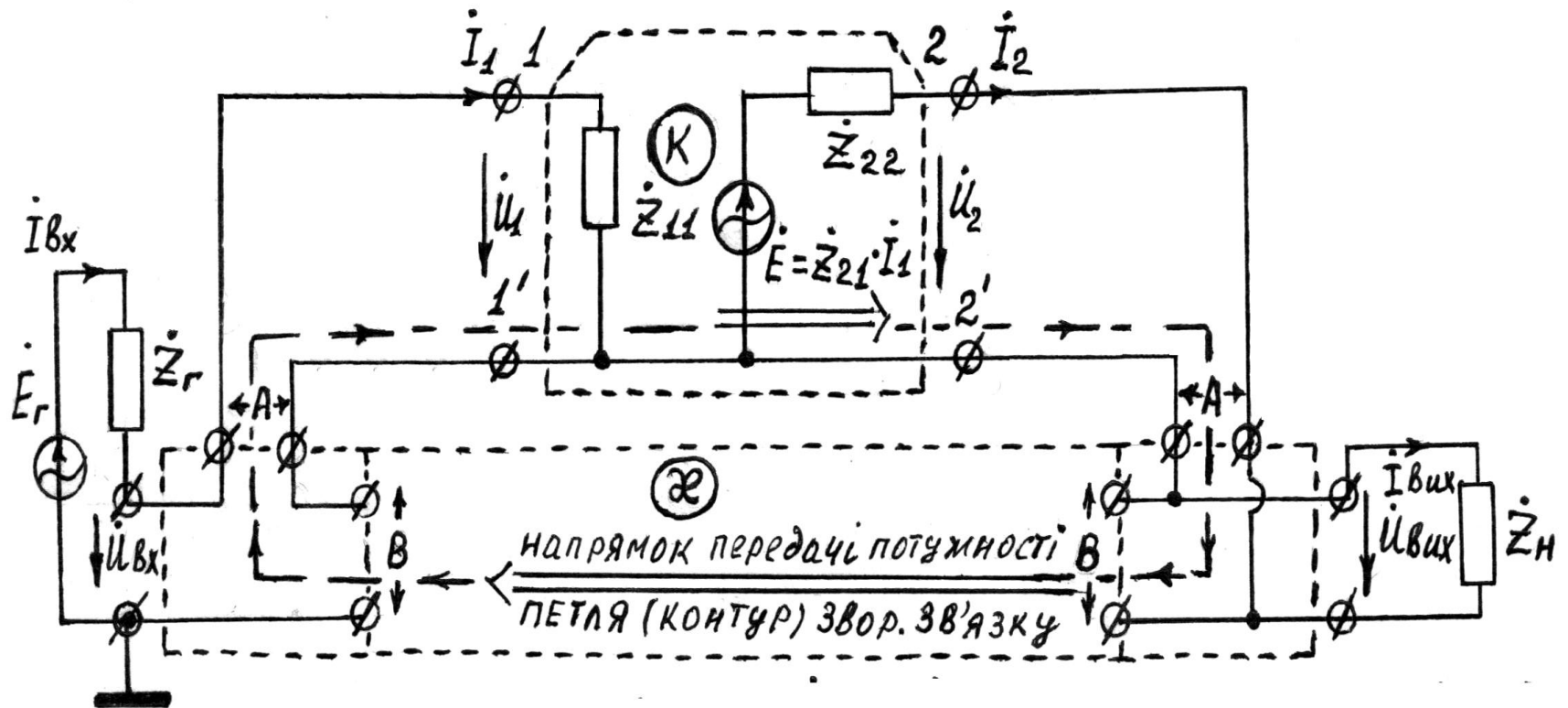


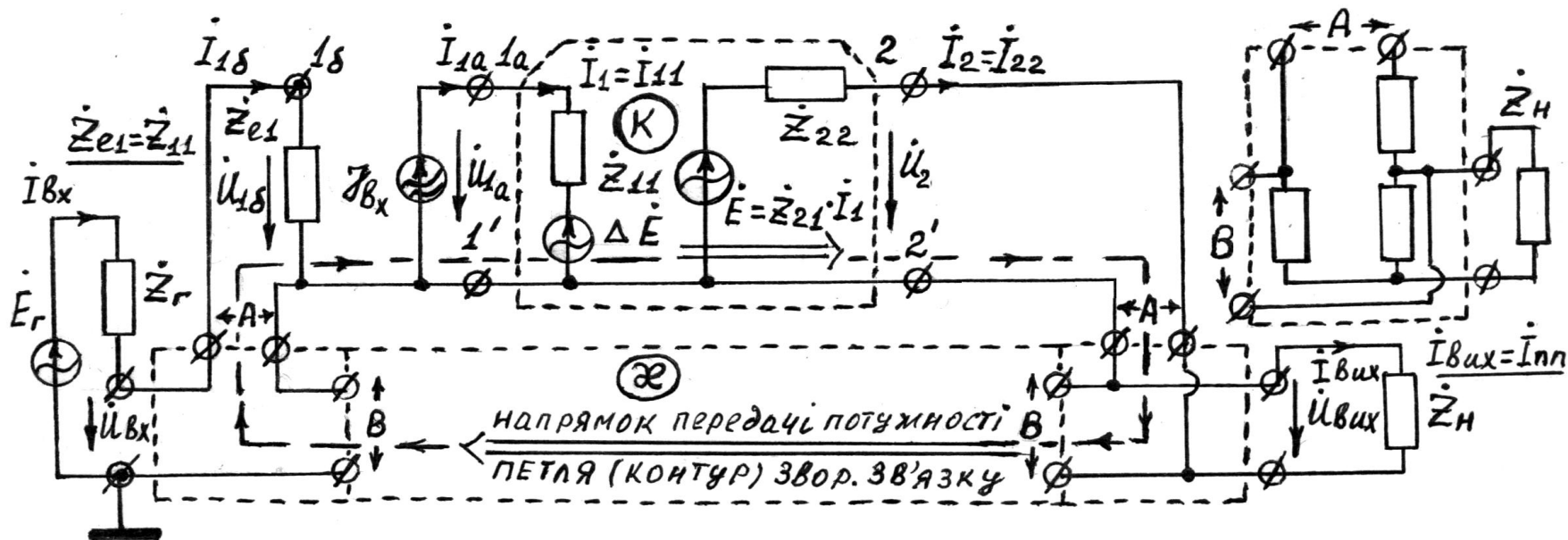
Особливості функціонування лінійних та нелінійних кіл

Зворотні зв'язки в електричних
колах

Вихідна схема кола з зворотнім зв'язком (33)



Визначення та основні характеристики зворотних зв'язків



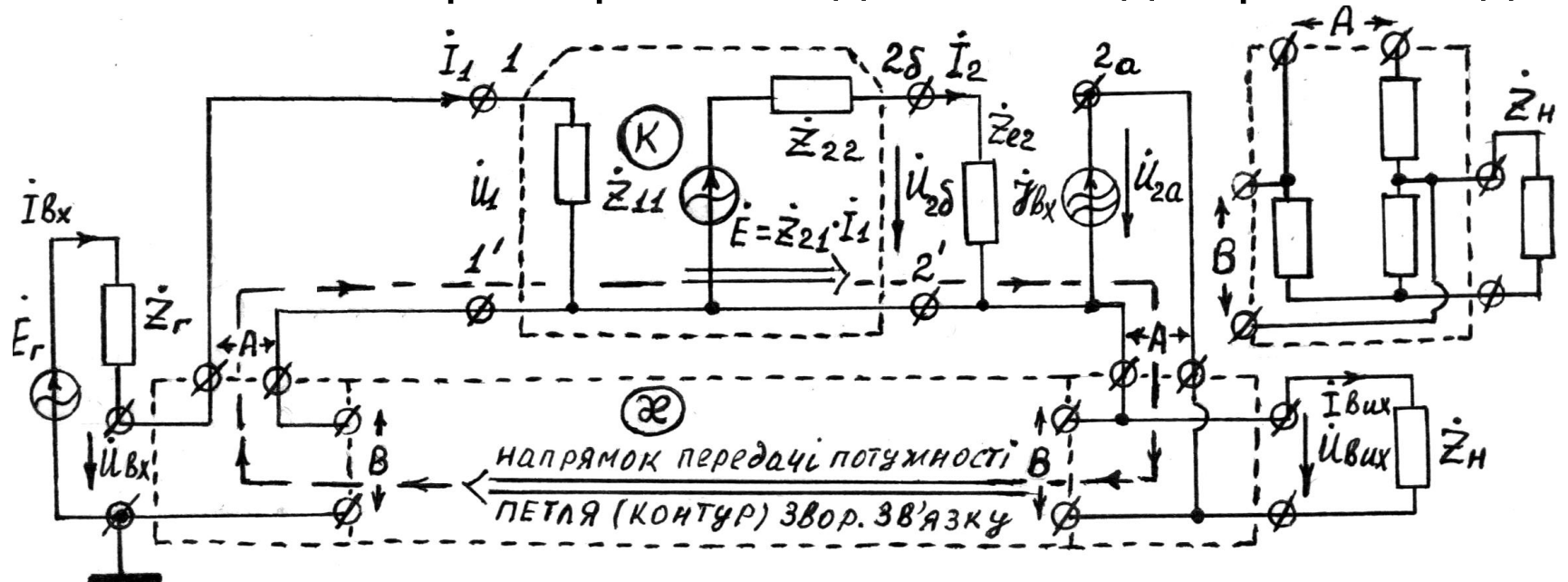
Повернуте відношення: $T(j\omega) = \frac{U_{1s}}{U_{1a}} = \frac{U_{1s}}{U_2} \cdot \frac{U_2}{U_{1a}} = \chi_u \cdot K_u = \frac{U_{1s}}{U_{1a}} \cdot \frac{Z_{11}}{Z_{11}} = \frac{I_{1a}}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_{1s}} = \chi_i \cdot K_i$

Повернута різниця: $\dot{F} = \frac{U_{1a} - U_{1s}}{U_{1a}} = 1 - T = \left(\frac{U_{1a} - U_{1s}}{U_2} \right) \cdot \frac{U_2}{U_{1a}} = \frac{K_u}{K_u^{33}} = \frac{\Delta Z}{\Delta_Z^0} = \frac{K_i}{K_i^{33}} = \frac{\Delta Y}{\Delta_Y^0}$

$\begin{vmatrix} \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} & \dots & \dot{Z}_{1n} \\ \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} & \dots & \dot{Z}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{Z}_{n1} & \dot{Z}_{n2} & \dots & \dot{Z}_{nn} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{I}_{11} \\ \dot{I}_{22} \\ \dots \\ \dot{I}_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\Delta \dot{E} \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{vmatrix}$	$\dot{F} = \frac{\dot{I}_{11}/\dot{I}_{22}}{\dot{I}_{11}^{33}/\dot{I}_{22}^{33}} \approx \frac{\dot{I}_{11}}{\dot{I}_{11}^{33}} = \frac{\Delta_1^0/\Delta^0}{\Delta_1/\Delta} = \frac{\Delta_Z}{\Delta_Z^0};$ При: $\dot{Z}_{21} = 0 \rightarrow$ розрив в 33; $\Delta_1 = \Delta_1^0$;	Аналогічно: $\dot{F} = \frac{\dot{U}_1/\dot{U}_2}{\dot{U}_1^{33}/\dot{U}_2^{33}} = \frac{\Delta_Y}{\Delta_Y^0}$
--	--	--

$\dot{F}(j\omega) = |\dot{F}(j\omega)| \exp(j\varphi_F); \quad \dot{T}(j\omega) = |\dot{T}(j\omega)| \exp(j\varphi_T);$

Властивості та характерні співвідношення для різних видів ЗЗ



$\dot{F}(j\omega), \dot{T}(j\omega)$ - не залежать від точки розриву петлі зворотнього зв'язку (ЗЗ):

$$\dot{T} = \frac{\dot{U}_{2\delta}}{\dot{U}_{2a}} = \frac{\dot{U}_{2\delta}}{\dot{U}_1} \cdot \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_{2a}} = K_u \dot{X}_u; \quad \text{Глибина ЗЗ: } A^{ЗЗ} = 20 \lg |\dot{F}(j\omega)| \text{ [дБ];}$$

Додатній ЗЗ: $\dot{T}(j\omega) = |T(j\omega)| \exp(j\varphi_T)$; $\varphi_T = 0, 2\pi, \dots, 2n\pi$; $\dot{T} < 1$; $\left| \frac{\text{дійсне}}{\text{додатнє}} \right| \rightarrow \dot{F} = 1 - \dot{T} < 1$;

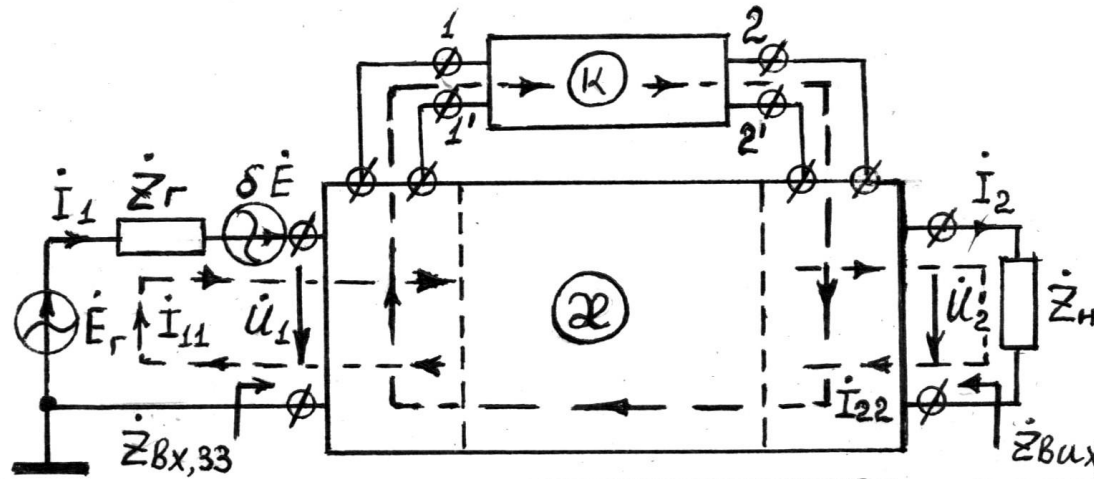
Від'ємний ЗЗ: $\varphi_T = \pi, 3\pi, \dots, (2n+1)\pi$; $\dot{T} < 0$; $\left| \frac{\text{дійсне}}{\text{від'ємне}} \right| \rightarrow \dot{F} = 1 - \dot{T} > 1$;

Послідовний ЗЗ на вході, (виході) кола: $\dot{F}(\dot{Z}_r, \dot{Z}_H) \big|_{\dot{Z}_r = \infty} \dot{F}(\infty, \dot{Z}_H) = 1$; $(\dot{F}(\dot{Z}_r, \infty) = 1)$

Паралельний ЗЗ на вході, (виході) кола $\dot{F}(\dot{Z}_r, \dot{Z}_H) \big|_{\dot{Z}_r = 0} \dot{F}(0, \dot{Z}_H) = 1$; $(\dot{F}(\dot{Z}_r, 0) = 1)$;

Змішаний ЗЗ на вході (виході) кола $\dot{F}(\infty, \dot{Z}_H) \neq 1$; $(\dot{F}(\dot{Z}_r, \infty) \neq 1)$; $\dot{F}(0, \dot{Z}_H) \neq 1$; $(\dot{F}(\dot{Z}_r, 0) \neq 1)$;

Вплив 33 на вхідний (вихідний) опір кола



$$\dot{Z}_{vx,33} = \frac{-\delta \dot{E}}{\delta \dot{i}_{11}} = \frac{-\delta \dot{E} \Delta}{-\delta \dot{E} \cdot \Delta_{11}} = \frac{\Delta}{\Delta_{11}};$$

При розімкн. 33: $\dot{Z}_{vx} = \frac{\Delta^0}{\Delta_{11}^0};$

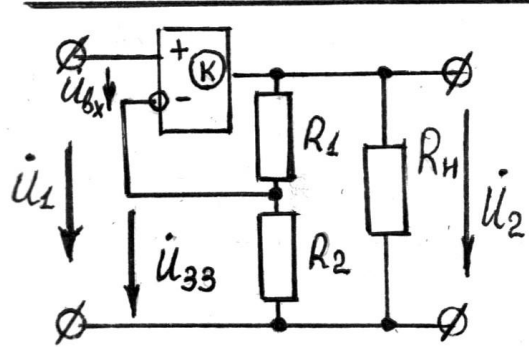
При $\dot{Z}_r = 0$: $\dot{F}(0, \dot{Z}_n) = \frac{\Delta}{\Delta_0};$

При $\dot{Z}_r = \infty$: $\dot{F}(\infty, \dot{Z}_n) = \frac{\Delta_{11}}{\Delta_{11}^0};$

$$\dot{Z}_{vx,33} = \frac{\Delta \cdot \Delta^0 \cdot \Delta_{11}^0}{\Delta_{11} \cdot \Delta^0 \cdot \Delta_{11}^0} = \frac{\Delta^0}{\Delta_{11}^0} * \frac{\Delta}{\Delta^0} * \frac{\Delta_{11}^0}{\Delta_{11}} = \frac{\dot{Z}_{vx} \cdot \dot{F}(0, \dot{Z}_n)}{\dot{F}(\infty, \dot{Z}_n)}; \quad \dot{Z}_{vyx,33} = \frac{\dot{Z}_{vyx} \cdot \dot{F}(\dot{Z}_r, 0)}{\dot{F}(\dot{Z}_r, \infty)};$$

При послідовному 33 на вході (виході) $\dot{F}(\infty, \dot{Z}_n) = 1$ $\dot{F}(\dot{Z}_r, \infty) = 1$ $\dot{Z}_{vx,33} = \dot{Z}_{vx} \cdot \dot{F}(0, \dot{Z}_n)$ $\dot{Z}_{vyx,33} = \dot{Z}_{vyx} \cdot \dot{F}(\dot{Z}_r, 0)$ | Аодатний 33: $|\dot{F}| < 1$; Від'ємний 33: $|\dot{F}| > 1$;

При паралельному 33 на вході (виході) $\dot{F}(0, \dot{Z}_n) = 1$ $\dot{F}(\dot{Z}_r, 0) = 1$ $\dot{Z}_{vx,33} = \frac{\dot{Z}_{vx}}{\dot{F}(\infty, \dot{Z}_n)}$ $\dot{Z}_{vyx,33} = \frac{\dot{Z}_{vyx}}{\dot{F}(\dot{Z}_r, \infty)}$ | Аодатн.: $|\dot{F}| < 1$; Від'ємн.: $|\dot{F}| > 1$;

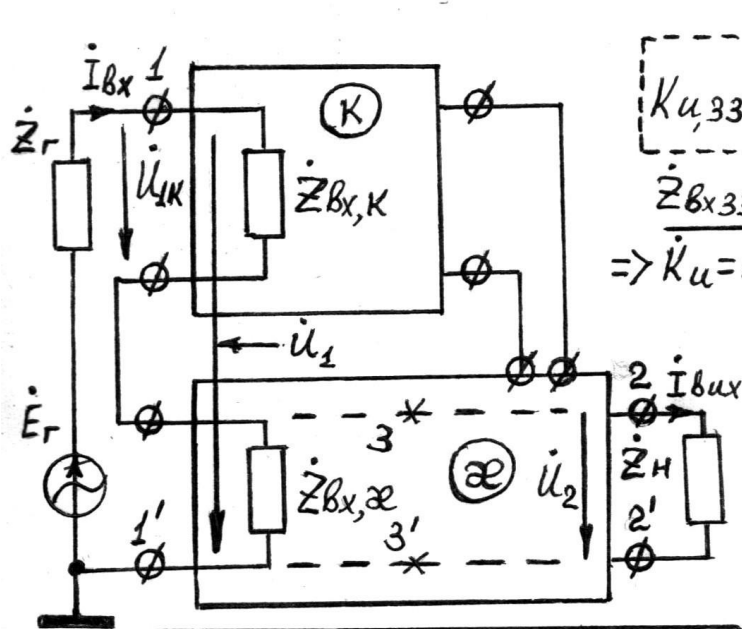


$$\dot{Z}_{vyx} = \frac{-\dot{U}_{33}}{\dot{U}_2} = \frac{-R_2}{R_1 + R_2}; \quad \dot{K}_u = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_{vx}}; \quad \dot{F} = 1 - \dot{K}_u \cdot \dot{Z}_{u2}; \quad \dot{F}(\infty, \dot{Z}_n) = 1; \quad (\text{по входу } \dots 33)$$

$$\dot{Z}_{vx,33} = \dot{Z}_{vx} (1 - \dot{K}_u \dot{Z}_{u2}) = \dot{Z}_{vx} (1 + \dot{K}_u \frac{R_2}{R_2 + R_1}) \uparrow \text{ На вході від'ємн. послідовний 33}$$

$$\dot{F}(\dot{Z}_r, 0) = 1, \quad \Rightarrow \dot{Z}_{vyx,33} = \frac{\dot{Z}_{vyx}}{1 - \dot{K}_u \dot{Z}_{u2}} = \frac{\dot{Z}_{vyx}}{1 + \dot{K}_u R_2 / (R_2 + R_1)} \downarrow \text{ На виході 33 від'ємний паралельний}$$

Вплив послідовного ЗЗ на вході (виході) кола на його передавальні функції $K_u(j\omega)$, $K_i(j\omega)$.



$$K_{u,33} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_2}{U_{1,K}} \cdot \frac{U_{1,K}}{U_1} = K'_{u,K} \cdot \frac{\dot{Z}_{Bx,K} \cdot \dot{I}_{Bx}}{(\dot{Z}_{Bx,33}) \cdot \dot{I}_{Bx}} = K'_{u,K} \cdot \frac{\dot{Z}_{Bx,K}}{\dot{Z}_{Bx,33}}$$

$\dot{Z}_{Bx,33} = \dot{Z}_{Bx,K} + \dot{Z}_{Bx,\infty}$; - впливає на $K_u = U_2/U_1$ - розірвано

$$\Rightarrow K_u = K'_{u,K} \cdot \frac{U_{1,K}}{U_1} = K'_{u,K} \cdot \frac{\dot{Z}_{Bx,K}}{\dot{Z}_{Bx}}$$

(ЗЗ - розірваний)

При послідовному ЗЗ на вході:

$$\dot{Z}_{Bx,33} = \dot{Z}_{Bx} \cdot F(0, \dot{Z}_H)$$

Якщо ЗВ'ЯЗОК: Додатн.: $|F| < 1$; Від'ємн.: $|F| > 1$;

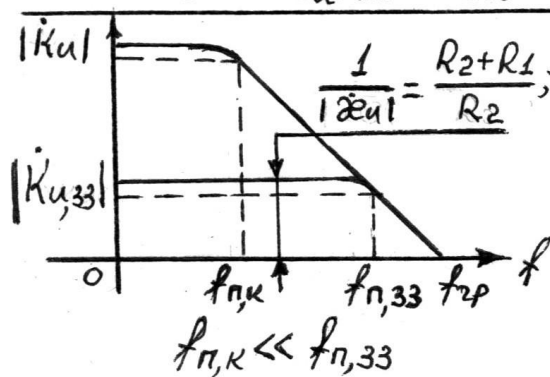
$$K_{u,33} = K_u \cdot \frac{\dot{Z}_{Bx}}{\dot{Z}_{Bx,33}}$$

$$K_{u,33} = \frac{K_u}{F(0, \dot{Z}_H)}$$

$$K_{u,33} = \frac{K_u}{1 - \dot{Z}_H K_u} \text{ при } |\dot{Z}_H K_u| \gg 1 \Rightarrow |\dot{Z}_H K_u| \gg 1 \Rightarrow$$

(та від'ємному ЗЗ)

$$\Rightarrow K_{u,33} \approx \frac{K_u}{-\dot{Z}_H K_u} = -\frac{1}{\dot{Z}_H}; \quad \dot{Z}_H = -\frac{R_2}{R_2 + R_1} \Rightarrow K_{u,33} = (R_2 + R_1)/R_2; |K_{u,33}(j\omega)| - \text{дійсне}; \varphi_{K_{u,33}} = 0;$$

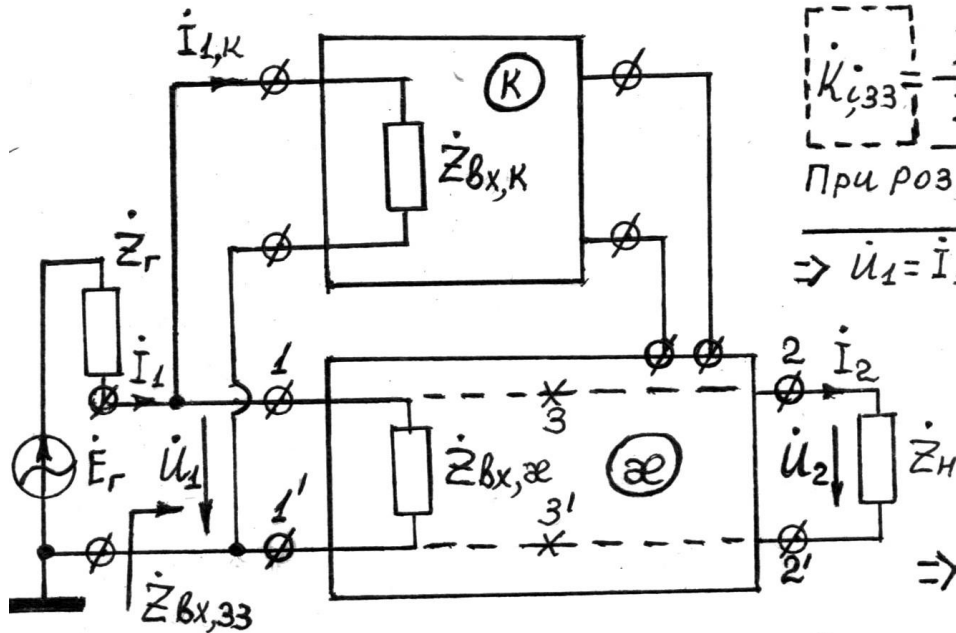


Якщо розглядати передачу струму, при дії послідовного зворотнього зв'язку (ЗЗ) на вході (виході) кола, то передача струму:

$$K_{i,33} = \dot{I}_{Bx,33} / \dot{I}_{Bx} = \dot{I}_{Bx} / \dot{I}_{Bx}$$

тоді $K_{i,33} = K_i$ - не залежить від дії послідовного зворотнього зв'язку, при його розриві (З→З'), оскільки вся енергія на вихід передається, в основному, через (К) - акт. чотир.

Вплив паралельного ЗЗ на вході (виході) кола на його передавальні функції $K_u(j\omega)$, $K_i(j\omega)$.



$$[K_{i,33}] = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_{1,K}} \cdot \frac{\dot{I}_{1,K}}{\dot{I}_1} = \dot{K}'_{i,K} \cdot \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_{bx,K}} \cdot \frac{\dot{Z}_{bx,33}}{\dot{U}_1} = \dot{K}'_{i,K} \cdot \frac{\dot{Z}_{bx,33}}{\dot{Z}_{bx,K}}$$

При розриві зв'язку (3-3'), маємо $\dot{K}_i, \dot{Z}_{bx} \Rightarrow$

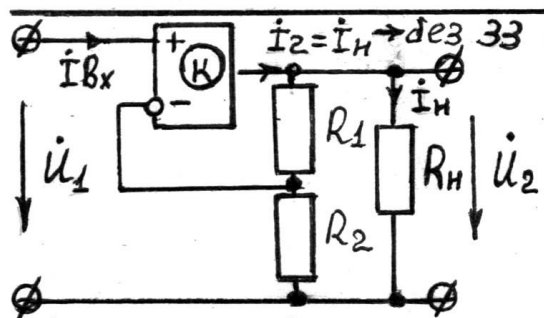
$$\Rightarrow \dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_{bx} = \dot{I}_{1,K} \cdot \dot{Z}_{bx,K} \Rightarrow \frac{\dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_{bx}}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{I}_{1,K} \cdot \dot{Z}_{bx,K}}{\dot{I}_2}$$

$$\dot{Z}_{bx}/\dot{K}_i = \dot{Z}_{bx,K}/\dot{K}'_{i,K} \Rightarrow \dot{K}'_{i,K} = \dot{Z}_{bx,K} \cdot \frac{\dot{K}_i}{\dot{Z}_{bx}}$$

$$[K_{i,33}] = \frac{\dot{K}_i \cdot \dot{Z}_{bx,33}}{\dot{Z}_{bx}} \quad \text{При паралельному ЗЗ на вході:} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Z}_{bx,33} = \frac{\dot{Z}_{bx}}{\dot{F}(\infty, \dot{Z}_H)} \Rightarrow [K_{i,33}] = \frac{\dot{K}_i}{\dot{F}(\infty, \dot{Z}_H)}$$

Якщо на вході кола діє паралельний від'ємний ЗЗ: $|\dot{F}(\infty, \dot{Z}_H)| > 1, |\dot{K}_{i,33}| < |\dot{K}_i|$;



$$\dot{F}(\dot{Z}_r, \infty) = 1 - \dot{K}_{i,K} \cdot \dot{\alpha}_i; \quad \dot{\alpha}_i = -\dot{I}_2/\dot{I}_H = -\frac{R_1 + R_2 + R_H}{R_1 + R_2}; \quad \dot{K}_i = \dot{K}_{i,K} \Rightarrow$$

$$\dot{K}_{i,33} = \frac{\dot{K}_i}{1 - \dot{K}_i \dot{\alpha}_i} \approx -\frac{1}{\dot{\alpha}_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_H} < 1 \leftarrow \text{при } |\dot{K}_i| \gg 1;$$

Якщо розглядати передачу напруги, при дії паралельн. ЗЗ на вході (виході) $\dot{K}_{u,33} = \dot{U}_{вих,33}/\dot{U}_{bx,33} = \dot{U}_{вих}/\dot{U}_{bx}$

тобто $[K_{u,33}] = [K_u]$ - не залежить від дії паралельного ЗЗ при його розриві (3-3') оскільки вся енергія на вихід передається, в основному через $\textcircled{K}$ - акт. чотир.

