

Расчет окончателю
высокочастотного усилителя МАНХ
сигналов на биполярном
транзисторе

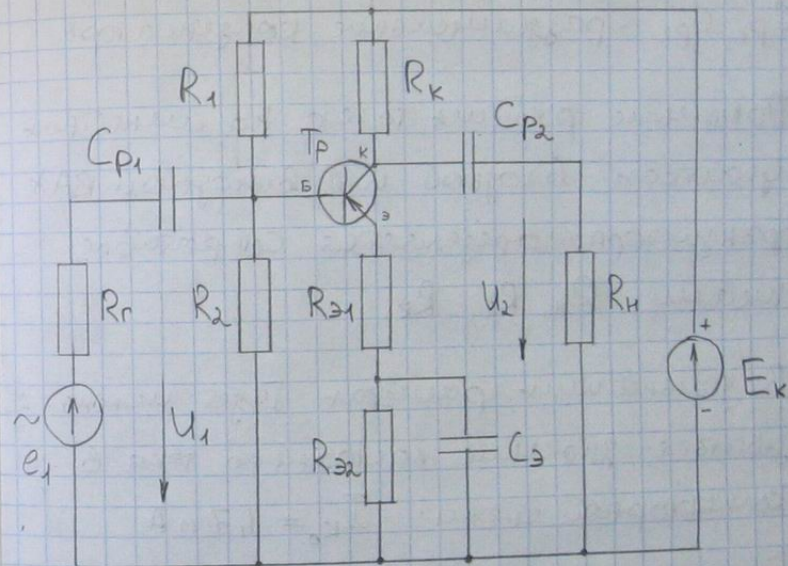


Схема усилителя с общим эмиттером и отрицательной обратной связью по току в цепи эмиттера.

$$e_1 = E_m \cdot \sin \omega t$$

e_1 - ЭДС индукционно-контраперной
 R_1 - внутр. сопротивление источника ЭДС
 E_k - источник питания постоянного тока.
 Транзистор КТ 6137А
 R_n - сопротивление нагрузки, 5 кОм
 C_{p1}, C_{p2} - разделительные конденсаторы

Показание работы точек на линейных
 участках входной и выходной ВАХ
 транзистора определяется сопротивлениями
 R_1, R_2, R_k .

В дальнейшем расчётах будет использо-
 ваться значение постоянного тока в
 коллекторной цепи: $I_{k0} = 1,7 \text{ мА}$

Цепь отрицательной обратной связи:

$$R_{\Sigma 1} = 360 \text{ Ом}$$

$$R_{\Sigma 2} = 640 \text{ Ом}$$

$$C_{\Sigma} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Проводится линейизация ра-
 ботной точки транзистора; на
 больших частотах ($f > 5 \text{ МГц}$)
 транзистор описывается линейной
 схемой замещения; например,
 схемой Диннаккетто.

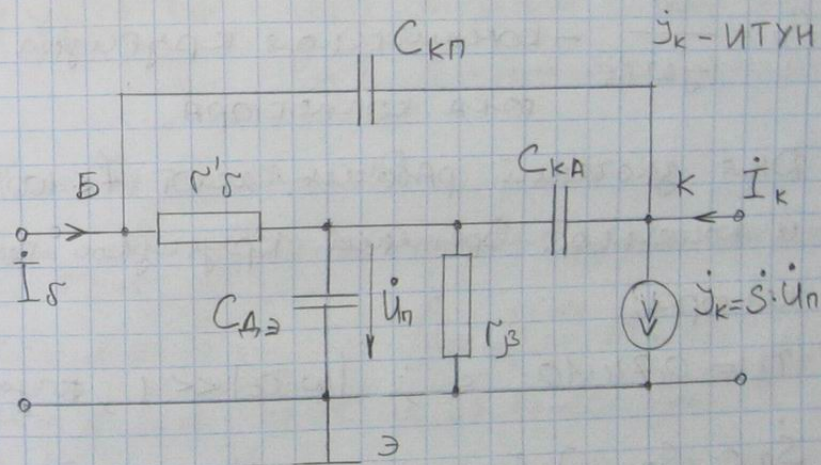


Схема такого типа относится к классу
 линейных активных и пассивных
 четырёхполюсников.

$\Gamma_{\sigma}^I = 2,1 \text{ Ом}$ (сопротивление области базы)
 $C_{дз} = 5,2 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ - диффузионная ёмкость
 неосновных носителей в базе

$\Gamma_{\beta} = 3077 \text{ Ом}$ - резистор, учитывающий
 увеличение тока коллектора за счёт
 утечки в эмиттер.

$\dot{S}_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{1 + j\omega\tau_s}$ - комплексная крутизна
 тока коллектора.

Для значений рабочих частот $f \leq 100 \text{ МГц}$
 и постоянных времени крутизны кол-
 лектора:

$$\tau_s = 0,74 \cdot 10^{-10} \text{ с}; \quad |\omega \cdot \tau_s| \ll 1, \text{ тогда}$$

$$\dot{S}_{\sigma} \approx S_{\sigma} = \lambda \cdot I_{к0} = 39 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} = 66,3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}$$

$C_{кп} = 2,64 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ - ёмкость пассивной
 цепи коллекторно-перехода

$C_{ка} = 2,64 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ - ёмкость активной
 цепи коллекторно-перехода

Для дальнейшей работы замещаем
 введём Y-матрицу на базе
 следующих уравнений:

$$\begin{cases} \dot{I}_{\sigma} = Y_{11} \cdot \dot{U}_{бэ} + Y_{12} \cdot \dot{U}_{кэ} \\ \dot{I}_{к} = Y_{21} \cdot \dot{U}_{бэ} + Y_{22} \cdot \dot{U}_{кэ} \end{cases}$$

$$|Y| = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{vmatrix} \quad \text{в общем случае все } Y \text{ - комплексные числа}$$

$$Y_{11} = S_{\sigma} + j\omega C_{кп}$$

$$S_{\sigma} = \frac{1}{\Gamma_{\sigma}^I + \Gamma_{\beta}} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \text{ - крутизна тока базы}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$f = 40 \text{ МГц}$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^6 = 25,12 \cdot 10^7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$Y_{11} = 3,2 \cdot 10^{-4} + j \cdot 25,12 \cdot 10^7 \cdot 2,64 \cdot 10^{-12} =$$

$$= 3,2 \cdot 10^{-4} + j 6,63 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$$

$$Y_{12} = -j\omega \cdot [C_{кп} + C_{ка} (1 - S_{\sigma} \cdot \Gamma_{\beta}^I)] =$$

$$= -j \cdot 25,12 \cdot 10^7 (2,64 \cdot 10^{-12} + 2,64 \cdot 10^{-12} \times$$

$$\times (1 - 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1)) = -j 13,26 \cdot 10^{-4}$$

$$Y_{21} = S_K + Y_{12}$$

$$S_K = S_n \cdot \frac{\Gamma_\beta}{\Gamma_\beta + \Gamma_0'} = 66,3 \cdot 10^{-3} \frac{3077}{3077 + 2,1} = 66,3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}$$

$$Y_{21} = 66,3 \cdot 10^{-3} - j 13,26 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$$

$$Y_{22} = j \cdot \omega \cdot (S_K \cdot \Gamma_K + C_K)$$

$$\Gamma_K = C_{KA} \cdot \Gamma_0' = 5,64 \cdot 10^{-12} \text{ с}$$

$$C_K = C_{KA} + C_{KN} = 5,28 \cdot 10^{-12} \text{ ф}$$

$$Y_{22} = j \cdot 25,12 \cdot 10^7 (66,3 \cdot 10^{-3} + 5,64 \cdot 10^{-12} + 5,28 \cdot 10^{-12}) = j \cdot 14,2 \cdot 10^{-4}$$

$$|Y| = \begin{vmatrix} 3,2 \cdot 10^{-4} + j 6,63 \cdot 10^{-4} & -j 13,26 \cdot 10^{-4} \\ 66,3 \cdot 10^{-3} & j 14,2 \cdot 10^{-4} \end{vmatrix}$$

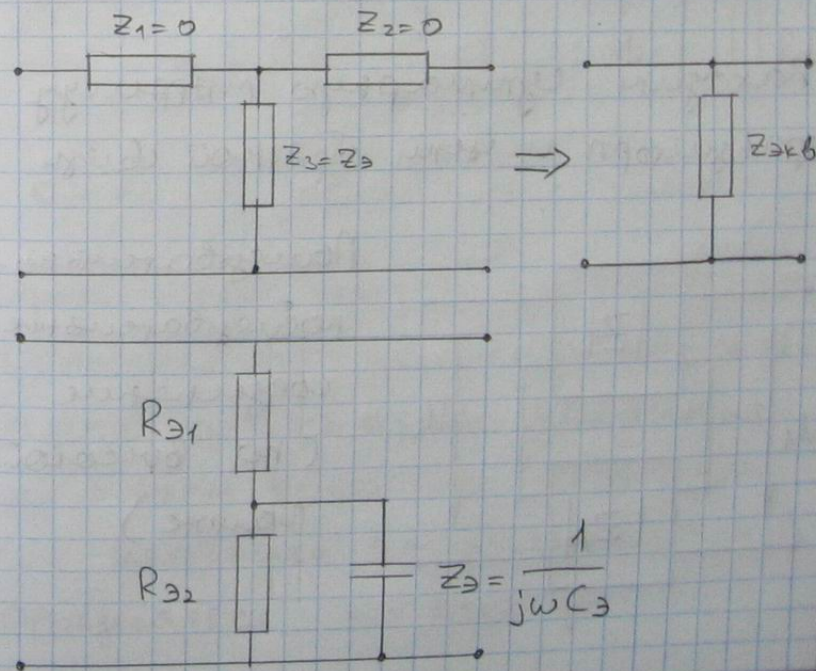
ка бих представили Y-матрицу транзистора перейдем к соответствующей ей Z-матрице транзистора:

$$|Z| = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix} = |Y|^{-1} \quad , [Z_{ij}] = \text{Ом}$$

$$|Z| = \begin{vmatrix} 16 & 15 \\ 8 + j 750 & 7,5 - j 3,6 \end{vmatrix}$$

Цель обратной связи усилителя в эмиттерной цепи транзистора представляется в виде Z-матрицы для соответствующего четырехполюсника

$$|Z_\beta| = \begin{vmatrix} Z_{11,\beta} & Z_{12,\beta} \\ Z_{21,\beta} & Z_{22,\beta} \end{vmatrix}$$



$$Z_{\text{эв}} = R_{\text{э1}} + \frac{R_{\text{э2}} \cdot Z_{\text{э}}}{R_{\text{э2}} + Z_{\text{э}}} \quad \leftarrow \text{преобразуем параллельно}$$

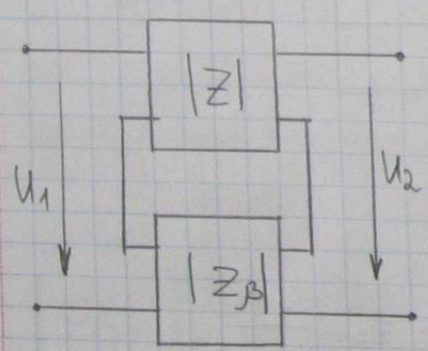
$$Z_{\text{э}} = \frac{1}{j\omega C_{\text{э}}} = \frac{1}{j 25,12 \cdot 10^7 \cdot 10^{-5}} = -j \cdot 4 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{R_{\text{э2}} \cdot Z_{\text{э}}}{R_{\text{э2}} + Z_{\text{э}}} = \frac{640 \cdot (-j \cdot 4 \cdot 10^{-4})}{640 + (-j \cdot 4 \cdot 10^{-4})} \ll 1$$

$$Z_{\text{эв}} = R_{\text{э1}} = 360 \text{ Ом}$$

$$|Z_{\beta}| = \begin{pmatrix} 360 & 360 \\ 360 & 360 \end{pmatrix}$$

кажем суммарную матрицу транзистора и цепи обратной связи

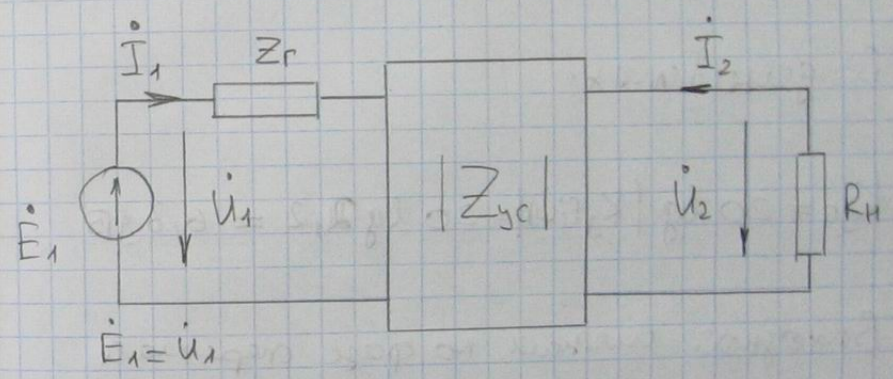


последовательное-последовательное соединение (по высокой частоте)

$$|Z_{yc}| = |Z| + |Z_{\beta}|$$

$$|Z_{yc}| = \begin{pmatrix} 376 & 375 \\ 368 + j750 & 367,5 - j3,6 \end{pmatrix}$$

Составляем эквивалентную схему транзисторного усилителя



Коэффициент передачи по напряжению (коэффициент усилителя) оттока каждого транзисторного усилителя при малом внутреннем сопротивлении нагрузки (Zr=0) определяется по формуле:

$$K_y(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{Z_{21yc} \cdot R_H}{\Delta Z_{yc} + Z_{11yc} \cdot R_H}$$

$$\Delta Z_{yc} = 180 - j 2,8 \cdot 10^5$$

$$K_y(j\omega) = \frac{(368 + j 750) \cdot 5000}{(180 - j 2,8 \cdot 10^5 + 376 \cdot 5000)}$$

$$= 0,66 + j 2,1 = 2,2 e^{j 72^\circ}$$

В генераторах:

$$K_{гб} = 20 \lg |K_y(j\omega)| = 20 \lg 2,2 = 6,8 \text{ дБ}$$

Входной сигнал по фазе опережает
выходной на 72°

$$\text{Пусть } \dot{U}_1 = E_1 = 1 \text{ мВ}$$

$$U_2 = K_y(j\omega) \cdot \dot{U}_1 = 2,2 \cdot e^{j 72^\circ} \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

