

Расчёт двухкаскадного усилителя.

1. Задание: Определить параметры элементов двухкаскадного усилителя (схема которого приведена на рисунке 2) и построить график амплитудно-частотной характеристики.
2. Исходные данные для расчёта:

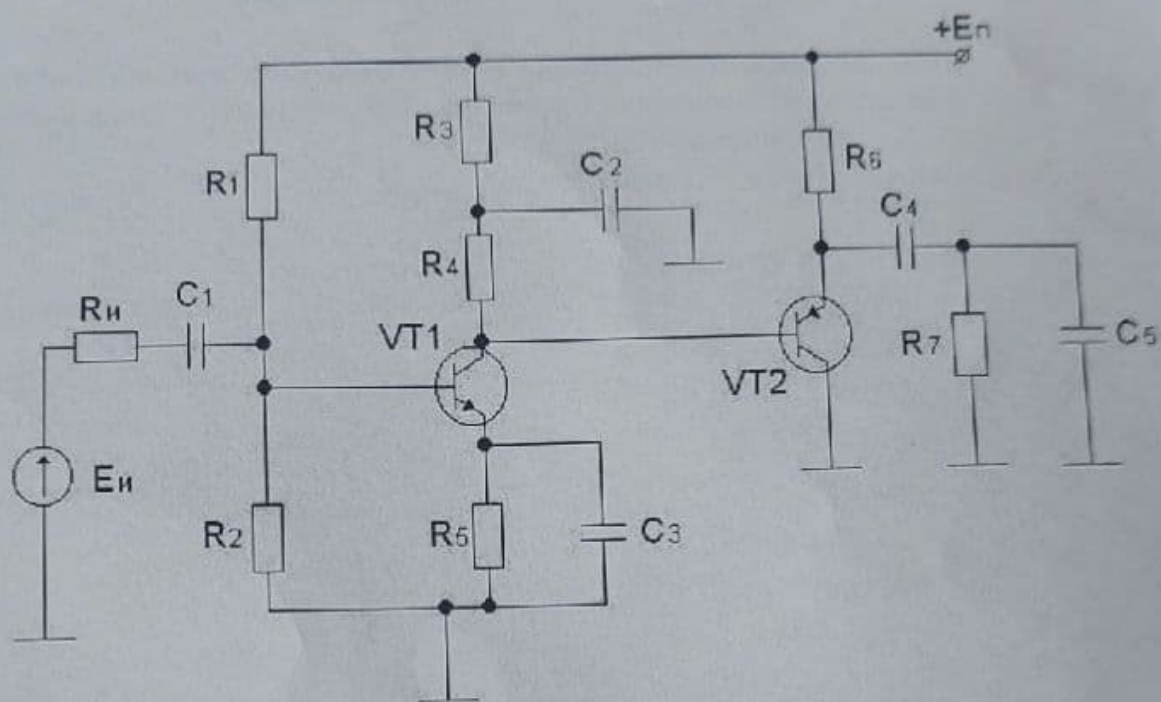
2.1 Параметры транзисторов:

- 2.1.1. $\beta = 20 \dots 90$;
- 2.1.2. $f_T = 250$ МГц;
- 2.1.3. $C_K = 7$ пФ;
- 2.1.4. $U_{кэ доп} \leq 25$ В;
- 2.1.5. $I_{к доп} \leq 100$ мА;
- 2.1.6. $P_{к доп} \leq 150$ мВт;

- 2.2. $E_{п} = (4+N)$ В;
- 2.3. $f_{нижн.зч} = (20+N)$ Гц;
- 2.4. $R_7 = (100+10 \cdot N)$ Ом;
- 2.5. $R_{и} = (200+20 \cdot N)$ Ом;
- 2.6. $m = (1,4+0,05 \cdot N)$;
- 2.7. $C_5 = (1000 - 30 \cdot N)$; нФ

Здесь N – номер варианта (задаётся преподавателем).

3. Рекомендуемая литература:



VT1 – KT315A
VT2 – KT361D

Рисунок 1. Схема для задания.

4. Методика выполнения расчётного задания.

4.1. Расчётное значение коэффициента усиления по току для транзисторов:

$$\beta_{\text{расч.}} = \sqrt{(\min \beta) \cdot (\max \beta)};$$

4.2. Расчёт для постоянных токов и напряжений (режим покоя).

4.2.1. $R_6 = R_7$;

4.2.2. $U_{R6} = \frac{E_{\text{п}} - U_{\text{КЭ.МН.}}}{1,32 + \frac{4,4}{\beta_{\text{п}}}}; U_{\text{КЭ.МН.}} \approx 1\text{В};$

4.2.3. Сила коллекторного тока покоя для VT2:

$$I_{\text{К.П.2}} = \frac{U_{R6}}{R_6};$$

4.2.4. Сила базового тока покоя для VT2:

$$I_{\text{Б.П.2}} = \frac{I_{\text{К.П.2}}}{\beta_{\text{расч.}}};$$

4.2.5. Сила коллекторного тока покоя для VT1:

$$I_{\text{К.П.1}} \approx 10 \cdot I_{\text{Б.П.2}};$$

Примечание: возможно уточнение этой формулы в ходе расчёта для средних частот.

4.2.6. Коллекторное напряжение покоя для VT1:

$$U_{\text{К.П.1}} = U_{\text{Б.П.2}} = E_{\text{п.}} - (U_{R6} + U_{\text{БЭ.2}}); U_{\text{БЭ.2}} \approx 0,65\text{В};$$

4.2.7. $R_3 + R_4 = R^* = \frac{E_{\text{п.}} - U_{\text{К.П.1}}}{I_{\text{К.П.1}}};$

4.2.8. $R_4 = \frac{R^* \cdot R_{\text{ВХ.ЭП}}}{R^* \cdot (m-1) + m \cdot R_{\text{ВХ.ЭП}}};$ здесь $R_{\text{ВХ.ЭП.}}$ - входное

сопротивление эмиттерного повторителя на VT2 для средних частот.

$$R_{\text{ВХ.ЭП.}} = r_{\text{БЭ.2}} + (1 + \beta_{\text{расч.}}) \cdot \frac{R_6}{2}; r_{\text{БЭ.2}} = \frac{\beta_{\text{расч.}}}{S_2};$$

$$S_2 = \frac{I_{\text{К.П.2}}}{\varphi_{\text{Т.}}}; \varphi_{\text{Т.}} \approx 25\text{мВ};$$

4.2.9. $R_3 = R^* - R_4$;

4.2.10. $R_5 = 0,1 \cdot R^*$;

4.2.11. Эмиттерное напряжение покоя для VT1:

$$U_{Э.П.1} = I_{К.П.1} \cdot R_3;$$

4.2.12. Базовое напряжение покоя для VT1:

$$U_{Б.П.1} = U_{Э.П.1} + U_{БЭ.1}; U_{БЭ.1} \approx 0,65В;$$

$$4.2.13. I_{R2} = 40 \cdot I_{Б.П.1}; I_{R1} = 41 \cdot I_{Б.П.1}; I_{Б.П.1} = \frac{I_{К.П.1}}{\beta_{расч.}};$$

$$4.2.14. R_1 = \frac{E_{п.} - U_{Б.П.1}}{I_{R1}}; R_2 = \frac{U_{Б.П.1}}{I_{R2}};$$

4.3. Расчёт для средних частот.

4.3.1. Входное сопротивление усилителя:

$$R_{ВХ.УС.} = \frac{R_{ДЕЛ.} \cdot R_{ВХ.1}}{R_{ДЕЛ.} + R_{ВХ.1}}; R_{ДЕЛ.} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2};$$

Здесь входное сопротивление VT1: $R_{ВХ.1} = r_{БЭ.1}$;

$$r_{БЭ.1} = \frac{\beta_{расч.}}{S_1}; S_1 = \frac{I_{К.П.1}}{\varphi_T};$$

4.3.2. Коэффициент передачи входной цепи:

$$K_{ВХ.Ц.} = \frac{R_{ВХ.УС.}}{R_{ВХ.УС.} + R_{И.}};$$

4.3.3. Модуль коэффициента усиления каскада с общим эмиттером:

$$|K_{О.ОЭ.}| = S_1 \cdot R_{И.1}; R_{И.1} = \frac{R_4 \cdot R_{ВХ.ЭП.}}{R_4 + R_{ВХ.ЭП.}};$$

4.3.4. Коэффициент передачи эмиттерного повторителя:

$$K_{О.ЭП.} = \frac{S_2 \cdot R_{И.2}}{1 + S_2 \cdot R_{И.2}}; R_{И.2} = \frac{R_6}{2};$$

4.3.5. Сквозной коэффициент усиления всего усилителя:

$$K_{О.СКВ.} = K_{ВХ.Ц.} \cdot |K_{О.ОЭ.}| \cdot K_{О.ЭП.};$$

4.3.6. Амплитуда коллекторного напряжения для VT1:

$$U_{К.м.1} = \min \left\{ \begin{array}{l} U_{R4} \\ U_x \end{array} \right.$$

$$U_{R4} = I_{К.П.1} \cdot R_4;$$

$$U_x = U_{К.П.1} - (U_{Э.П.1} + U_{КЭ.М.И.Н.});$$

4.3.7. Амплитуда коллекторного тока для VT1:

$$I_{KT.1} = \frac{U_{K.m.1}}{R_{H.1}};$$

Минимальное значение силы коллекторного тока для VT1:

$$\min I_{K.1} = I_{K.П.1} - I_{K.m.1};$$

Кратность изменения силы коллекторного тока для VT1:

$$K_{KT.1} = \frac{I_{K.П.1}}{\min I_{K.1}};$$

4.3.8. Если $K_{KT.1} \leq 10$, то продолжать расчёт дальше.

В противном случае следует вернуться к п. 4.2.5. и принять

$$I_{K.П.1} = K_{KT.1} \cdot I_{Б.П.2};$$

Затем переделать расчёты по п.п. 4.2.6.....4.3.7. до выполнения условия в п.4.3.8.

4.3.9. Амплитуда выходного напряжения усилителя:

$$U_{ВЫХ.m.1} = U_{KT.1} \cdot K_{O.ЭП.1};$$

4.3.10. Коэффициент нелинейных искажений (коэффициент гармоник):

$$K_{\Gamma.1} \approx 1,5 \cdot 72 \cdot U_{ВХ.m.1}^2 = 108 \cdot U_{ВХ.m.1}^2;$$

Здесь амплитуда входного напряжения:

$$U_{ВХ.m.1} = \frac{U_{ВВХ.m.1}}{K_{O.ЭП.1} \cdot |K_{O.ОЭ.1}|};$$

4.3.11. Максимальный коэффициент полезного действия:

$$\max \eta = \frac{\max P_{R7}}{\max P_{ПОТРЕБ.}};$$

$$\max P_{R7} = \frac{(U_{ВВХ.m.1})^2}{2 \cdot R_{\Gamma}};$$

$$\max P_{ПОТРЕБ.} = \max P_{R7} + (I_{K.П.1} + I_{K.П.2} + I_{R1}) \cdot E_{П.1};$$

4.4. Расчёт для нижних частот.

$$4.4.1. \quad C_2 = \frac{R^*}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot (f_{\text{НИЖН.ЗДБ}}) \cdot R_3 \cdot R_4};$$

$$4.4.2 \quad C_3 = \frac{(1 + S_1 \cdot R_5) \cdot C_2 \cdot R_3 \cdot R_4}{R_5 \cdot R^*};$$

$$4.4.3. \quad C_1 = \frac{R_5 \cdot C_3}{R_{\text{И.}} + \{[r_{\text{БЭ.1}} + (1 + \beta) \cdot R_5] \parallel R_{\text{ДЕЛ.}}\}};$$

$$4.4.4. \quad C_4 = \frac{R_5 \cdot C_3}{R'_{\text{ВЫХ.ЭП.}} + R_7};$$

Здесь выходное сопротивление эмиттерного повторителя для низких частот:

$$R'_{\text{ВЫХ.ЭП.}} \approx \frac{r_{\text{БЭ.2}} + R^*}{1 + \beta_{\text{РАСЧ}}};$$

4.5. Расчёт для верхних частот.

4.5.1. Постоянная времени входной цепи усилителя:

$$\tau_{\text{ВХ.}} = \left(\frac{R_i \cdot r_{\text{БЭ.1}}}{R_i + r_{\text{БЭ.1}}} \right) \cdot C_{01}; \quad R_i = \frac{R_{\text{И.}} \cdot R_{\text{ДЕЛ.}}}{R_{\text{И.}} + R_{\text{ДЕЛ.}}};$$

$$C_{01} = C_{\text{БЭ.1}} + C_{\text{К.}} \cdot (1 + |K_{\text{ООЭ.}}|); \quad C_{\text{БЭ.1}} = \frac{S_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{T.}}};$$

4.5.2. Верхняя частота среза для входной цепи:

$$f_{\text{ВЕРХ.ВХ.}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau_{\text{ВХ.}}};$$

4.5.3. Постоянная времени межкаскадного участка усилителя:

$$\tau_{\text{ПР.}} = \left(\frac{R_4 \cdot R_{\text{ВХ.ЭП.}}}{R_4 + R_{\text{ВХ.ЭП.}}} \right) \cdot (C_{\text{ВЫХ.1}} + C_{\text{К.}});$$

$$C_{\text{ВЫХ.1}} = C_{\text{К.}} \cdot \left[1 + \frac{\beta_{\text{РАСЧ.}}}{1 + \frac{r_{\text{БЭ.1}}}{R_i}} \right];$$

4.5.4. Верхняя частота среза для межкаскадного участка:

$$f_{\text{ВЕРХ.ПР.}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau_{\text{ПР.}}};$$

4.5.5. Постоянная времени для выходной цепи усилителя:

$$\tau_{\text{ВЫХ.}} = R''_{\text{ВЫХ.ЭП}} \cdot C_5;$$

Здесь выходное сопротивление эмиттерного повторителя для верхних частот:

$$R''_{\text{ВЫХ.ЭП}} = \frac{r_{\text{БЭ.2}} + R_4}{1 + \beta_{\text{РАСЧ.}}};$$

4.6. Построение графика амплитудно-частотной характеристики усилителя.

4.6.1. Построить оси прямоугольной системы координат. Вертикальную ось проградуировать в децибелах (от 3 до 60 с шагом в 3 дБ). Горизонтальную ось проградуировать в значениях частоты (в логарифмическом масштабе) от 1 Гц до 128 МГц (с шагом в две октавы).

4.6.2. Средняя частота:

$$f_{\text{СРЕДН.}} = \sqrt{(f_{\text{НИЖН.ЗДБ.}}) \cdot (\min f_{\text{ВЕРХ.}})};$$

Здесь $\min f_{\text{ВЕРХ.}}$ - наименьшая частота из верхних частот среза по п.п. 4.5.2.; 4.5.4.; 4.5.6. ?

4.6.3. Для $f_{\text{СРЕДН.}}$ отложить коэффициент усиления $20 \cdot \lg[K_{\text{О.СКВ.}}]$. Через полученную точку провести горизонтальную линию между частотами $f_{\text{НИЖН.ЗДБ.}}$ и $(\min f_{\text{ВЕРХ.}})$.

4.6.4. Через конечные точки горизонтального отрезка прямой (по п.4.6.3.) провести наклонные прямые с наклонным 20 дБ/дек или 6 дБ/окт. Для низкочастотного участка наклонную прямую (20 дБ/дек) вести до частоты $f_{\text{НИЖН.РАЗДЕЛ.}}$.

Для высокочастотного участка наклонную прямую (20 дБ/дек) вести до частоты, равной средней из частот по п.п. 4.5.2.; 4.5.4.; 4.5.6.

$$4.6.5. \quad f_{\text{НИЖН.РАЗДЕЛ.}} = \frac{f_{\text{НИЖН.ЗДБ.}} \cdot m}{1 + S_1 \cdot R_5};$$

4.6.6. Для частот, ниже $f_{\text{НИЖН.РАЗДЕЛ.}}$ провести наклонную прямую с наклоном 40 дБ/дек или 12 дБ/окт.

Для частот, выше средней из частот п.п. 4.5.2.; 4.5.4.; 4.5.6. провести прямую с наклоном -40дБ/дек до частоты, равной наибольшей из частот по п.п. 4.5.2.; 4.5.4.; 4.5.6.

4.6.7. Для частот, выше наибольшей из частот п.п. 4.5.2.; 4.5.4.; 4.5.6. провести прямую с наклоном -60дБ/дек или -18дБ/окт.