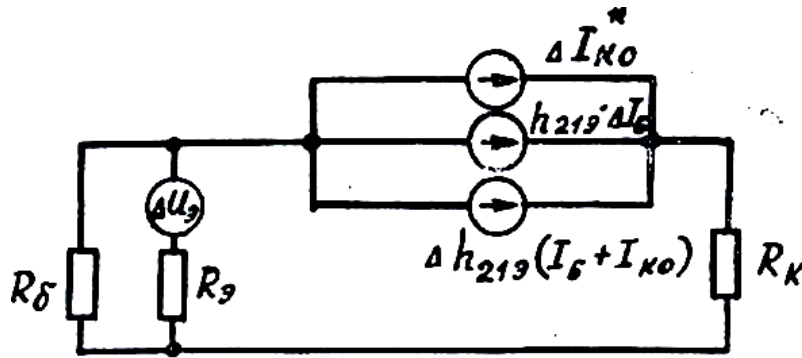


Рисунок 5. Эквивалентная схема усилительного каскада на высоких частотах.

$$\alpha = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} = \frac{80}{1 + 80} = 0,988; \quad \beta = h_{21э} = 80.$$

Сопротивление коллекторного перехода:

$$r_k = \frac{h_{21э} + 1}{h_{22э}} = \frac{80 + 1}{0,79 \cdot 10^{-3}} = 10,2 \cdot 10^4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление эмиттерного перехода:

$$r_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}} = \frac{0,002}{0,79 \cdot 10^{-3}} \approx 2,5 \text{ Ом}.$$

Сопротивление базы:

$$r_б = h_{11э} - \frac{h_{12э} \cdot (1 + h_{21э})}{h_{22э}} = 250 - \frac{0,002 \cdot (1 + 80)}{0,79 \cdot 10^{-3}} \approx 48 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивление базы по справочным данным транзистора

$$r_б = \frac{\tau_\kappa}{C_\kappa} = \frac{400}{8} = 50 \text{ Ом}.$$

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

Определим приращение напряжения на эмиттерном переходе в зависимости от температуры

$$\Delta U_{ээ} = \varepsilon \cdot \Delta T = -2,3 \cdot 50 = -115 \text{ мВ},$$

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

Приращение обратного тока коллектора в диапазоне температур

$$\Delta I_{k0} = I_{k0} (T_0^{\circ K}) \cdot \left(2^{\frac{T_2^{\circ K} - T_0^{\circ K}}{10}} + 2^{\frac{T_1^{\circ K} - T_0^{\circ K}}{10}} - 1 \right) =$$

$$= 13,8 \cdot \left(2^{\frac{313-293}{10}} + 2^{\frac{243-293}{10}} - 1 \right) = 13,8 \cdot (4 + 0,03125 - 1) = 41,8 \text{ мкА.}$$

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

При минимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_1)}{h_{21э}(T_0)} = 0,6; \quad h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 0,7 = 80 \cdot 0,6 = 48.$$

При максимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_2)}{h_{21э}(T_0)} = 1,1; \quad h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 1,2 = 80 \cdot 1,2 = 96.$$

$$\Delta h_{21э} = 96 - 48 = 48.$$

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

$$R_6 \leq \frac{\beta \cdot (\Delta I_{кдон} R_9 - \Delta U_{эб})}{(1 + \beta) \cdot \left[\Delta I_{к0} + \frac{I_9 \Delta \beta}{(1 + \beta)^2} \right] - \Delta I_{кдон}} - R_9 = \frac{80 \cdot (2,3 \cdot 0,22 - 0,115)}{(1 + 80) \cdot \left[0,0418 + \frac{11,3 \cdot 48}{(1 + 80)^2} \right]} - 0,22 = 2,92 \text{ кОм}$$

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

Определим значения сопротивления резисторов

$$R_{61} = \frac{E_{\kappa} \cdot R_6}{I_9 \cdot R_9} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^3}{11,3 \cdot 10^{-3} \cdot 220} = 14,5 \text{ кОм,}$$

где $I_9 = I_{\kappa} + I_{\theta} = 11 + 0,3 = 11,3 \text{ мА}$.

примем $R_{61} = 15 \text{ кОм}$.

$$R_{62} = \frac{1}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_{61}}} = \frac{1}{\frac{1}{3 \cdot 10^3} + \frac{1}{15 \cdot 10^3}} = 2,52 \text{ кОм.}$$

Примем $R_{62} = 2,4 \text{ кОм}$.

Расчёт усилительного каскада по переменному току.

Согласно эквивалентной схеме сопротивление нагрузки усилительного каскада является эквивалентное сопротивление

$$R'_H = \frac{R_k R_H}{R_k + R_H} = \frac{470 \cdot 220}{470 + 220} = 150 \text{ Ом.}$$

На рисунке 6 через точку покоя А проведем нагрузочную прямую под углом α

$$\alpha = \arctg \frac{1}{R'_H \cdot K_M} = \arctg \frac{1}{0.15 \cdot 10} = 33^\circ,$$

где $K_M = \frac{m_{I_k}}{m_{U_{кз}}} = 10$ - коэффициент для уравнивания масштабов.

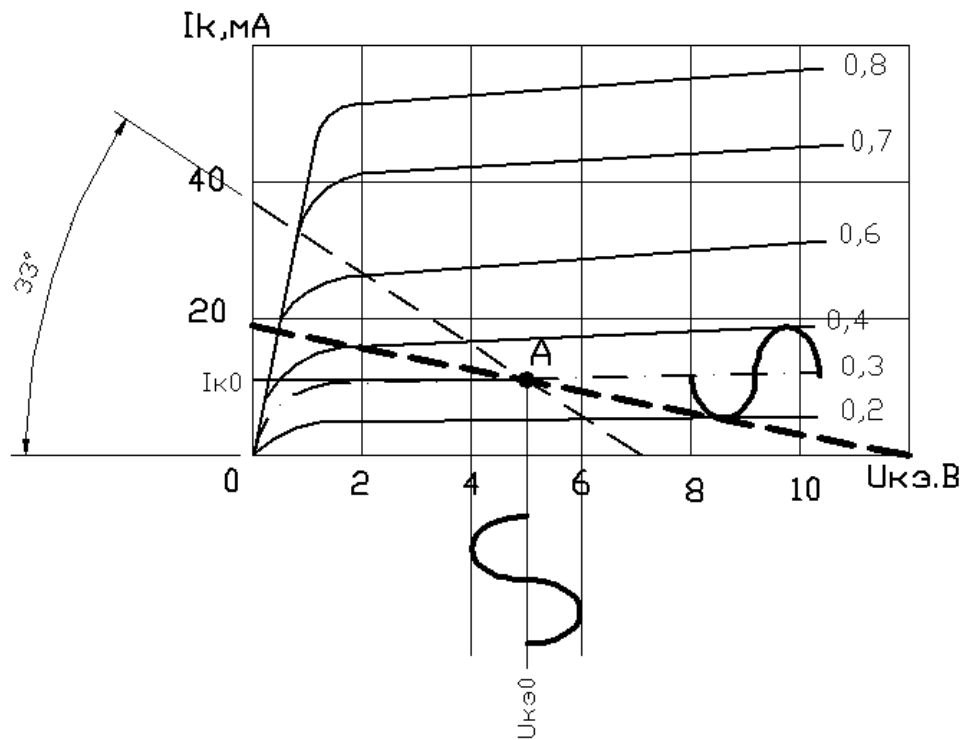


Рисунок 6. Нагрузочная прямая по переменному току.

Определим входное сопротивление каскада

$$R_{B\kappa k} = \frac{R_o R_{ext}}{R_o + R_{ext}} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 250}{3 \cdot 10^3 + 250} = 0,23 \text{ кОм,}$$

где $R_{ext} = h_{113} = 250 \text{ Ом.}$

Определим амплитуду входного тока, поступающего в усилительный каскад

$$I_{BXK} = \frac{U_{axk}}{R_2 + R_{axk}} = \frac{0,4}{2,4 \cdot 10^3 + 230} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ A.}$$

Определим амплитуду напряжения сигнала на входе транзистора

$$U_{axm} = I_{axk} R_{axk} = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 230 = 35 \text{ мВ.}$$

На входных характеристиках (рис. 7.) отложим размах переменного напряжения U_{BXT} относительно точки покоя.

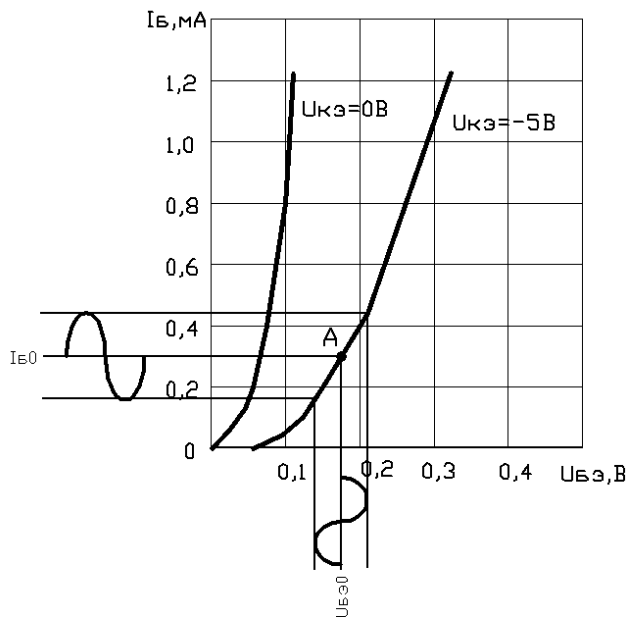


Рисунок 7.

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

$$I_{BXT} = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ A.}$$

Крайние значения тока базы определим на выходных характеристиках (рис. 6). По ним определим амплитуду сигнала на нагрузке, т.е. на выходе каскада $U_{BXC} = 1 \text{ В.}$

Определим выходное сопротивление транзистора

$$R_{BXT} = \frac{1}{h_{22}} = \frac{1}{0,79 \cdot 10^{-3}} = 1265 \text{ Ом.}$$

Определим выходное сопротивление каскада

$$R_{BbIKK} = \frac{R_K R_{\text{выхт}}}{R_K + R_{\text{выхт}}} = \frac{1265 \cdot 470}{1265 + 470} = 0,34 \text{ кОм}.$$

Определим коэффициент усиления

$$K_{Uk} = \frac{U_{\text{выхк}}}{U_{\text{вхт}}} = \frac{1}{0.035} = 29.$$

Определим коэффициент передачи

$$K'_{Uk} = \frac{U_{\text{выхк}}}{U_{\text{вхк}}} = \frac{1}{0.4} = 2,5.$$

Определим коэффициент усиления K_{Ik}

$$K_{Ik} = \frac{I_{\text{выхТ}}}{I_{\text{вхТ}}} = \frac{6.5}{0.13} = 50.$$

Определим коэффициент усиления K'_{Ik}

$$K'_{Ik} = \frac{I_{\text{выхТ}}}{I_{\text{вхк}}} = \frac{6.5}{0.15} = 43.$$

Определим коэффициент усиления по мощности

$$K_{Pk} = K_{Ik} K_{Uk} = 50 \cdot 29 = 1450.$$

Аналитический вариант расчета:

$$R_{BbT} = r_{\sigma} + r_{\sigma} (h_{21\sigma} + 1) = 48 + 2,5 \cdot (80 + 1) = 250,5 \text{ Ом}$$

Коэффициент токораспределения между входным сопротивлением транзистора и эквивалентным сопротивлением цепи базы

$$\gamma_1 = \frac{R_{\sigma}}{R_{\sigma} + R_{\text{вх.Т}}} = \frac{3000}{3000 + 250} = 0,92.$$

Коэффициент токораспределения между нагрузкой и выходным сопротивлением транзистора

$$\gamma_2 = \frac{R_K \parallel R_{\text{выхТ}}}{R_H + R_K \parallel R_{\text{выхТ}}} = \frac{340}{150 + 340} = 0,69.$$

$$K'_{Ik} = h_{21\sigma} \gamma_1 \gamma_2 = 80 \cdot 0,92 \cdot 0,69 = 50.$$

$$K_{Uk} = h_{21\sigma} \frac{R'_H}{R_{\text{вхт}}} = 80 \frac{150}{250} = 48.$$

Сравнительная оценка значений параметров полученных разными вариантами расчета, позволяет заключить, что инструментальная погрешность расчета графическим путем не превышает 29%.

Найдем емкости конденсаторов, для этого зададим влияние каждой из емкостей на коэффициент частотных искажений, где $M_H = M_{H1} \cdot M_{H2} \cdot M_{H3} = 0,8$.

Положим $M_{H1} = M_{H2} = M_{H3} = 0,93$, тогда

$$C1 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_f + R_{BKK})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H1}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot (1100 + 230)} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,93^2} - 1} = 1,6 \cdot 10^{-7} \Phi$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 0,2$ мкФ.

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_k + R_n)} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H2}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot (430 + 200)} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,93^2} - 1} = 3,3 \cdot 10^{-7} \Phi$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 0,33$ мкФ.

$$C3 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_s)} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H3}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 220} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,93^2} - 1} = 0,95 \cdot 10^{-6} \Phi$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 1$ 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.