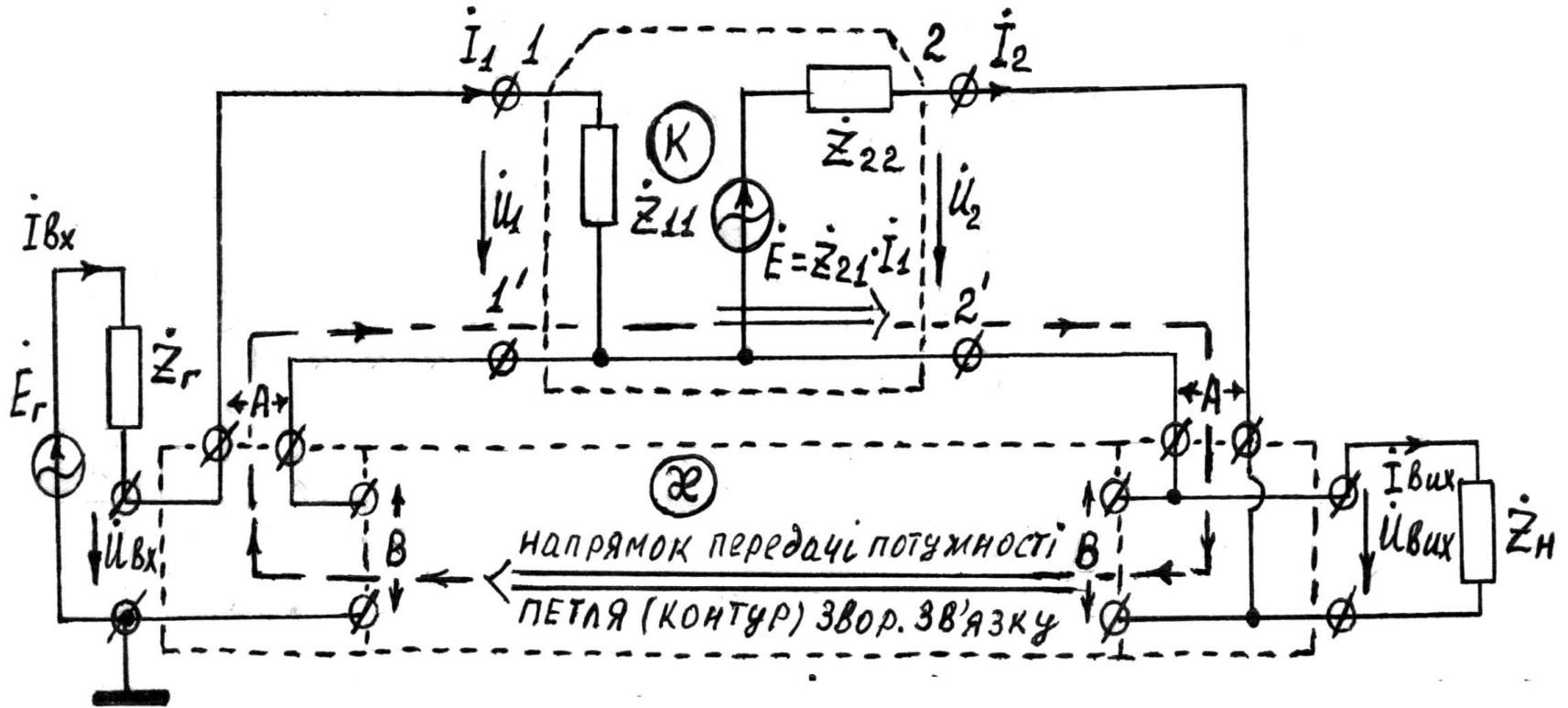


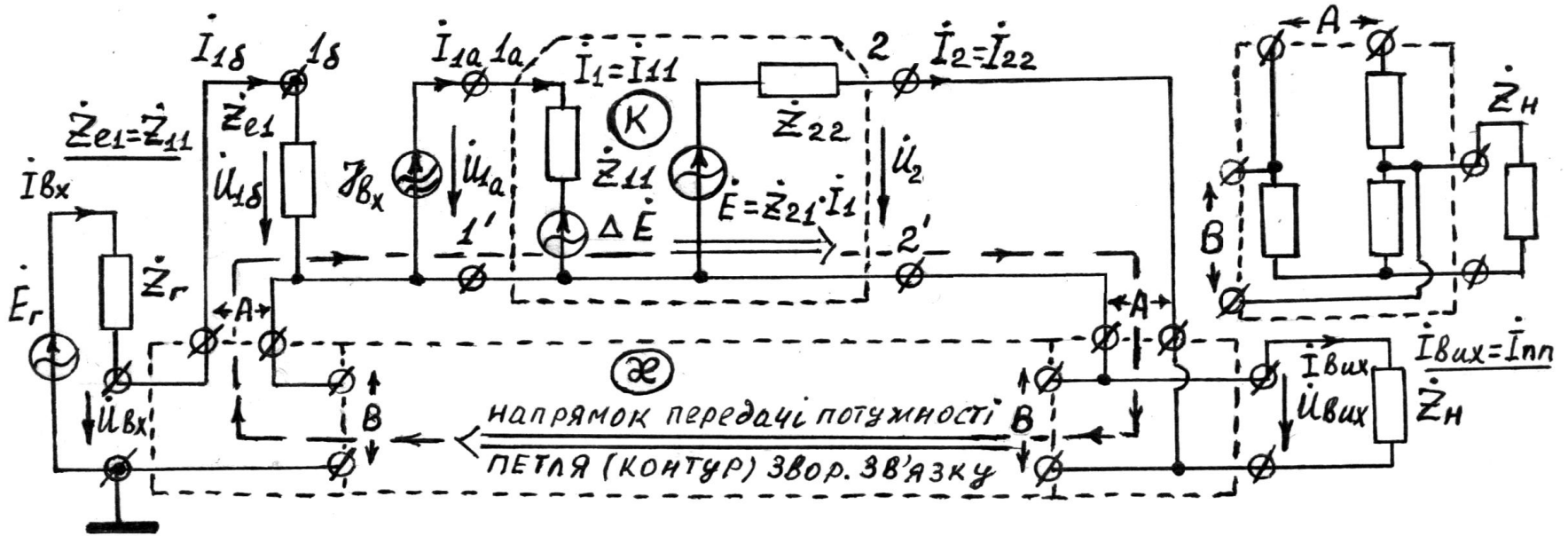
Особливості функціонування лінійних та нелінійних кіл

Зворотні зв'язки в електричних
колах

Вихідна схема кола з зворотнім зв'язком (33)



Визначення та основні характеристики зворотних зв'язків

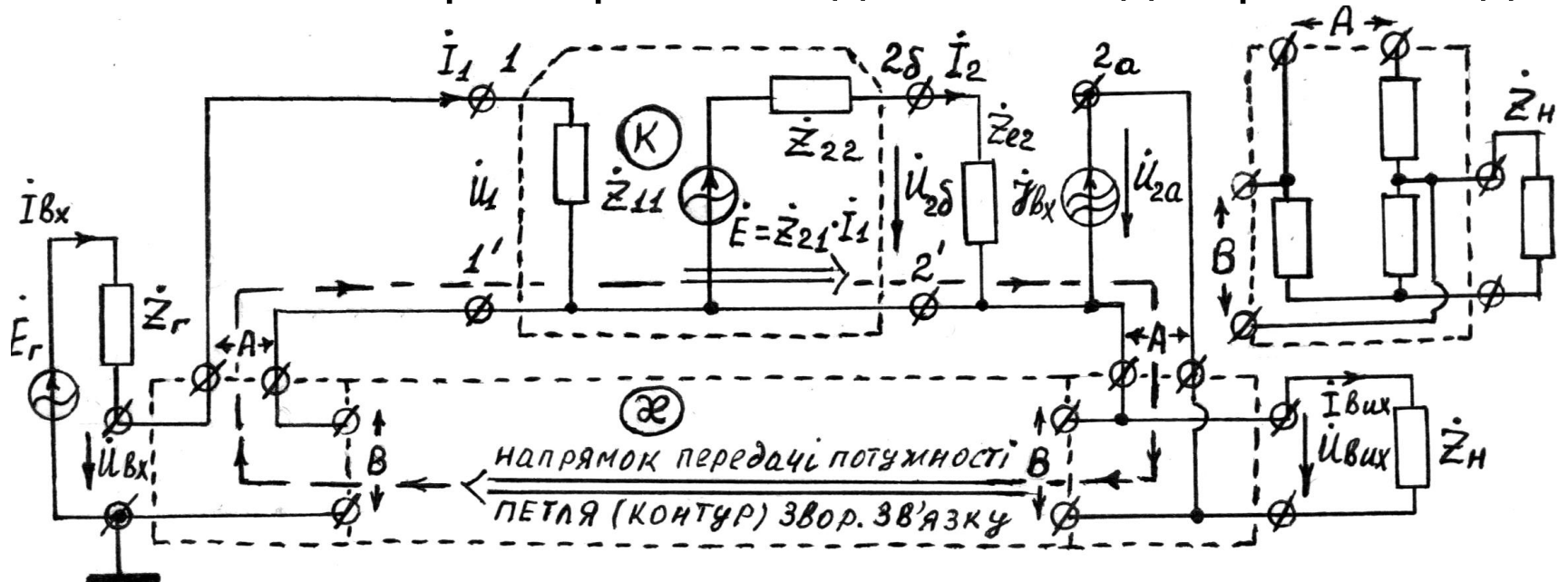


Повернуте відношення:
$$T(j\omega) = \frac{U_{1\delta}}{U_{1a}} = \frac{U_{1\delta}}{U_2} \cdot \frac{U_2}{U_{1a}} = \chi_u \cdot K_u = \frac{U_{1\delta} Z_{11}}{U_{1a} Z_{11}} = \frac{I_{1a}}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_{1\delta}} = \chi_i \cdot K_i$$

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

$\begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ \dots \\ I_{nn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\Delta E \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{vmatrix}$	$F = \frac{I_{11}/I_{22}}{I_{11}^{33}/I_{22}^{33}} \approx \frac{I_{11}}{I_{11}^{33}} = \frac{\Delta_1^0/\Delta^0}{\Delta_1/\Delta} = \frac{\Delta_Z}{\Delta_Z^0};$	<p>Аналогічно:</p> $F = \frac{U_1/U_2}{U_1^{33}/U_2^{33}} = \frac{\Delta_Y}{\Delta_Y^0};$
	<p>При: $Z_{21} = 0 \rightarrow$ розрив в 33; $\Delta_1 = \Delta_1^0;$</p>	
	$F(j\omega) = F(j\omega) \exp(j\varphi_F); \quad T(j\omega) = T(j\omega) \exp(j\varphi_T);$	

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):

$$\dot{T} = \frac{U_{2\delta}}{U_{2a}} = \frac{U_{2\delta}}{U_1} \cdot \frac{U_1}{U_{2a}} = K_{\text{и}} \dot{X}_{\text{и}}; \quad \text{Глибина ЗЗ: } A^{\text{ЗЗ}} = 20 \lg |\dot{F}(j\omega)| \text{ [дБ];}$$

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

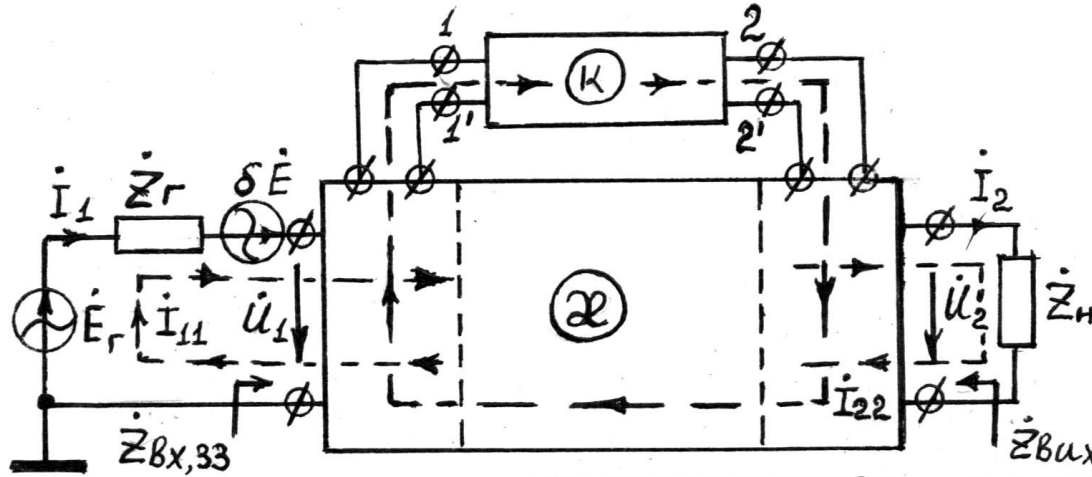
Від'ємний ЗЗ: $\varphi_T = \pi, 3\pi, \dots, (2n+1)\pi$; $\dot{T} < 0$; $\left| \begin{array}{l} \text{дійсне} \\ \text{від'ємне} \end{array} \right| \rightarrow \dot{F} = 1 - \dot{T} > 1$;

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

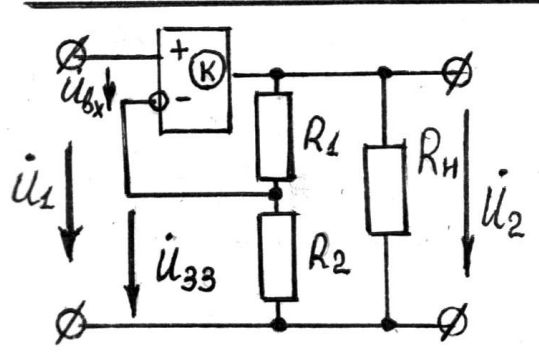
При $\dot{Z}_r = 0: \dot{F}(0, \dot{Z}_n) = \frac{\Delta}{\Delta^0};$

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

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

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



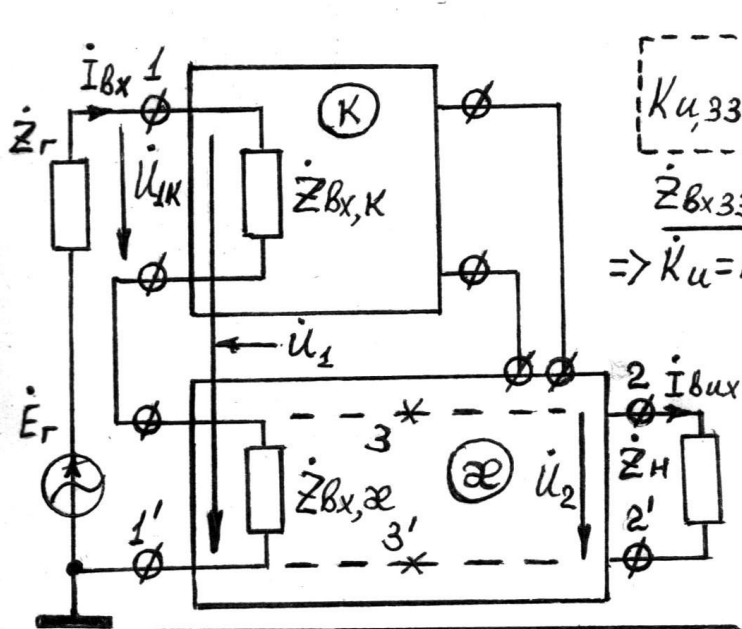
$$\dot{\alpha}_u = \frac{-\dot{U}_{33}}{\dot{U}_2} = \frac{-R_2}{R_1 + R_2}; \quad \dot{K}_u = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_{vx}}; \quad \dot{F} = 1 - \dot{K}_u \cdot \dot{\alpha}_u; \quad \dot{F}(\infty, \dot{Z}_n) = 1;$$

(по входу -- 33)

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

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

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



$$K_{u,33} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_2}{U_{1,K}} \cdot \frac{U_{1,K}}{U_1} = K_{u,K} \cdot \frac{Z_{Bx,K} \cdot I_{Bx}}{(Z_{Bx,33}) \cdot I_{Bx}} = K_{u,K} \cdot \frac{Z_{Bx,K}}{Z_{Bx,33}}$$

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

$$\Rightarrow K_u = K_{u,K} \cdot \frac{U_{1,K}}{U_1} = K_{u,K} \cdot \frac{Z_{Bx,K}}{Z_{Bx}}; \Rightarrow K_{u,K} \cdot Z_{Bx,K} = K_u \cdot Z_{Bx};$$

(ЗЗ - розірваний)

$$K_{u,33} = K_u \cdot \frac{Z_{Bx}}{Z_{Bx,33}}$$

При послідовному ЗЗ на вході:
 $Z_{Bx,33} = Z_{Bx} \cdot F(0, Z_H)$

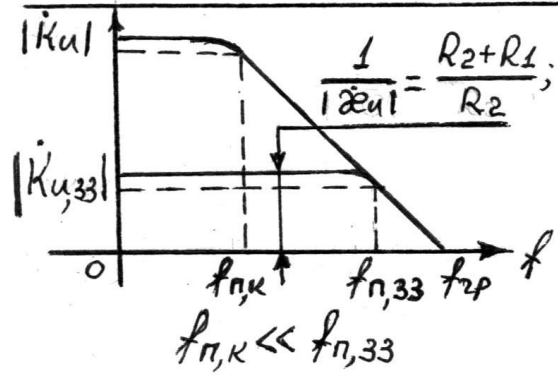
$$K_{u,33} = \frac{K_u}{F(0, Z_H)}$$

Якщо зв'язок: Додатн. $|F| < 1$;
 Від'ємн. $|F| > 1$;

$$K_{u,33} = \frac{K_u}{1 - \alpha_u K_u} \text{ при } |\alpha_u K_u| \gg 1 \Rightarrow |\alpha_u \cdot K_u| \gg 1 \Rightarrow$$

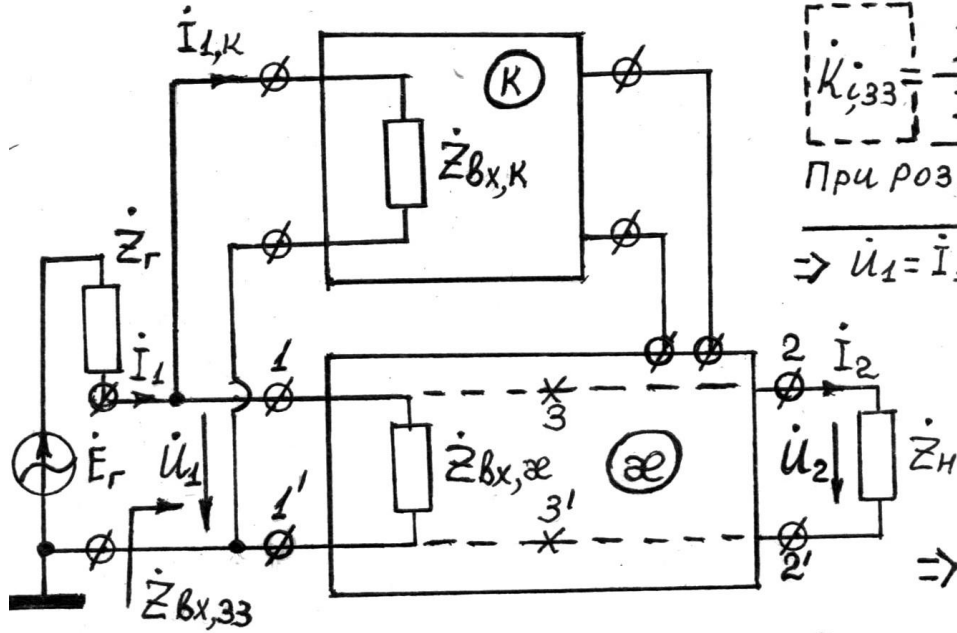
(та від'ємному ЗЗ)

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



Якщо розглядати передачу струму, при дії послідовного зворотнього зв'язку (ЗЗ) на вході (виході) кола, то передача струму: $K_{i,33} = I_{vх,33}/I_{vх,33} = I_{vх}/I_{vх}$, 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 $K_u(j\omega)$, $K_i(j\omega)$.



$$K_{i,33} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_2}{I_{1,K}} \cdot \frac{I_{1,K}}{I_1} = K'_{i,K} \cdot \frac{U_1}{Z_{v_{x,K}}} \cdot \frac{Z_{v_{x,33}}}{U_1} = K'_{i,K} \cdot \frac{Z_{v_{x,33}}}{Z_{v_{x,K}}}$$

При розриві зв'язку (3-3'), маємо $K_i, Z_{v_x} \Rightarrow$

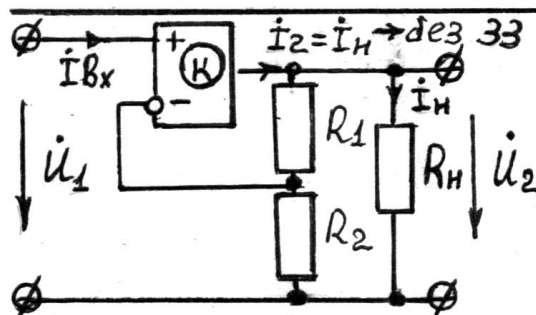
$$\Rightarrow U_1 = I_1 \cdot Z_{v_x} = I_{1,K} \cdot Z_{v_{x,K}} \Rightarrow \frac{I_1 \cdot Z_{v_x}}{I_2} = \frac{I_{1,K} \cdot Z_{v_{x,K}}}{I_2}$$

$$Z_{v_x}/K_i = Z_{v_{x,K}}/K'_{i,K} \Rightarrow K'_{i,K} = Z_{v_{x,K}} \cdot \frac{K_i}{Z_{v_x}}$$

$$K_{i,33} = \frac{K_i \cdot Z_{v_{x,33}}}{Z_{v_x}} \quad \text{При паралельному ЗЗ на вході: } \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Z_{v_{x,33}} = \frac{Z_{v_x}}{F(\infty, Z_n)} \Rightarrow K_{i,33} = \frac{K_i}{F(\infty, Z_n)}$$

Якщо на вході кола діє паралельний від'ємний ЗЗ: $|F(\infty, Z_n)| > 1, |K_{i,33}| < |K_i|;$



$$F(Z_r, \infty) = 1 - K'_{i,K} \cdot \alpha_i; \quad \alpha_i = -I_2/I_n = -\frac{R_1 + R_2 + R_n}{R_1 + R_2}; \quad K_i = K'_{i,K} \Rightarrow$$

$$K_{i,33} = \frac{K_i}{1 - K_i \alpha_i} \approx -\frac{1}{\alpha_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_n} < 1 \leftarrow \text{при } |K_i| \gg 1;$$

Якщо розглядати передачу напруги, при дії паралельн. ЗЗ на вході (виході) $K_{u,33} = U_{v_{x,33}}/U_{v_x,33} = U_{v_{x,K}}/U_{v_x} =$

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.

