Электр машиналары және электр жетегі



Профессор Досболаев М.Қ.

Үшфазалы токтар жүйесін трансформациялау

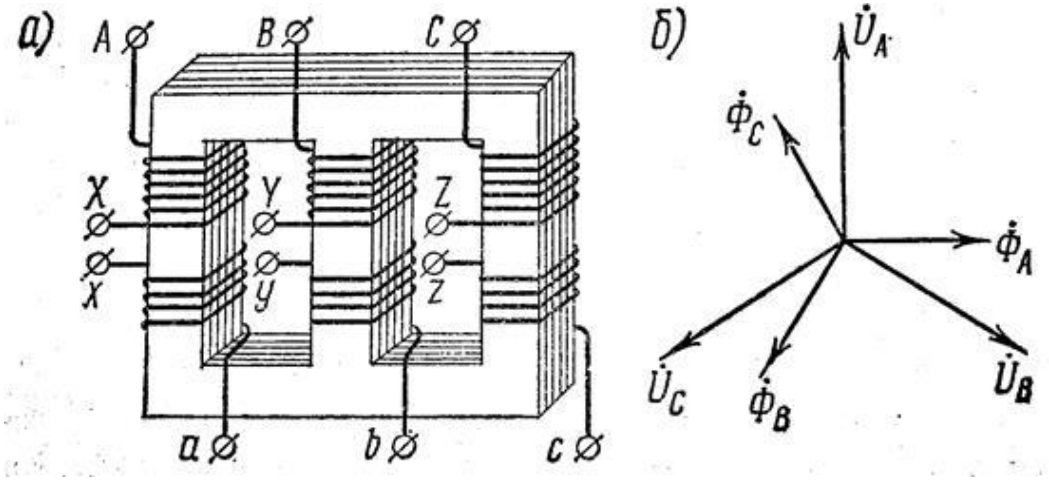
- Жұлдызша (Y);
- Нөлдік сымы бар жұлдызша (Y_0);
- Үшбұрыш (Δ);
- Нөлдік сымы бар «зигзаг» (Z).

Мысал: Y/Δ , жоғары кернеу орамы жұлдызша, ал төменгі кернеу орамы үшбұрыш болып жалғанған.

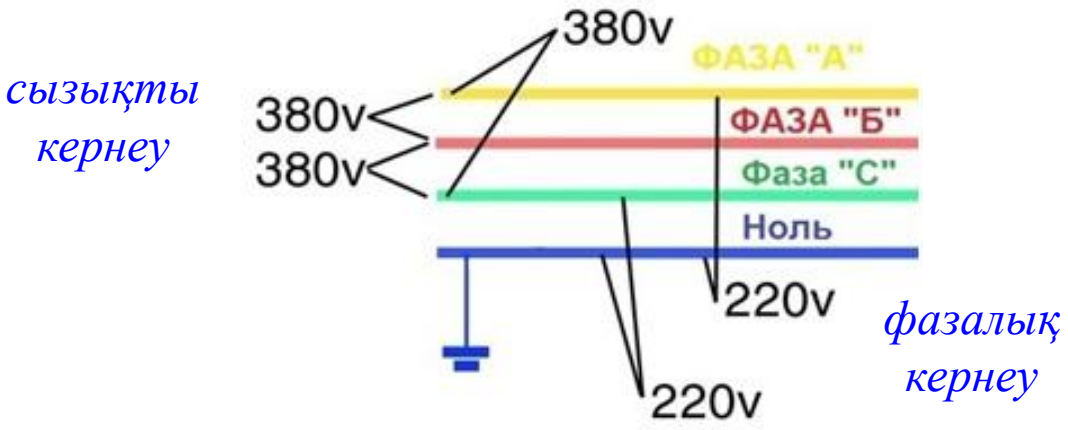
«Зигзаг» жалғау түрі арнайы трансформаторлар үшін қолданылады.

Жоғары кернеу орамының басы A, B, C сәйкесінше соңы X, Y, Z деп белгіленеді.

Төменгі кернеу орамының басы a, b, c сәйкесінше соңы x, y, z деп белгіленеді.



Үшфазалы трансформатор орамдарын жалғау түрлері



$$380\ \text{В} = \sqrt{3} \cdot 220\ \text{В}$$

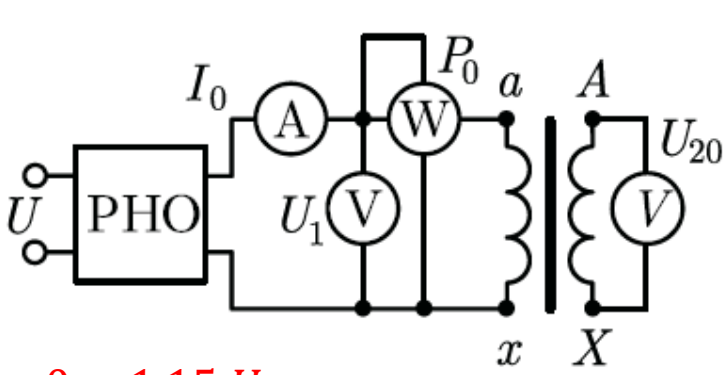
$(U_C = \sqrt{3}U_\Phi)$ жұлдызша жалғау кезінде. $(U_C = U_\Phi)$ үшбұрыш жалғау кезінде.

$(I_C = \sqrt{3}I_\Phi)$ үшбұрыш жалғау кезінде. $(I_C = I_\Phi)$ жұлдызша жалғау кезінде.

Орамаларды жалғау түрі	Y/Y	Δ/Y	Δ/Δ	Y/Δ
Сызықты кернеулердің қатынасы	w_1/w_2	$w_1/(\sqrt{3}w_2)$	w_1/w_2	$\sqrt{3}w_1/w_2$

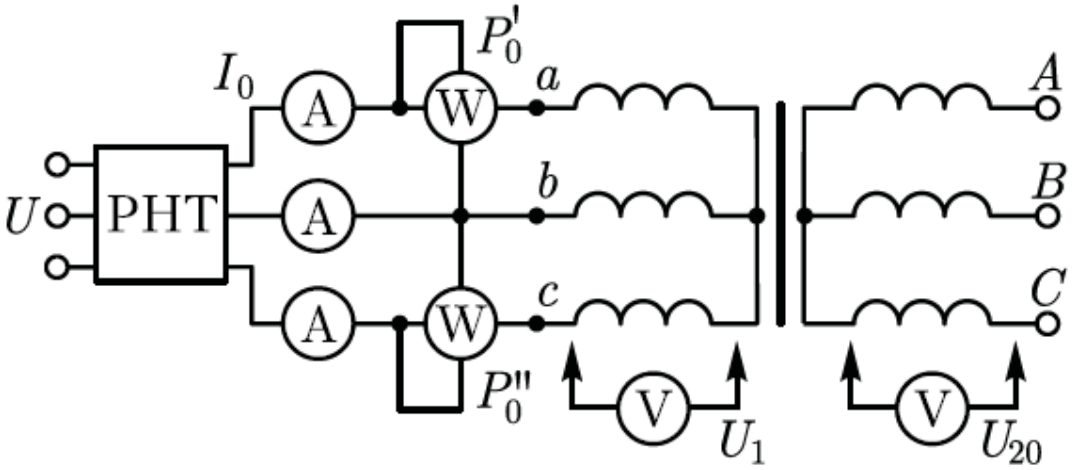
Трансформатор параметрлерін анықтаудың бос жүріс тәжірибелік тәсілі

$$Z_1 = r_1 + jx_1; \quad Z_m = r_m + jx_m; \quad Z`_2 = r`_2 + jx`_2$$



$0 \div 1.15\ U_{1ном}$

а



б

3 сурет $(Z_ж = \infty;\ I_2 = 0)$

$$P_0 \approx P_M + I_0^2 r_1$$

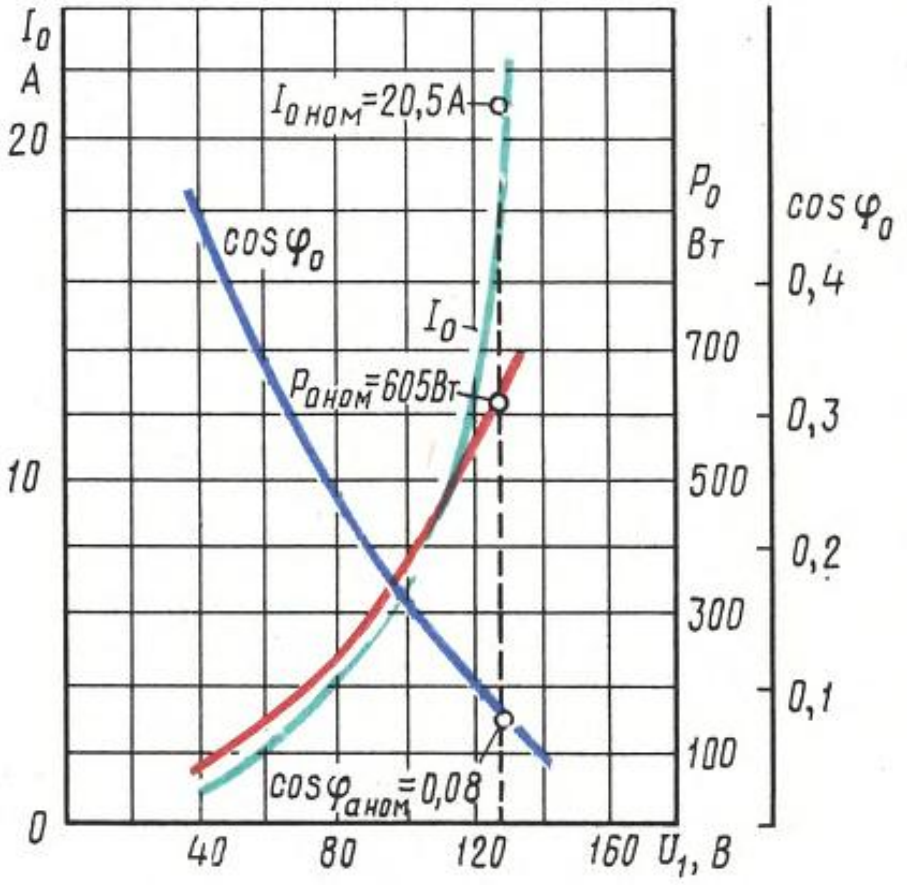
$$I_0 \approx 0{,}1 \cdot I_{ном}$$

$$\dot{U}_1 = \left(-\dot{E}_1\right) + j\dot{I}_0 x_1 + \dot{I}_0 r_1 . (1)$$

$$\dot{U}`_{20} = \dot{E}`_2 . (1^*)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 . (2)$$

Бос жүрістегі үшфазалы трансформатордың сипаттамалары



4 сурет

$$I_0 = (I_{0a} + I_{0b} + I_{0c})/3 \ (3);$$

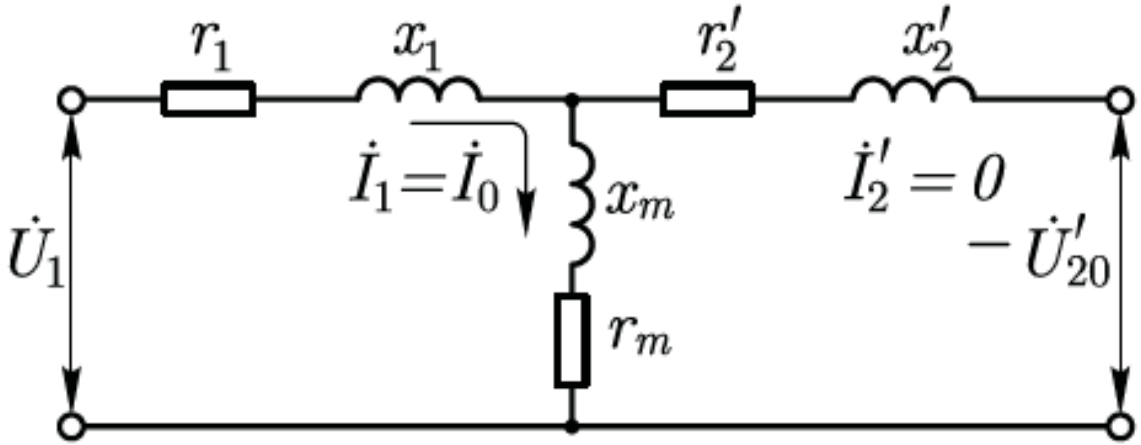
$$U_1 = (U_{1a} + U_{1b} + U_{1c})/3 \ (4).$$

$$cos\varphi_0 = \frac{P`_0 + P``_0}{3U_1 I_0} = \frac{P_0}{3U_1 I_0} \ (5)$$

$$k = U_1/U_{20}$$

$$i_0 = \left(\frac{I_{0ном}}{I_{1ном}}\right) 100 \approx 10 - 0.6\,\%$$

Бос жүріс тәжірибелік тәсіл кезіндегі трансформатордың орын басу схемасы



5 сурет

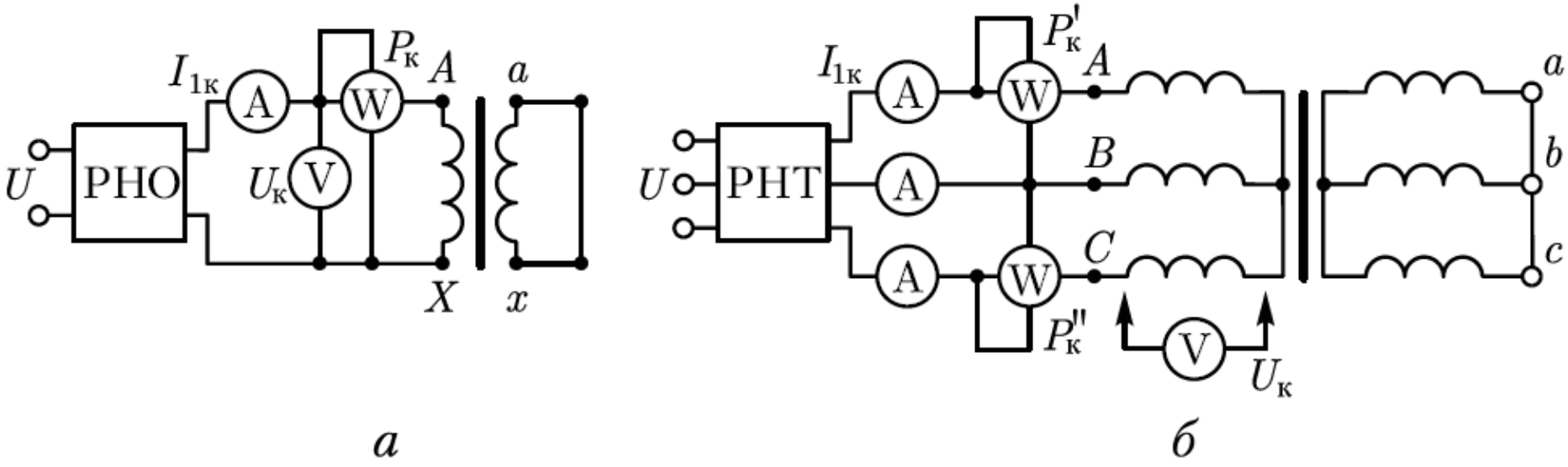
$$U_1 = I_0(r_1 + jx_1) + U_m$$

$$U_1 \approx U_m$$

$$z_м = \frac{U_1}{I_0};\ r_м = z_м cos\varphi_0;\ x_м = \sqrt{z_м^2 - r_м^2}\ (6).$$

Трансформатор параметрлерін анықтаудың қысқа тұйықтау тәжірибелік тәсілі

$I_{1к.т.} = I_{1ном}$



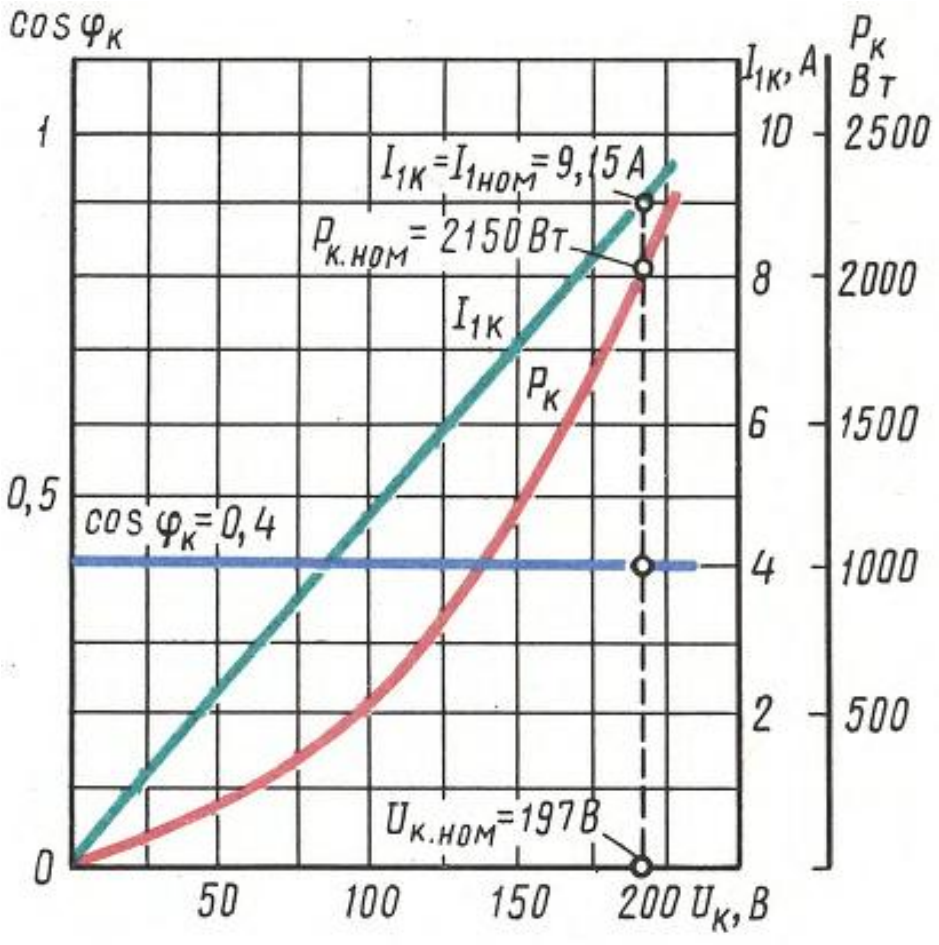
а *б*

6 сурет $(Z_ж = 0,\ U_2 = 0)$

$$U_{к.т.ном} \longrightarrow I_{1к.т.} = I_{1ном} \text{ және } I_{2к.т.} = I_{2ном}$$

$$u_{к.т.} = \left(\frac{U_{к.т.}}{U_{1ном}}\right) 100 \approx 5 \div 10\%$$

Қысқа тұйықталған үшфазалы трансформатордың сипаттамалары



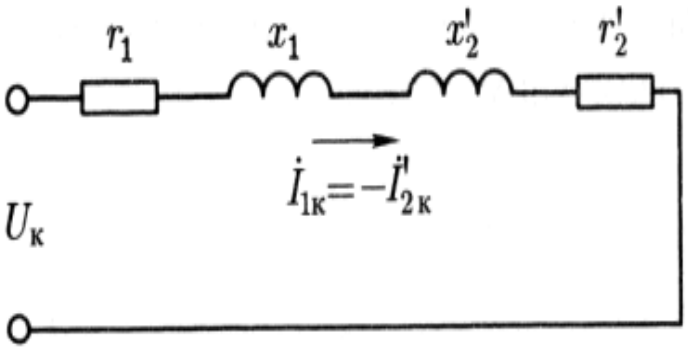
7 сурет

Қысқа тұйықтау тәжірибелік тәсіл кезіндегі трансформатордың орын басу схемасы

$$u_{\text{қ.т.}} = \left(\frac{U_{\text{қ.т.}}}{U_{1\text{ном}}}\right) 100 \approx 5 \div 10\%$$

$$\Phi_{\max} \approx \frac{U_1}{4.44 f w_1}$$

$$\dot{I}_{1\text{қ.т.}} = -\dot{I}`_{2\text{қ.т.}} \ (7)$$



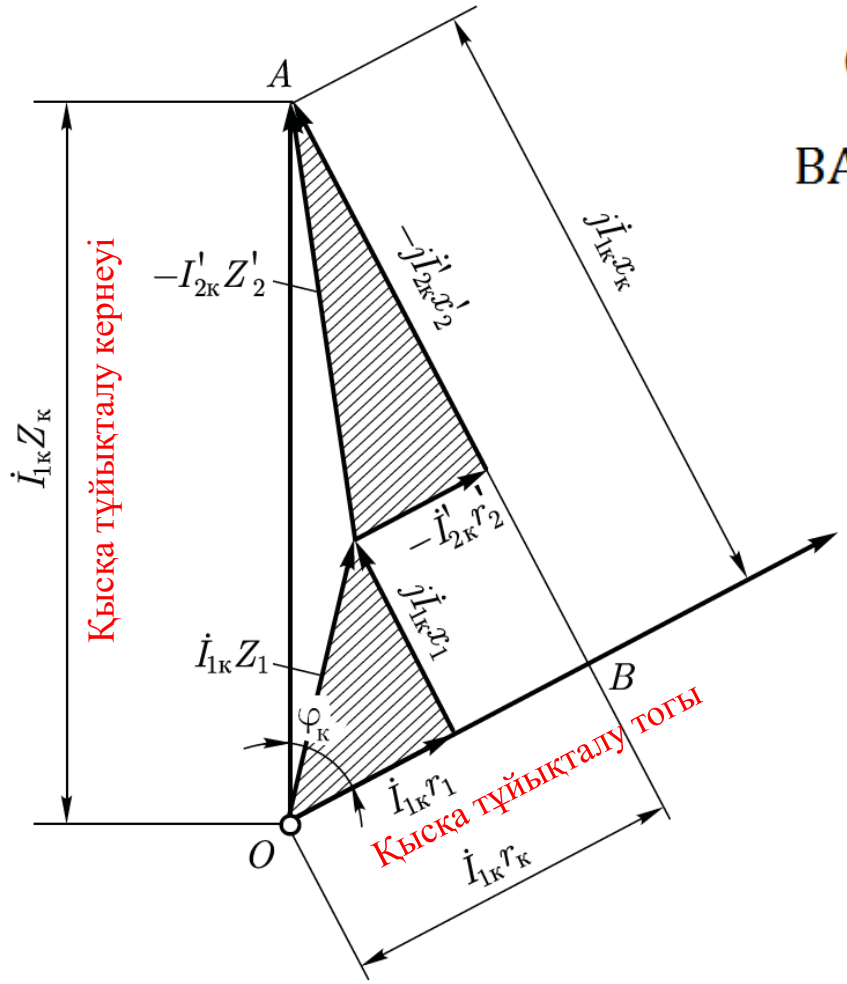
8 сурет

$$\dot{U}_{\text{қ.т.}} = \dot{I}_{1\text{қ.т.}}(r_1 + r`_2) + j\dot{I}_{1\text{қ.т.}}(x_1 + x`_2)$$

$$\dot{U}_{\text{қ.т.}} = \dot{I}_{1\text{қ.т.}} r_{\text{қ.т.}} + j\dot{I}_{1\text{қ.т.}} x_{\text{қ.т.}} = \dot{I}_{1\text{қ.т.}} Z_{\text{қ.т.}} \ (8)$$

$$Z_{\text{қ.т.}} = r_{\text{қ.т.}} + j x_{\text{қ.т.}} \ (9)$$

Қысқа тұйықтау тәжірибелік тәсіл кезіндегі трансформатордың векторлық диаграммасы



9 сурет

$$OB = \dot{I}_{1қ.т.}r_1 + \dot{I}`_{2қ.т.}r_2` = \dot{I}_{1қ.т.}r_{қ.т.} = \dot{U}_{қ.т.\ а};$$

$$BA = j\dot{I}_{1қ.т.}x_1 + j\dot{I}`_{2қ.т.}x_2` = j\dot{I}_{1қ.т.}x_{қ.т.} = \dot{U}_{қ.т.\ р};$$

$$OA = \dot{I}_{1қ.т.}Z_{қ.т.} = \dot{U}_{қ.т.}.$$

$$U_{қ.т.} = \sqrt{U^2_{қ.т.\ а} + U^2_{қ.т.\ р}}.$$

AOB қысқа тұйықталу үшбұрышы деп аталады

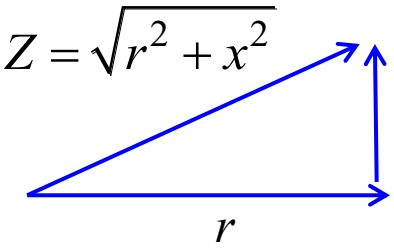
Қысқа тұйықтау тәжірибелік тәсіл кезіндегі трансформатордың орын басу схемасының параметрлері

Қысқа тұйықталу тәсіліндегі орын басу сұлбасының кедергілері:

$$z_{\text{қ.т.}} = U_{\text{қ.т.}}/I_{1\text{қ.т.}};$$

$$r_{\text{қ.т.}} = z_{\text{қ.т.}}\cos\varphi_{\text{қ.т.}};$$

$$x_{\text{қ.т.}} = \sqrt{z_{\text{қ.т.}}^2 - r_{\text{қ.т.}}^2}.$$



Енді алынған нәтижелерді орамалардың жұмыс температурасына $(+75^{\circ}C)$ келтіру қажет:

$$r_{\text{қ.т.}75} = r_{\text{қ.т.}}[1 + \alpha(75^{\circ} - \theta_1)];$$

$$z_{\text{қ.т.}75} = \sqrt{r_{\text{қ.т.}75}^2 + x_{\text{қ.т.}}^2};$$

$$\cos\varphi_{\text{қ.т.}75} = r_{\text{қ.т.}75}/z_{\text{қ.т.}75};$$

$$u_{\text{қ.т.}75} = \left(I_{\text{қ.т.}75} z_{\text{қ.т.}75}/U_{1\text{ном}}\right)100.$$

Тек электрлік шығын

$$P_{\text{қ.т.}75} = 3I_{1\text{қ.т.}}^2 r_{\text{қ.т.}75}.$$

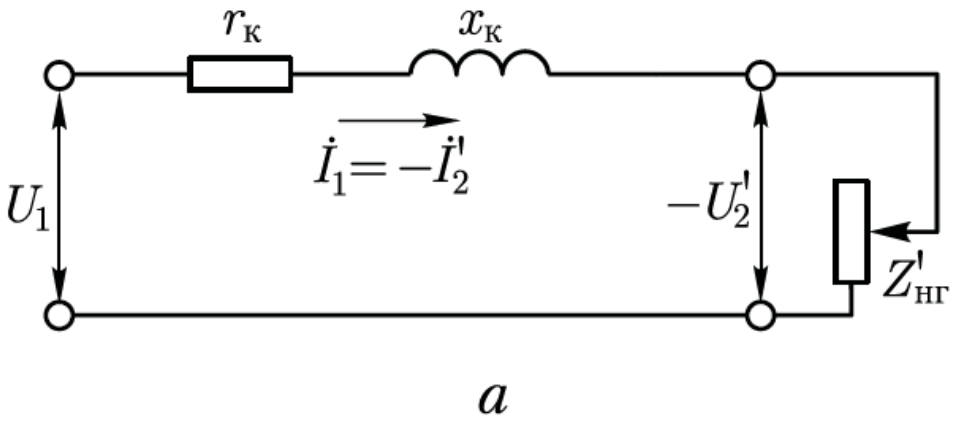
Мұндағы α – температуралық коэффициент.

$\alpha_{\text{мыс}}=4\cdot10^{-3}\ ^{\circ}C^{-1}$

Қысқа тұйықтау тәжірибелік тәсіл кезіндегі трансформатордың ықшамдалған векторлық диаграммасы

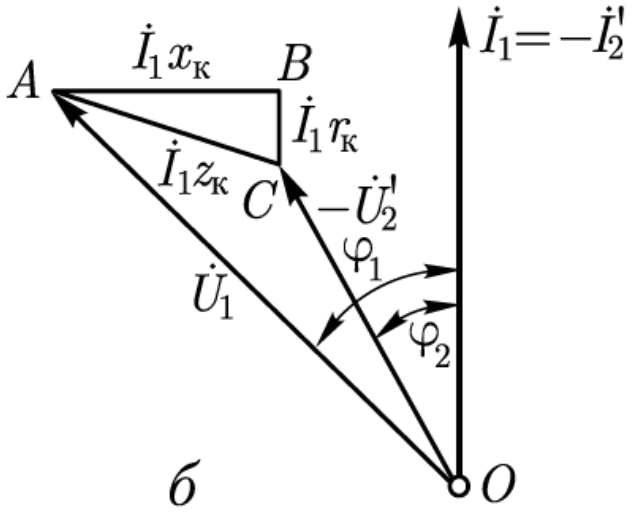
$$\dot{I}_1 = -\dot{I}`_2$$

$$r_{\text{қ.т.}} = r_1 + r'_2, \qquad x_{\text{қ.т.}} = x_1 + x'_2.$$



а

$$\dot{U}_1 = -\dot{U}'_2 + \dot{I}_1 r_к + j\dot{I}_1 x_к$$

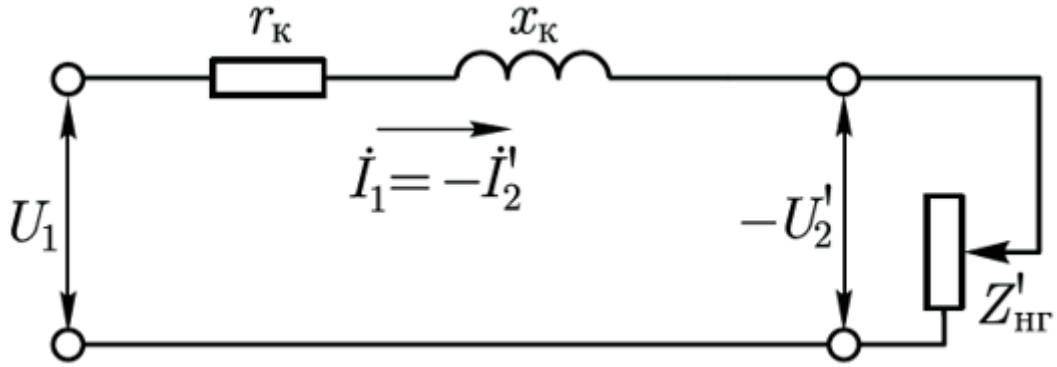


б

10 сурет

АВС үшбұрышы, қысқа тұйықталу үшбұрышы деп аталады

Трансформатордың сыртқы сипаттамасы



Бос жүріс кезінде екінші реттік орамада ток болмағандықтан, ішкі кернеу түсуі өте аз болады. Сондықтан бірінші реттікке келтірілген екінші реттік кернеу шамамен: $\dot{U}`_2 = \dot{U}_1$. Жүктеме қосылғанда орамалар арқылы ток өтіп, трансформатордың эквивалентті ішкі кедергісінде кернеу түсуі пайда болады: $z_{қ.т.} = r_{қ.т.} + jx_{қ.т.}$. Сондықтан екінші реттік кернеу орын басу схемасына сай келесідей анықталады: $\dot{U}`_2 = \dot{U}_{1ном} - \dot{I}_1 z_{қ.т.}$.

Демек, жүктеменің шамасы мен сипаты өзгергенде трансформатордың шығыс кернеуі де өзгереді. Бұл өзгеріс жүктеме тогына және трансформатордың ішкі кедергісіне байланысты.

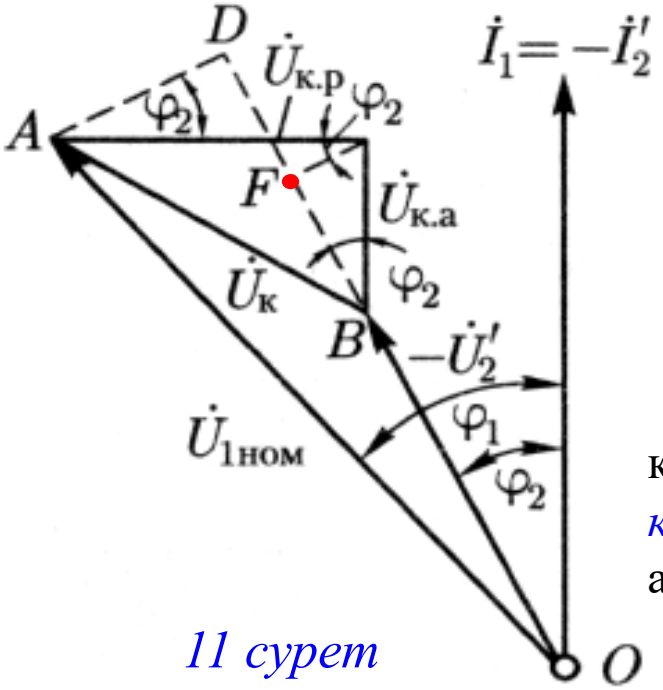
Екінші ретті кернеу шамасының өзгерісі

$$\Delta U_{\text{ном}\%} = \frac{U_{1\text{ном}} - U`_2}{U_{1\text{ном}}} 100 \qquad (10)$$

$$BD = \dot{U}_{1\text{ном}} - \dot{U}`_2 = \underline{BF} + \underline{FD}.$$

Мұндағы $\underline{BF} = U_{\text{қ.т. а}}\cos\varphi_2$; $\underline{FD} = U_{\text{қ.т. р}}\sin\varphi_2$,

олай болса $\dot{U}_{1\text{ном}} - \dot{U}`_2 = U_{\text{қ.т. а}}\cos\varphi_2 + U_{\text{қ.т. р}}\sin\varphi_2$ (11).

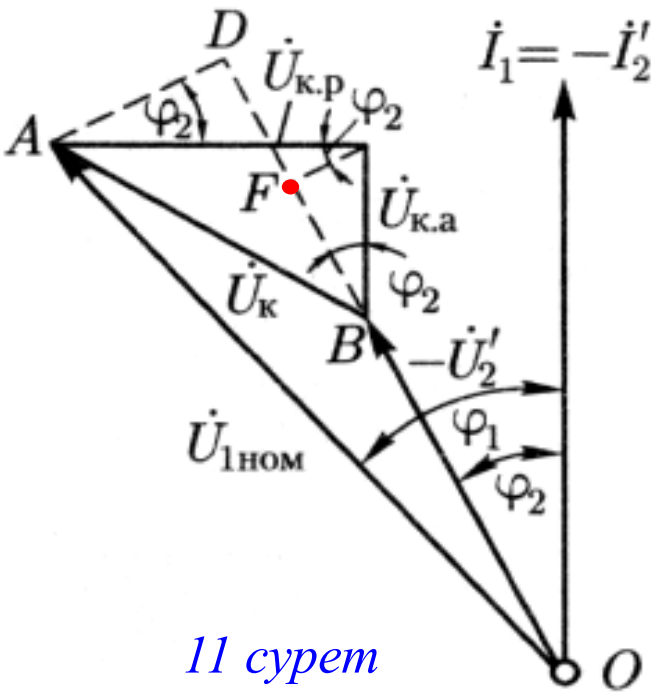


11 сурет

$$\Delta U_{\text{ном}\%} = \frac{U_{\text{қ.т. а}}\cos\varphi_2 + U_{\text{қ.т. р}}\sin\varphi_2}{U_{1\text{ном}}} 100 \qquad (12)$$

Осылайша трансформатордың номинал жүктемедегі кернеуінің салыстырмалы өзгерісі *қысқа тұйықталу кернеуінің активті және реактивті құраушылары* арқылы анықталады.

Екінші ретті кернеу шамасының өзгерісі



11 сурет

$$\Delta U_{ном\%} = \frac{U_{к.т.\ а}\cos\varphi_2 + U_{к.т.\ р}\sin\varphi_2}{U_{1ном}} 100 \quad (12)$$

$$u_{к.т.\ а} = \left(\frac{U_{к.т.\ а}}{U_{1ном}}\right) 100 \qquad u_{к.т.\ р} = \left(\frac{U_{к.т.\ р}}{U_{1ном}}\right) 100$$

$$\Delta U_{ном\%} = u_{к.т.\ а}\cos\varphi_2 + u_{к.т.\ р}\sin\varphi_2 \quad (13)$$

$$(\beta = I_2 / I_{2ном})$$

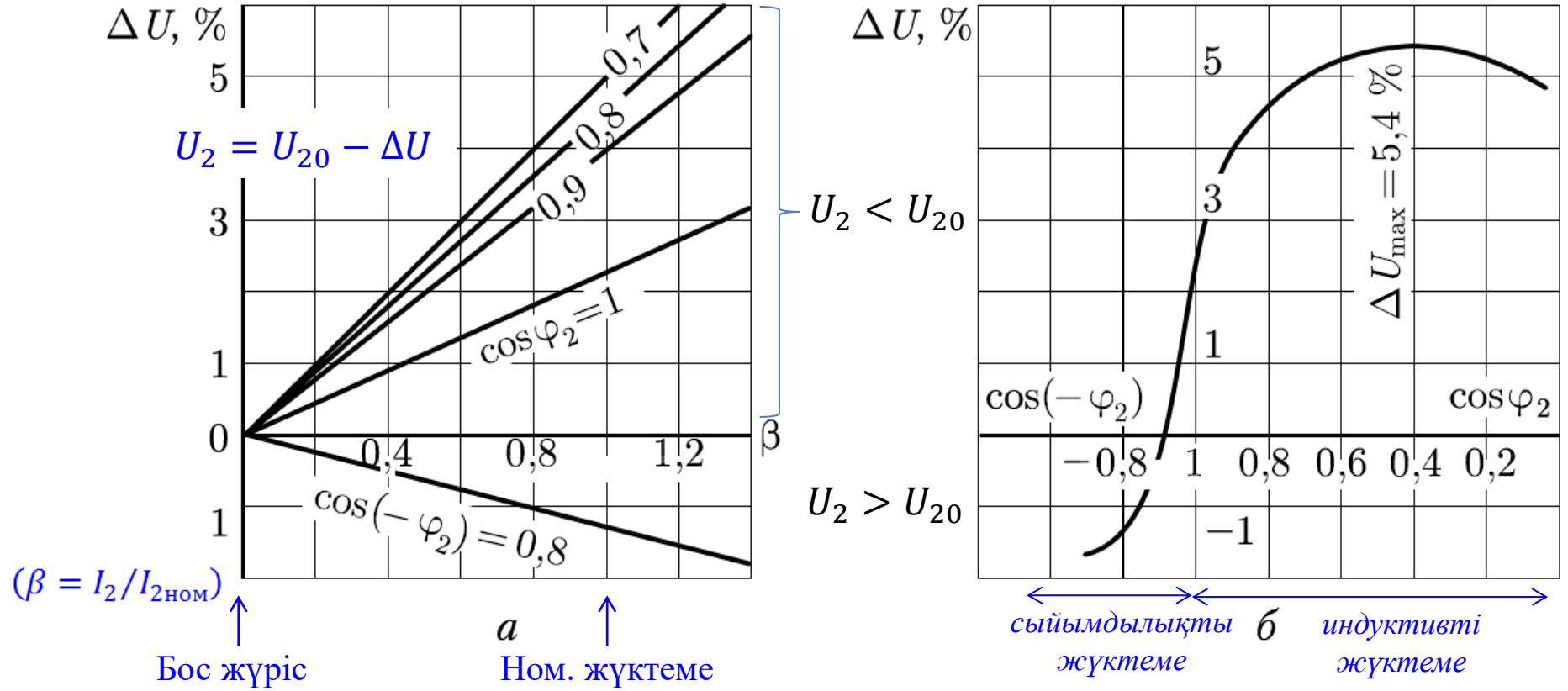
$$\Delta U_{\%} \approx \beta\left(u_{к.т.\ а}\cos\varphi_2 + u_{к.т.\ р}\sin\varphi_2\right) \quad (14)$$

Егер «минус» таңбасы болса онда жүктеме сыйымдылықты сипатқа ие

Екінші ретті кернеу шамасының өзгерісі

$$u_{\text{қ.т. а}} = u_{\text{қ.т.}} \cos\varphi_{\text{қ.т.}} \text{ және } u_{\text{қ.т. р}} = u_{\text{қ.т.}} \sin\varphi_{\text{қ.т.}}$$

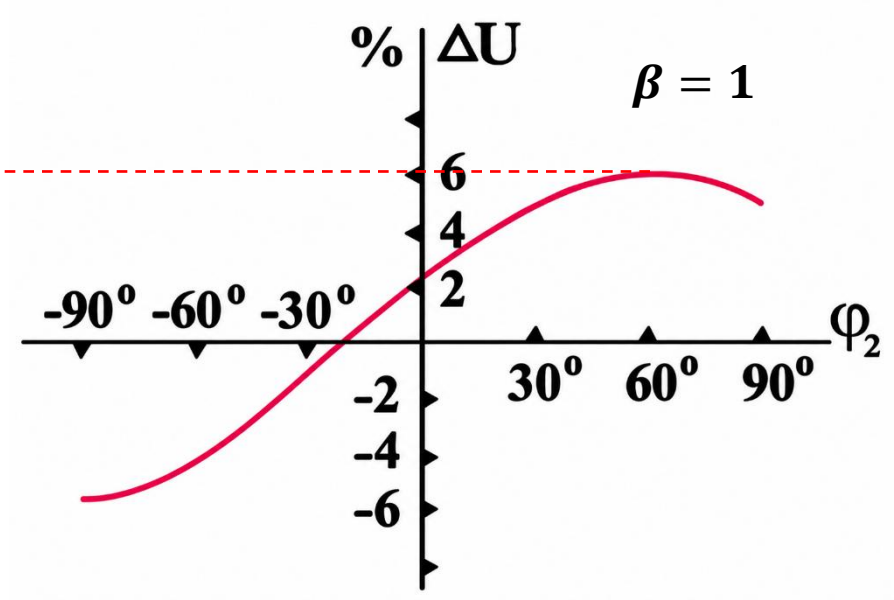
$$\Delta U_{\%} = \beta u_{\text{қ.т.}} \left(\cos\varphi_{\text{қ.т.}}\cos\varphi_2 + \sin\varphi_{\text{қ.т.}}\sin\varphi_2\right) = \beta u_{\text{қ.т.}} \cos\left(\varphi_{\text{қ.т.}} - \varphi_2\right) \quad (15)$$



12 сурет

Трансформатордың екінші реттік кернеуінің фазалық ығысу бұрышына (φ_2) тәуелділігі

$cos(\varphi_{к.т.} - \varphi_2) = 1$

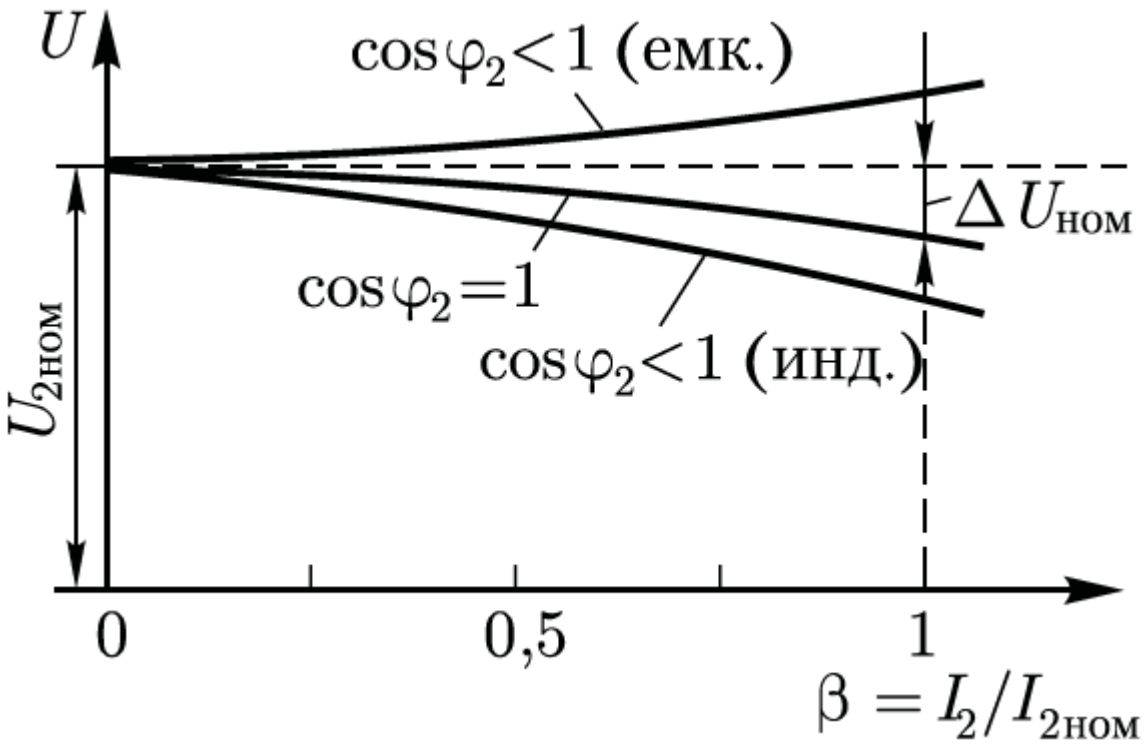


13 сурет

Сыйымдылықты жүктеме $(\varphi_2 < 0)$. Бұл жағдайда реактивті құраушының әсері кернеу төмендеуін азайтады. Белгілі бұрыштарда $\Delta U < 0$ болып, трансформатордың шығыс кернеуі бос жүріс кернеуінен жоғары болуы мүмкін.

Индуктивті жүктеме $(\varphi_2 > 0)$. Трансформатордың ішкі индуктивтік кедергісіндегі кернеу түсуі шығыс кернеуінің төмендеуін арттырады. Кернеу өзгерісі оң болады.

Трансформатордың сыртқы сипаттамасы



14 сурет

$$\Delta U_{\%} = \beta u_{\text{к.т.}} \cos\left(\varphi_{\text{к.т.}} - \varphi_2\right) \quad (15)$$