Расчетное задание № 2

Вариант 33

Дисциплина: РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

Выполнил студент

Преподаватель:

2020

Расчетное задание: биполярные транзисторы

Дано

1. тип используемого транзистора _____ и его характеристики
2. напряжение питания $E_К$ = _____;
3. параметры рабочей точки транзистора[1]: $I_{К0}$ = _____, $U_К = E_К/2$;
4. коэффициент температурной нестабильности N = _____;
5. внутреннее сопротивление источника сигнала $R_Г$ = _____;
6. активное сопротивление нагрузки $R_Н$ = _____;
7. емкость нагрузки $C_Н$ = _____;
8. нижн. рабочая частота усилителя (по уровню $1/\sqrt{2}$) $f_Н$ = _____;

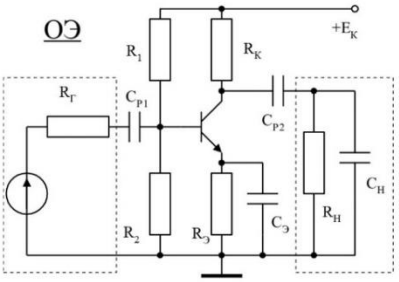


рис. 1а

Требуется

Для схем усилительных каскадов с ОЭ, ОК (рис. 1а и 1б) определить:

1. по ВАХ расчитать *h* параметры[2] транзистора в заданной рабочей точке, найти напряжение Эрли (U_Y) и параметры эквивалентной схемы транзистора[3], расчитать *y* параметры [4], сравнить *h* параметры с приближенными значениями [5].
2. сопротивления резисторов R_1, R_2, $R_К$, $R_Э$, обеспечивающие заданную рабочую точку транзистора. (Отношение $I_{R1}/I_{Б0}$ принять равным 10).
3. построить нагрузочную прямую.
4. коэффициенты усиления K_U, K_I, K_P [6] в схемах ОЭ и ОК.
5. входные и выходные сопротивления транзистора ($R_{ВХ}$, $R_{ВЫХ}$) и каскада в целом, с учетом цепей смещения ($R^*_{ВХ}$, $R^*_{ВЫХ}$).
6. емкости конденсаторов $C_{Р1}$, $C_{Р2}$, $C_Э$, обеспечивающие заданные параметры каскада на частоте $f_Н$.
7. верхнюю частоту усилительного каскада с ОЭ (по уровню $1/\sqrt{2}$), с учетом $C_Н$ и граничной частоты усиления транзистора.

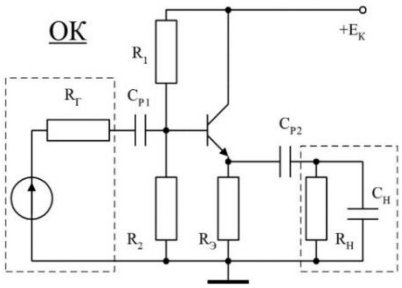


рис. 1б

Для балансного дифференциального УПТ (рис. 1в) рассчитать:

8. Сопротивление резисторов R_1, R_2, $R_{К1,2}$, $R_{Э3}$ обеспечивающие заданные режим работы транзисторов. [7]
9. Коэффициенты усиления по напряжению для плеча ($K_{U1,2}$), для дифференциального и синфазного сигнала на входах ($K_{диф.}$ и $K_{с.}$), коэффициент ослабления синфазного сигнала $K_{ОСС}$.
10. Рассмотреть замену источника тока на транзисторе Т3 резистором, обеспечивающим тот же режим работы усилителя по постоянному току. Сравнить полученное значение сопротивления эквивалентного резистора (R_0) с выходным сопротивлением источника тока.[8]

Сравнить значения Кс и $K_{ОСС}$ с соответствующими значениями, полученными для схемы усилителя с источником тока.

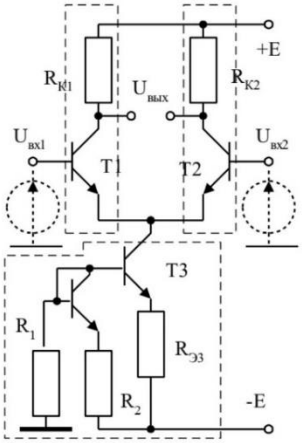


рис. 1в

Примечания

[1] Значение $U_{КЭ}$, необходимое для определения рабочей точки, находится из условия температурной стабилизации $N \approx R_Б/R_Э + 1$, где $R_Б = R_1 \cdot R_2/(R_1+R_2)$; $U_{КЭ} = U_К - U_Э$; $U_Э = I_Э \cdot R_Э$

[2] – [6] на следующем листе

[7] ток $I_К$ для каждого транзистора берется из условия, а $U_{КЭ}$ из предыдущего расчета, $U_{Б1} = U_{Б2} = 0$

[8] Выходное сопротивление источника тока это выходное сопротивление БТ в схеме с ОЭ

Согласно моему варианту, мне дано:

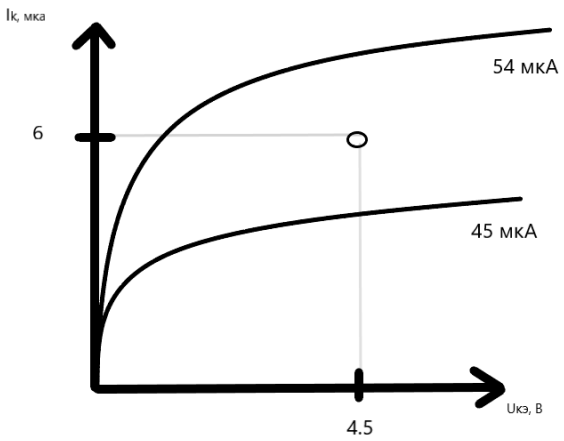
$h_{21} = 20$
Транзистор типа: КТ350А
$E_К = -10$ В
$I_{К_0} = 6$ мА
$N = 12$
$R_г = 100$ Ом
$R_н = 500$ Ом
$C_н = 1000$ пФ
$f_н$ =1000 Гц

Схема с ОЭ:

<u>По ВАХ рассчитать h-параметры транзистора в заданной РТ, найти напряжение Эрли (U_Y) и параметры эквивалентной схемы транзистора, рассчитать y-параметры, сравнить h-параметры с приближенными значениями.</u>

<u>Определение РТ:</u>

$U_К = \left|\frac{E_К}{2}\right| = 5$ В $\quad U_Э = \frac{U_К}{10} = 0.5$ В
$U_{КЭ0} = U_К - U_Э = 4.5$ В – рабочая точка на выходной ВАХ.
На входной ВАХ РТ будет: $\begin{cases} I_{Б_0} = 0.051 \text{ мА} = 51 \text{ мкА} \\ U_{БЭ0} = |-0.45| = 0.45 \text{ В} \end{cases}$
Примерное изображение поиска рабочей точки:



<u>Определение h-параметров</u>:

$\Delta U_{БЭ} = |-0.48| - |-0.45| = 0.03$ В
$\Delta I_Б = 90 \cdot 10^{-6} - 51 \cdot 10^{-6} = 4.9 \cdot 10^{-5}$ А

$$\mathbf{h_{11}} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_{Б}} = 612 \text{ Ом при } U_{КЭ} = -4.5\text{В}$$

$\Delta U_{БЭ} = |-0.52| - |-0.45| = 0.07$ В
$\Delta U_{КЭ} = |-10| - |-4.5| = 5.5$ В

$$\mathbf{h_{12}} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta U_{КЭ}} = 0.013 \text{ при } I_{Б} = 51 \text{ мкА}$$

$\Delta I_{К} = 4.2 - 1 = 3.2$ мА
$\Delta I_{Б} = 36 - 9 = 27$ мкА $\Big|$ $\beta = h_{21}$

$$\mathbf{h_{21}} = \beta = \frac{\Delta I_{К}}{\Delta I_{Б}} = 118.5 \text{ при } U_{КЭ} = -4.5 \text{ В}$$

$\Delta I_{К} = 6.4 - 6 = 0.4$ мА
$\Delta U_{КЭ} = |-12| - |-4.5| = 7.5$ В

$$\mathbf{h_{22}} = \frac{\Delta I_{К}}{\Delta U_{КЭ}} = 5.3 \cdot 10^{-5} \text{ |при } I_{Б} = 51 \text{ мкА}$$

<u>Напряжение Эрли:</u>

$$U_{Y} = \frac{I_{K_0}}{h_{22}} = 113 \text{ В}$$

<u>Расчёт параметров эквивалентной схемы:</u>

$S = \frac{I_{К0}}{\varphi_t} = 0.231$ ($\varphi_t = 26$ мВ по условию)
Так как $\beta = \frac{\Delta I_{К}}{\Delta I_{Б}}$ и $I_{Б} = I_{Э} - I_{К}$, то
$I_{Э0} = \frac{I_{К0} \cdot (1 + h_{21э})}{h_{21э}} = 6.1$ мА - ток эмиттера

$$r_{Э} = \frac{\varphi_t}{I_{Э0}} = 4.26$$

$$r_{Б} = \frac{h_{21э}}{S} = 512.98$$

$$r_{К} = \frac{U_{Y}}{I_{К0}} = 18.33 \text{ кОм}$$

<u>Расчет y-параметров:</u>

$$\mathbf{y_{11}} = \frac{1}{h_{11}} = 1.6 \text{ мСм}$$
$$\mathbf{y_{12}} = -\frac{h_{12}}{h_{11}} = -2.12 \cdot 10^{-5} \text{ См}$$
$$\mathbf{y_{21}} = \frac{h_{21}}{h_{11}} = 0.193 \text{ См}$$
$$\mathbf{y_{22}} = \frac{h_{22} \cdot h_{11} - h_{12} \cdot h_{21}}{h_{11}} = -2.46 \text{ мСм}$$

<u>Расчет приближенных значений h-параметров для БТ</u>:

$$\mathbf{h_{21э}} = 118.5$$
$$\mathbf{h_{11э}} = r_Б + \frac{1 + h_{21э}}{r_Э} = 541.03$$
$$\mathbf{h_{12э}} = \frac{(1 + h_{21э}) \cdot r_Э}{r_К} = 27.7 \cdot 10^{-3}$$
$$\mathbf{h_{22э}} = \frac{1 + h_{21э}}{r_К} = 6.5 \cdot 10^{-3}$$
Значения параметров близки к полученным ранее.

<u>Определить сопротивление резисторов R_1, $R_2, R_К, R_Э$, которые обеспечивают РТ.</u>

Из соотношения, данного в условии $I_{б1} = 10 \cdot I_{Б0} = 5.1 \cdot 10^{-4}$ А
$I_{б2} = I_{б1} - I_{б0} = 4.59 \cdot 10^{-4}$ А

$$\mathbf{R_Э} = \frac{\mathbf{U_Э}}{\mathbf{I_{Э0}}} = \mathbf{182.63} \text{ Ом}$$

$$U_{r_К} = U_К = 5 \text{ В}$$

$$\mathbf{R_К} = \frac{\mathbf{U_{r_К}}}{\mathbf{I_{К0}}} = \mathbf{833} \text{ кОм}$$

$$U_{r_2} = U_{БЭ0} + U_Э = 1.15 \text{ В}$$

$$\mathbf{R_2} = \frac{\mathbf{U_{r_2}}}{\mathbf{I_{r2}}} = \mathbf{2593} \text{ Ом}$$

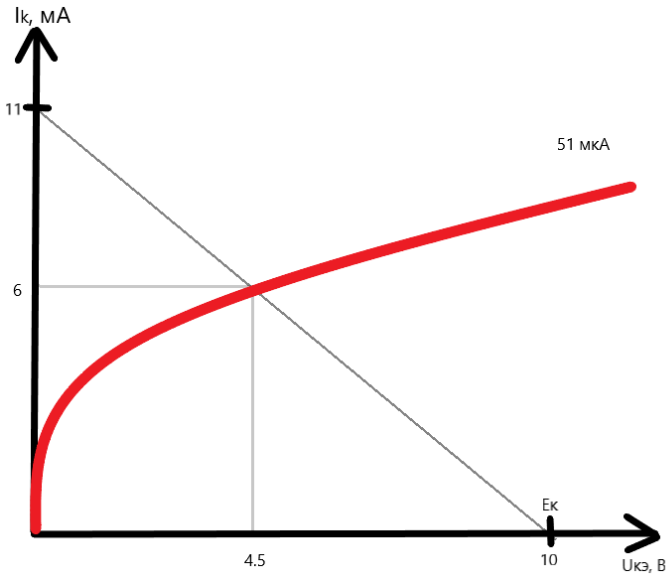
$$U_{r_1} = |E_К| - U_{r_2} = 8.85 \text{ В}$$

$$\mathbf{R_1 = \frac{U_{r_1}}{I_{r1}} = 15.1}\ \text{кОм}$$

$$R_б = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 2211.6\ \text{Ом}$$

$$\frac{R_б}{R_Э} + 1 = 12.11 \ \Big|\ N = 12$$

<u>Построение нагрузочной прямой</u>:



$$|E_K| = 10\ \text{В}$$

$$I_K = \frac{|E_K|}{R_K + R_Э} = 11\ \text{мА}$$

<u>Расчёт коэффициентов усиления</u>

По напряжению: $K_U = \frac{-y_{21}}{y_{22} + \frac{1}{R_H}} = 132.19$

По току: $K_i = \frac{y_{21}}{y_{11}} = 120.63$

По мощности: $K_p = K_U \cdot K_i = 15945.4$

<u>Расчет входных и выходных сопротивлений транзистора и каскада в целом, с учетом цепей смещения</u>

<u>Для транзистора:</u>

$$R_{ВХ} = \frac{1}{y_{11}} = 625 \text{ Ом}$$
$$R_{ВЫХ} = \left|\frac{1}{y_{22}}\right| = 406.5 \text{ Ом}$$

<u>Для каскада:</u>

$$R_{ВХ_СМ} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_{ВХ}}{R_1 \cdot R_{ВХ} + R_2 \cdot R_{ВХ} + R_1 \cdot R_2} = 487.4 \text{ Ом}$$
$$R_{ВЫХ_СМ} = \left|\frac{R_К}{1 + y_{22} \cdot R_К}\right| = 793.9 \text{ Ом}$$

<u>Определение емкостей конденсаторов, обеспечивающих заданные параметры каскада на частоте</u> $f_н$:

$$C_{р1} = \frac{1}{2\pi f_н (R_{ВХ_СМ} + R_Г)} = 0.281 \text{ мкФ}$$
$$C_{р2} = \frac{1}{2\pi f_н (R_{ВЫХ_СМ} + R_Н)} = 0.118 \text{ мкФ}$$
$$C_Э = \frac{1}{2\pi f_н R_Э} = 1.93 \text{ мкФ}$$

<u>Расчёт верхней частоты УК</u>:

При расчёте нужно учесть зависимость параметра β от частоты.

Из условия:
$C_К = 70$ пФ
$f_{гр} = 100$ МГц

$$f_{в_\beta} = \frac{f_{гр}}{\beta} = 0.84 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$
$$\beta = \frac{I_К}{I_Б} = 118$$
$$\tau_{В_\beta} = \frac{1}{2\pi f_{в_\beta}} = 1.89 \cdot 10^{-7} \text{с}$$
$$K = \frac{K_0}{\sqrt{2}}$$
$$\omega_{В1} = \left|\frac{\sqrt{2} - 1}{i \cdot \tau_{В_\beta}}\right| = 2.19 \cdot 10^6 \ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$
$$f_{В1} = \frac{\omega_{В1}}{2\pi} = 0.34 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

Учитывая $C_{Н,}$ получаем

$$\tau_{B_C_Н} = R_{ВЫХ} \cdot C_Н = 4.065 \cdot 10^{-7} с$$
$$\omega_{B2} = \left|\frac{\sqrt{2}-1}{i \cdot \tau_{B_C_Н}}\right| = 1.02 \cdot 10^6 \ \frac{рад}{с}$$
$$f_{B2} = \frac{\omega_{B2}}{2\pi} = 1.62 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

Учитывая $C_{К,}$ получаем

$$\tau_{B_C_К} = R_{ВЫХ} \cdot C_К = 2.85 \cdot 10^{-8} с$$
$$\omega_{B3} = \left|\frac{\sqrt{2}-1}{i \cdot \tau_{B_C_К}}\right| = 0.15 \cdot 10^8 \ \frac{рад}{с}$$
$$f_{B3} = \frac{\omega_{B3}}{2\pi} = 0.23 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

Схема с ОК

Пусть h-параметры и y-параметры для схемы с ОК такие же, что и в схеме с ОЭ.

<u>Определяем сопротивление резисторов R_1, $R_2, R_Э$, которые обеспечивают РТ:</u>

$$R_{Э_ОК} = \frac{|E_К| - U_{КЭ0}}{I_{К0} + I_{Б0}} = 908.9 \text{ Ом}$$
$$R_{2_ОК} = \frac{U_{БЭ0} + R_{Э_ОК} \cdot I_{Э0}}{I_{r2}} = 1.29 \cdot 10^4 \text{ Ом}$$
$$R_{2_ОК} = \frac{|E_К| - I_{r2} \cdot R_{2_ОК}}{I_{r1}} = 7.99 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

<u>Находим коэффициенты усиления:</u>

По току: $K_{i_ОК} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = 120.6$

По напряжению: $K_{U_ОК} = \frac{y_{21} \cdot R_Н}{1 + y_{21} \cdot R_Н} = 0.99$

По мощности: $K_{p_ОК} = K_{U_ОК} \cdot K_{i_{ОК}} = 119.4$

<u>Рассчитываем входные и выходные сопротивления транзистора и каскада в целом, с учетом цепей смещения:</u>

$$R_{ЭН} = \frac{R_Э \cdot R_Н}{R_Э + R_Н} = 70.91\ Ом$$

$$R_Б = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 954\ Ом$$

$$R_{ВХ_ОК} = (\beta + 1) \cdot R_{ЭН} + \frac{1}{y_{11}} = 2.12 \cdot 10^3 Ом$$

$$R_{ВЫХ_ОК} = \frac{1 + y_{11} \cdot R_Г}{y_{21}} = 6.01\ Ом$$

$$R_{ВЫХ_СМ_ОК} = \frac{R_Э \cdot R_{ВЫХ_ОК}}{R_Э + R_{ВЫХ_ОК}} = 5.61\ Ом$$

$$R_{ВХ_СМ_ОК} = \frac{R_Б \cdot R_{ВХ_ОК}}{R_Б + R_{ВХ_ОК}} = 657.9\ Ом$$

<u>Определение емкостей конденсаторов, обеспечивающих заданные параметры каскада на частоте $f_н$:</u>

$$C_{p1} = \frac{1}{2\pi f_н (R_{ВХ_СМ_ОК} + R_Г)} = 2.11 \cdot 10^{-7} Ф$$

$$C_{p2} = \frac{1}{2\pi f_н (R_{ВЫХ_СМ_ОК} + R_Н)} = 3.15 \cdot 10^{-7}\ Ф$$

Балансный ДУ

<u>Расчёт сопротивление резисторов R_1, R_2, $R_{К1,2}R_{Э3}$, которые обеспечивают заданный режим работы транзисторов</u>

$$\left.\begin{matrix} U_{б1} = 0 \\ U_{б1} = 0 \end{matrix}\right| \quad R_{Э3} = \frac{|E_К| - U_{БЭ0} - U_{КЭ0}}{2(I_{К0} + I_{Б0})} = 0.42 \cdot 10^3\ Ом$$

$$R_{К1} = \frac{|E_К| - U_{КЭ0} + U_{БЭ0}}{I_{К0}} = 0.99 \cdot 10^3\ Ом$$

$$R_{К1} = R_{К2} = 0.99 \cdot 10^3 Ом$$

$$R_1 = \frac{|E_К| - U_{КЭ0} - U_{БЭ0}}{10 \cdot I_{б1}} = 9.902 \cdot 10^3\ Ом$$

$$R_2 = \frac{U_{БЭ0} + U_{КЭ0}}{9 \cdot I_{Б0}} = 1.078 \cdot 10^4\ Ом$$

Расчёт коэффициентов усиления по напряжению для плеча $К_{U1}, К_{U2}$, для дифференциального и синфазного сигнала на входах $К_{диф}$ и $К_C$, коэффициента ослабления синфазного сигнала $К_{ОСС}$

$$К_1 = \frac{-y_{21}}{y_{22} + \frac{1}{R_{К1}}} = 132.28$$

$$К_2 = К_1 = 132.28$$

$$\alpha = \frac{I_{К0}}{I_{К0} + I_{Б0}} = 0.99$$

$$К_{диф} = -\alpha \cdot R_{К1} \cdot y_{21} = -190.87$$

$$Y = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22} = 0.194$$

$$R = \frac{R_1 \cdot \left(R_2 + \frac{1}{y}\right)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{y}} = 5.163 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R_{ЭКВ} = \frac{\frac{R + R_{ЭЗ} \cdot (1 + h_{21})}{h_{22}}}{R + h_{11} + R_{ЭЗ}} = 2.994 \cdot 10^5 \text{ Ом}$$

$$К_C = \frac{-y_{21} \cdot R_{К1}}{1 + 2 \cdot y_{21} \cdot R_{ЭКВ}} = -1.656 \cdot 10^{-3}$$

$$К_{ОСС} = 20 \cdot \log\left(\frac{К_{диф}}{К_C}\right) = 101.212$$

Рассчитать схему при замене источника тока на транзисторе Т3 резистором, обеспечивающим тот же режим работы усилителя по постоянному току. Сравнить полученные значения сопротивления эквивалентного резистора R_0 с входным сопротивлением источника тока. Сравнить $К_C$ и $К_{ОСС}$ с соответствующими значениями, полученными для схемы усилителя с источником тока.

$$R_0 = \frac{|E_К| - U_{БЭ0}}{2(I_{К0} + I_{Б0})} = 789.1 \text{ Ом}$$

$$К_C = \frac{-y_{21} \cdot R_{К1}}{1 + 2 \cdot y_{21} \cdot R_0} = -0.63$$

$$K_{ОСС} = 20 \cdot \log\left(\frac{K_{диф}}{K_C}\right) = 49.63$$

$$R_{вых} = 406.5\ Ом$$

При замене источника тока на ТЗ видно, что $\mathbf{K_{ОСС}}$ уменьшился на 51 дБ.