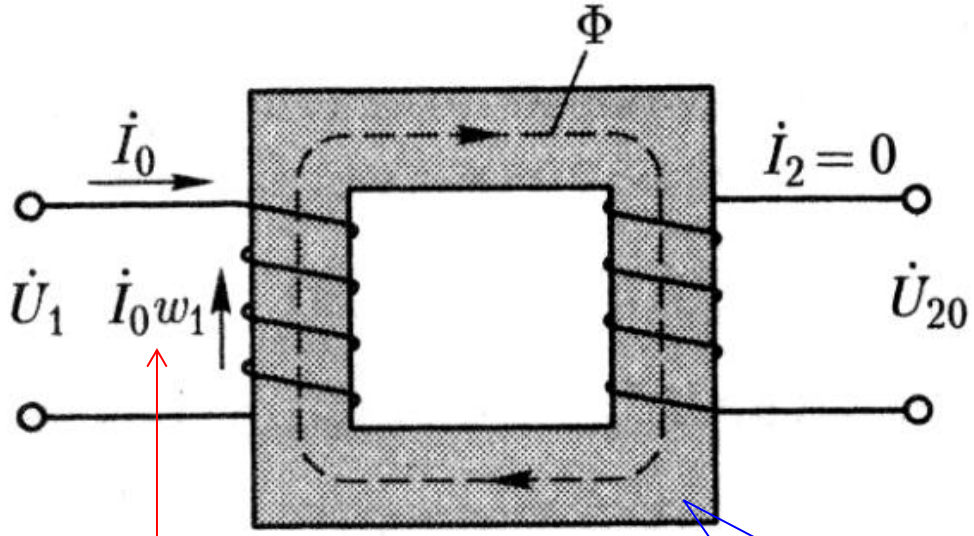
Электр машиналары және электр жетегі



Профессор Досболаев М.Қ.

Трансформатордың МҚК теңдеуі

МҚК (Ғ) - токтың магнит ағынын тудыруға қабілеттілігін сипаттайтын физикалық шама



2а - сурет



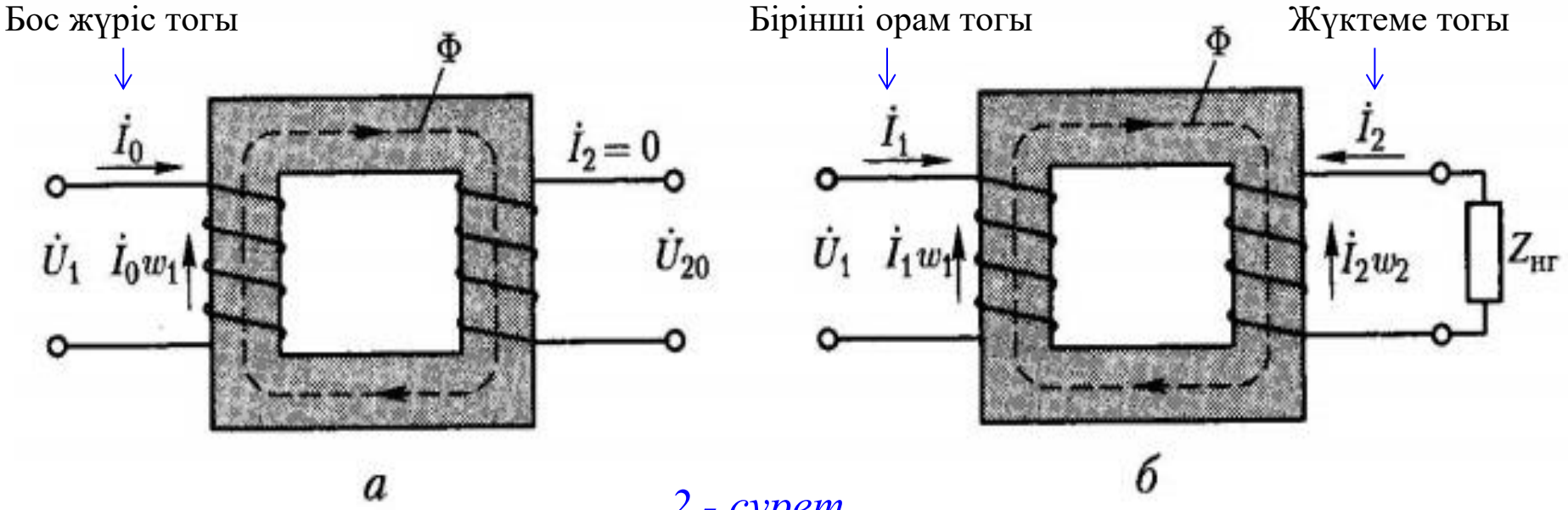
Джон Го́пкинсон
(1849 - 1898)

$$\mathcal{F} = Iw \text{ немесе } \mathcal{F} = \Phi R_M \text{ (Гопкинсон заңы)}$$

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{R_M} = \frac{Iw}{R_M} \text{ [Вб]}$$ – *магнит ағыны*

$$R_M = \frac{l}{\mu_0 \mu S}$$ – *магнит өткізгіштің (өзекшенің) магниттік кедергісі*

Трансформатордың МҚК теңдеуі



2 - сурет

$$I_0 \to I_1;\ U_{20} \to U_2$$

$$\Phi_{max} = \frac{\sqrt{2} I_0 w_1}{R_M}. \textbf{(15)} \qquad \Phi_{max} = \left(\frac{\sqrt{2}}{R_M}\right)\left(\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2\right), \textbf{(16)}$$

$$(7) \to \quad \Phi_{max} = E_1/(4.44 w_1 f).$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_{\boldsymbol{1}} \approx (-\dot{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{1}}). (12) \longrightarrow \boxed{\Phi_{max} \approx \frac{U_1}{4.44 w_1 f}. (17)}$$

Трансформатордың МҚК теңдеуі

$$\left(\frac{\sqrt{2}}{R_M}\right)\dot{I}_0 w_1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{R_M}\right)\left(\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2\right). (18)$$

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2$$

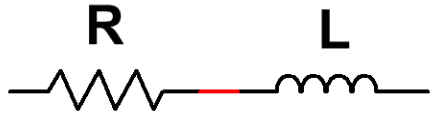
немесе

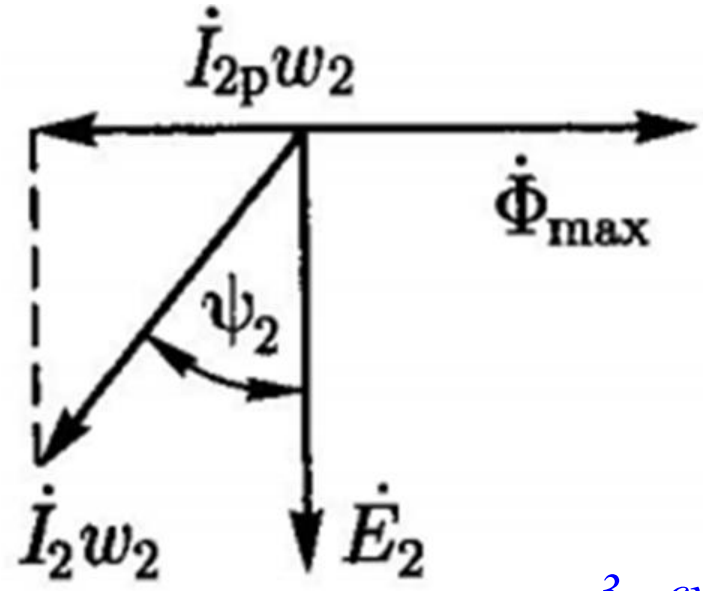
$$\dot{I}_1 w_1 = \dot{I}_0 w_1 + \left(-\dot{I}_2 w_2\right). (19)$$

$Z_{ж} = r_{ж} \pm j x_{ж}$ нақты жүктеме

Активті-индуктивті жүктеме

$$Z_{ж} = r_{ж} + jx_{ж}$$





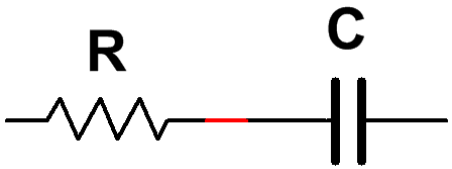
3 - сурет

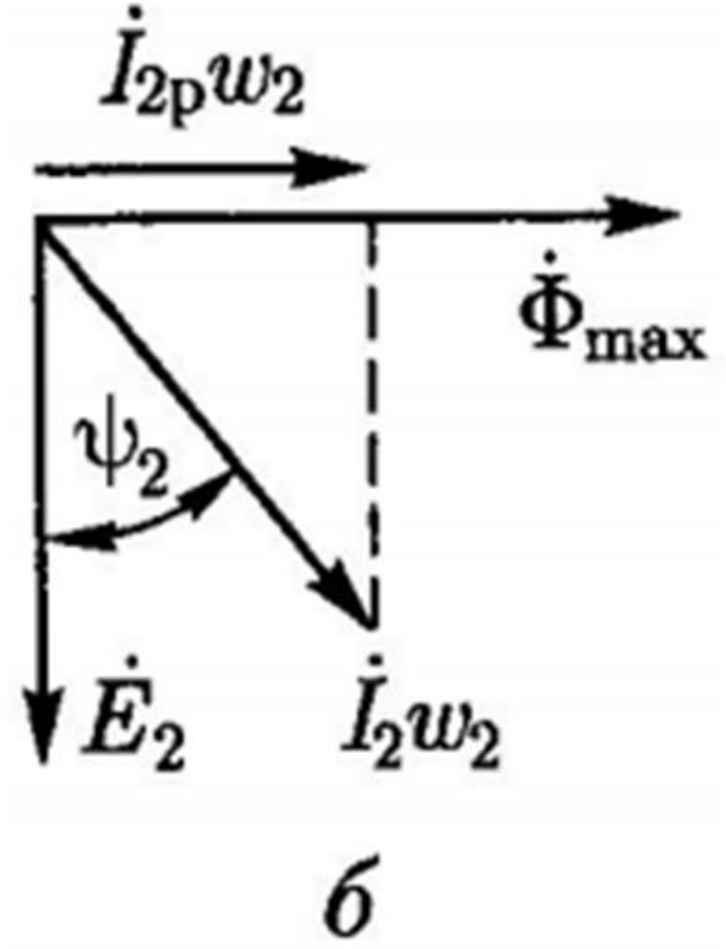
$$\dot{I}_{2p}w_2 = \dot{I}_2w_2 sin\psi_2 \quad a$$

Трансформатордың жүктемесіндегі ток мәні ауытқыған кезде екінші, ізінше бірінші орамалардың МҚК-і өзгеріске ұшырайды, ал негізгі магнит ағынын тудырушы бос жүріс тогының МҚК $(\dot{I}_0w_1)$ өзгеріссіз қалады.

Активті-сыйымдылықты жүктеме

$$Z_{ж} = r_{ж} - jx_{ж}$$





3 - сурет

Токтар теңдеуі

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 w_2 / w_1$$

немесе

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2^{`}, (20)$$

мұндағы $\dot{I}_2^{`} = \dot{I}_2 w_2 / w_1 -$ бірінші ораманың орам сандарына келтірілген жүктеме тогы (екінші ретті ток). Басқаша айтатын болсақ, орам саны $w_2$ болатын екінші орамада $\dot{I}_2$ ток қандай МҚК тудырса, $\dot{I}_2^{`} -$ ток орам саны w_1 болатын бірінші орамада тура сондай МҚК тудырады, яғни:

$$\dot{I}_2^{`} w_1 = \dot{I}_2 \left(\frac{w_2}{w_1} \right) w_1 = \dot{I}_2 w_2$$

Токтар теңдеуі

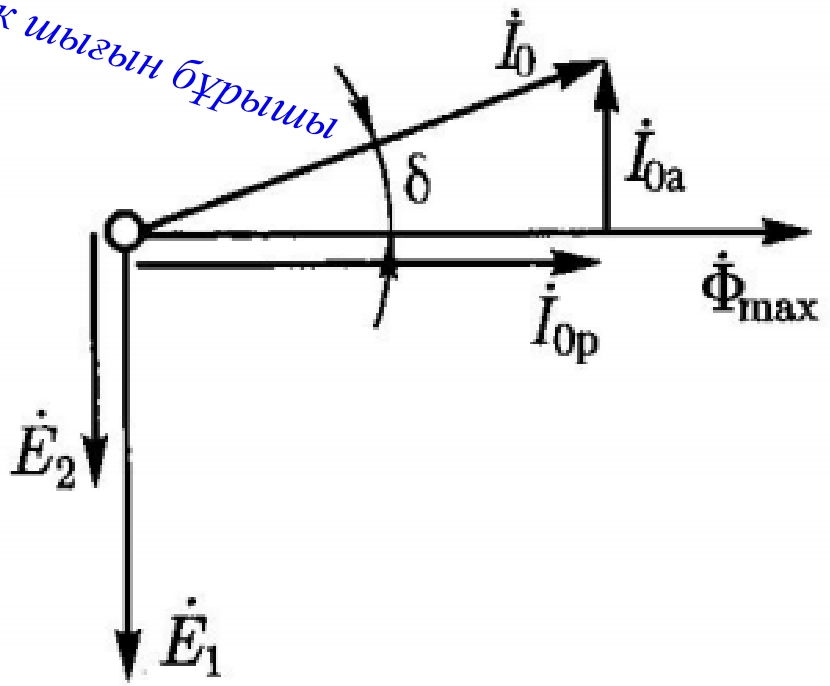
$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2^{`}, (20)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2^{`}). (21)$$

Осылайша бірінші орама тогы $\dot{I}_1$ екі құраушыдан тұрады. $\dot{I}_0$ ток құраушысы $\dot{I}_0 w_1$ МҚК арқылы негізгі магнит ағынын тудырады, ал $-\dot{I}_2^{`}$ ток құраушысы $-\dot{I}_2^{`} w_1$ МҚК арқылы екінші ораманың $\dot{I}_2 w_2$ МҚК-ін компенсациялайды. Демек, жүктеме тогының ($\dot{I}_2$) ауытқуы бірінші орама тогының ($\dot{I}_1$) өзгерісіне әкеледі, бұл жүктеме тогына қарсы фазада жатқан бірінші орама тогының құраушысының ($-\dot{I}_2^{`}$) әсерінен болады.

Бос жүріс тогы

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}$$



4 - сурет

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

$$k = {}^{w_1}/_{w_2}$$

Параметрлері келтірілген трансформатор

↓

Эквивалент трансформатор коэффициенті

$$k = {}^{w_1}/_{w`_2} = 1,\ (w`_2 = w_1)$$

Бұл кезде трасформатордың орамаларындағы электр магниттік қуат өзгеріссіз қалу керек:

$$E_2 I_2 = E`_2 I`_2 . (1)$$

Параметрлері келтірілген трансформатор

$$E_2 I_2 = E_2^{`} I_2^{`}. (1)$$

$$I_2^{`} = I_2 \left({}^{w_2}/_{w_1}\right)$$

$$E_2^{`} = \frac{I_2}{I_2^{`}} E_2 = E_2 \frac{w_1}{w_2}. (2)$$

$$U_2 I_2 \approx U_2^{`} I_2^{`}$$

$$U_2^{`} \approx U_2 \left({}^{w_1}/_{w_2}\right). (3)$$

Параметрлері келтірілген трансформатор

$I_2^2 r_2 = I_2^{`2} r_2^{`}$ Активті кедергідегі шығындар (қуаттар) теңдігі

$$r_2^{`} = r_2 \left( {}^{I_2}/_{I_2^{`}} \right)^2 = r_2 \left({}^{w_1}/_{w_2} \right)^2 . (4)$$

$I_2^2 x_2 = I_2^{`2} x_2^{`}$ Реактивті кедергідегі шығындар (қуаттар) теңдігі

$$x_2^{`} = x_2 \left({}^{w_1}/_{w_2} \right)^2 . (5)$$

Екінші ораманың толық кедергісі: $Z_2^{`} = r_2^{`} + j x_2^{`} = Z_2 \left({}^{w_1}/_{w_2} \right)^2 , (6)$

Жүктеме кедергісі: $Z_{ж}^{`} = Z_{ж} \left({}^{w_1}/_{w_2} \right)^2 . (6*)$

Параметрлері келтірілген трансформатордың кернеулері мен токтарының теңдеулері

$$\dot{U}_1 = \left(-\dot{E}_1\right) + \dot{I}_1 Z_1 = \left(-\dot{E}_1\right) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1;$$

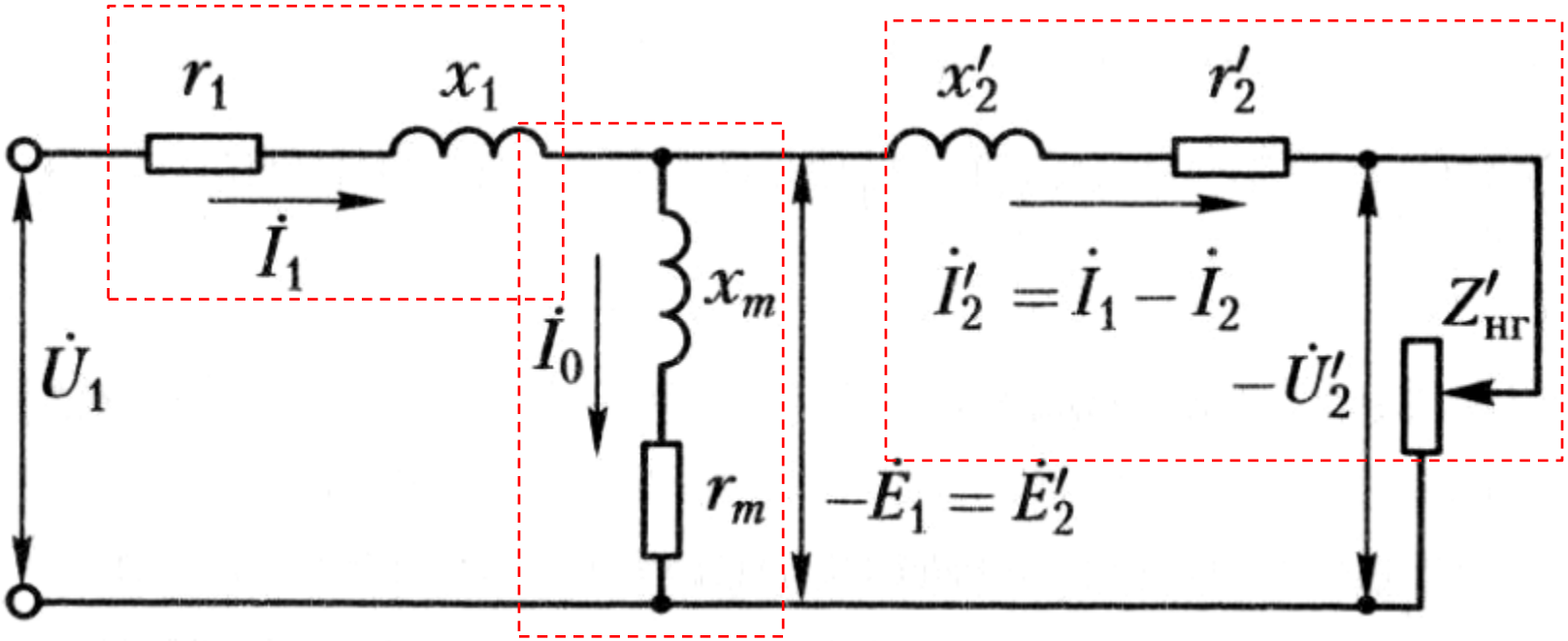
$$U`_2 = \dot{E}`_2 - \dot{I}`_2 Z`_2 = \dot{E}`_2 - j\dot{I}`_2 x`_2 - \dot{I}`_2 r`_2;$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \left(-\dot{I}`_2\right). (7)$$

Бұл теңдеулер жүктеменің бос жүріс режимінен номиналға дейін аймағында трансформатор параметрлерінің арасында аналитикалық байланыс орната алады.

Келтірілген трансформатордың Т типті орнын алмастыру схемасы

$$k = 1 \rightarrow -\dot{E}_1 = \dot{E}`_2$$



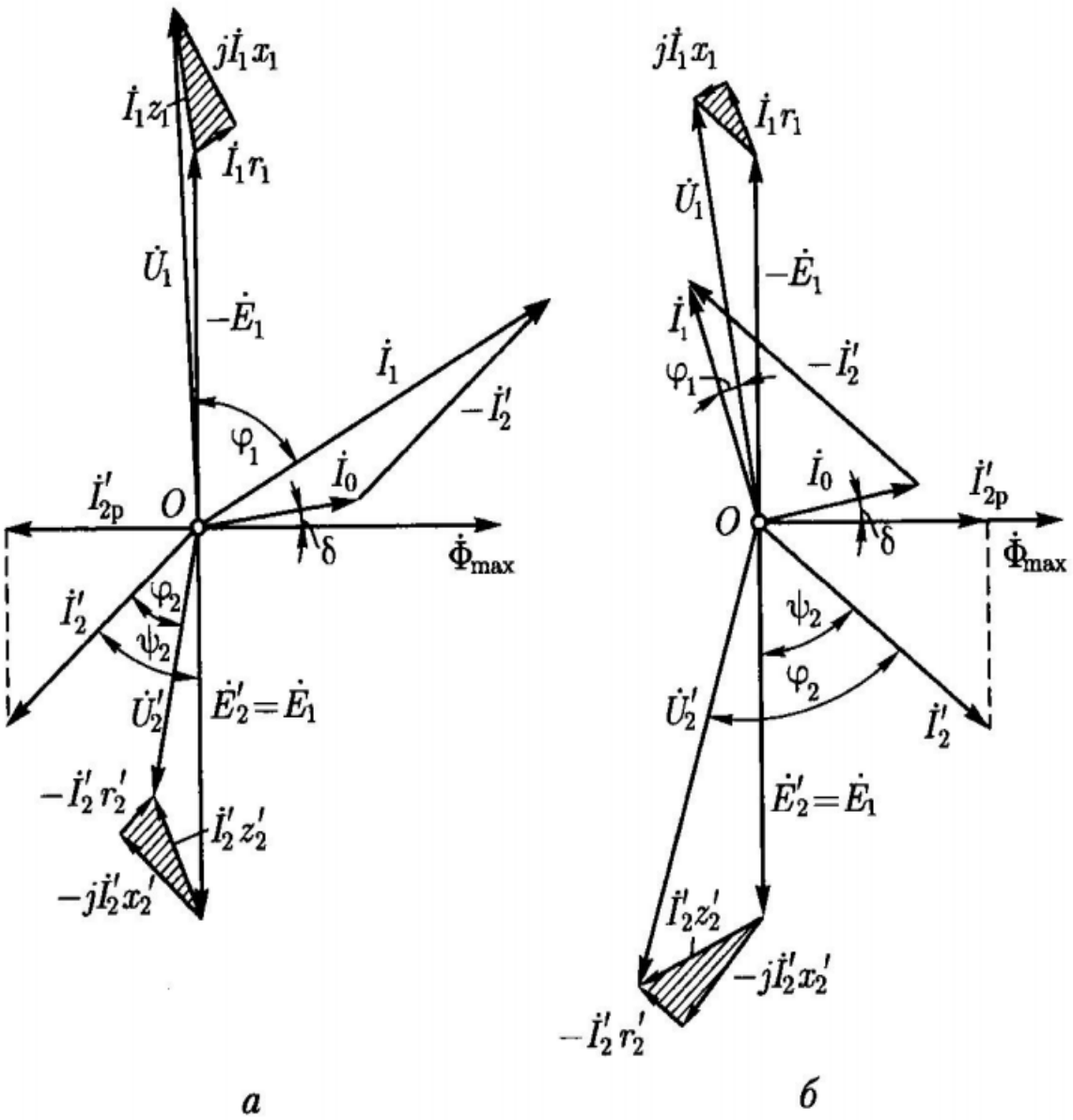
5б сурет

алғашқы - кедергісі $Z_1 = r_1 + jx_1$, тогы, $\dot{I}_1$;

магниттеуші - кедергісі $Z_m = r_m + jx_m$, тогы, $\dot{I}_0$;

екінші – өз кедергісі $Z`_2 = r`_2 + jx`_2$, жүктеме кедергісі $Z`_ж = r`_ж \pm jx`_ж$, тогы, $\dot{I}`_2$.

Трансформатордың векторлық диаграммасы



6 сурет