

2. Трансформатордың жұмыс істеу принципі және негізгі арақатынастары

2.1. Трансформаторларды белгілеу

Электр магниттік индукция құбылысы арқылы бір кернеудегі айнымалы токты сол жиіліктегі айнымалы токтың екінші кернеуіне өзгертуге арналған бір немесе одан да көп индуктивтік байланысқан орамалы бар статикалық электр магниттік құрылғыны **трансформатор** деп атайды.

Трансформаторларды келесі мақсаттарға кең қолданады:

- 1) электр энергиясын тұтынушыларға жеткізіп беруге және оны олардың арасында таратып беру үшін.

Әдетте электр станциясындағы генератор кернеуі 6-24 кВ-қа тең айнымалы ток электр энергиясын өндіреді. Алыс арақашықтыққа энергияны жеткізу жоғары кернеу кезінде тиімді болады, өйткені бұл кезде энергия беру жолдарында электр шығыны азаяды. Мысалы, қуаты 10 МВт-қа тең электр энергиясын 100 шақырым қашықтыққа беру үшін кернеудің 500 кВ-қа тең болуы керек. Сол себептен электр станцияларында кернеудің шамасын жоғарылататын трансформаторлар қойлады.

Кәзіргі уақытта жоғары вольтты электр беріліс желіндерде кернеуі 330, 500 және 750 кВ, қуаты 1200-1600 МВА-ге тең трансформаторлар қолданады. Қалаларда, аулдық жерлерде, кәсіпорындарда және олардың ішінде электр энергиясының кернеулері 110, 35, 10 және 6 кВ ауа және кабель желіндер арқылы таратылады.

Айнымалы ток электр тұтынушыларының көпшілігі 220, 380 және 600 В кернеумен істейтіндіктен электр энергиясын пайдалану пунктерінде төмендеткіш трансформатор орнатылады. Сонымен, электр энергиясын электр станцияларынан тұтынушыларға берілу кезінде трансформаторлар арқылы кернеу бірнеше рет (3-5 рет) түрлендіріледі.

- 2) әртүрлі технологиялық мақсаттар үшін.

Электр дәнекерлеуге (болқытып біріктіруге), электр жылулық пештерді электр қуатымен қамтасыз ету, т.с.с. (тура сол сияқты).

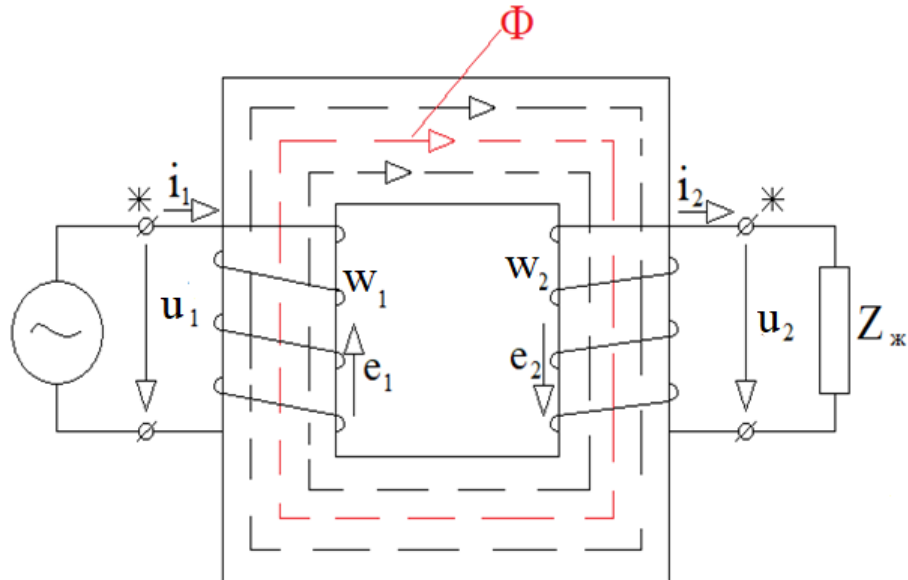
- 3) радио және телевизия аппаратурасының әртүрлі тізбектерін электр қуатымен қамтасыз ету үшін.

- 4) жоғары кернеулі және күшті токты тізбектерге өлшеуіш аспаптарды қосу үшін. Бұл трансформаторлар (өлшеуіш трансформаторлар) өлшеу шегін ұлғайтады және электірлік қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

2.2. Екі орамды трансформаторлардың жалпы құрылысы мен жұмыс істеу принципі

Қарапайым трансформаторда екі орамасы бар. Қорек көзге қосылған орамасын бірінші реттеу орама және электр жүк қосатын орамасын екінші реттеу орама деп атайды. Бірінші реттеу ораманың параметрлары индекс 1-мен белгілінеді (w_1 – орамалардың саны, e_1 – ЕҚК, u_1 – кернеуі, i_1 – токтың

күші, p_1 – қуаты, $\cos \varphi_1$ – қуат коэффициенті), екінші реттеу ораманың параметрлары индекс 2-мен белгігіледі (w_2 , e_2 , u_2 , i_2 , p_2 , $\cos \varphi_2$). Ормаларын магниттік байланысы күшеу үшін, оларды болаттан жасалған өзекшеге орыналастырады (сур. 2.1). Құйынды токтар тұғызатын қуаттын шығындарың азайту үшін, өзекшені жишке болат тіліктіңден жасайды (тіліктің қалыңдағы 0,35-0,5 мм).



Сур. 2.1. Екі орамды трансформатор

Трансформатор жұмыс істеу үшін айнымалы кернеуі u_1 әсерімен бірінші реттеу орамаға электр ток i_1 ағылады. Бұл ток өзекшенің ішінде магнит ағынды Φ туғызады. Өзекшемен айналып жүрген магнит ағыны екі орамының орамаларына ілініп e_1 және e_2 ЭҚК-ді индукциялайды. Электр магниттік заңы бойынша, e_1 және e_2 ЭҚК-ін көлемдері орамаларының санына w_1 және w_2 пропорционалды. Екінші реттеу ораманың қысқыштарына электр жүктеме (кедергі) қосылса, онда орама мен жүктемеде ток i_2 жүреді және қысқыштарың арасында көлемі e_2 ЭҚК-ке жақын u_2 кернеуі орнатылады.

Сонымен трансформатордың кернеуі u_1 не тоғы i_1 өзгергенде, екінші реттеу кернеуі мен токтың жиілігі сол қалпымен қалады ($f=\text{const}$).

2.3. Трансформатордың бос жүріс шарттары

Трансформатордың екінші реттеу орамасың ажыратып қойса, орамада ток болмайды $i_2=0$. Бұл режимды **бос жүріс ереже** деп атайды. Бос жүрісте бірінші реттеу орамада көлемі аз айнымалы ток i_0 өтеді, айнымалы магнит өрісін туғызып. Бұл токты бос жүрістің немесе **магниттеуш тоғы** деп атайды.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша w_1 орамдары бар бірінші реттеу ораманың кернеуі

$$u_1 = -e_1 + R_1 \cdot i_1, \quad (2.1)$$

мұнда $e_1 = -w_1 * \frac{d\Phi}{dt}$ – кері ЭҚК;

$R_1 * i_1$ – бірінші реттеу ораманың активтік кедергіндегі кернеу түсу.

Трансформаторларда $R_1 * i_1$ есепке алынбайды, көлемісі аз болғандықтан. Сонымен

$$u_1 = -e_1 = w_1 * \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.2)$$

Кернеу синусоидалық болса $u_1 = U_{1m} * \sin \omega * t$ (U_{1m} – бірінші реттеу кернеудің амплитудасы, $\omega = 2\pi * f$ – айнымалы токтын бұрыштық жиілігі), магнит ағыныда синусоидалық болады $\Phi = \Phi_m * \sin (\omega * t - \frac{\pi}{2})$. Бұл ағынды (2.2) қойғанда:

$$e_1 = -w_1 \frac{d [\Phi_m * \sin (\omega t - \frac{\pi}{2})]}{dt} = -\omega * w_1 * \Phi_m * \sin \omega t = -E_{1m} * \sin \omega t. \quad (2.3)$$

ЭҚК-ін әрекет мәні:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} * f * w_1 * \Phi_m = 4.44 * f * w_1 * \Phi_m. \quad (2.4)$$

(2.2) теңдеулік әрекет мәндеріне әділетті болу керек $U_1 = E_1$. Олай болса максималды магнит ағыны тең:

$$\Phi_m = \frac{U}{4.44 f w_1}, \quad (2.5)$$

мұнда U_1 – трансформаторға қосылған кернеудің әрекет мәні.

(2.5) теңдеуден негізгі магнит ағын жүктемеге тәуелді еместігі көрініп тұр, өйткені жиілік f , кернеу U_1 жүктеме өзгерген кезде тұрақты боп қалады.

Өзекше болатын магниттік қасиеттері сызықсыз болғанымен, синусоидалды ағынды тудыратын магниттеуіш ток i_μ сызықсыз болу керек. Бұл ток негізгі және гармоникалары жоғары токтардан құрылады. Бырақ анализ жасағанда, не есеп шығарғанда магниттеуіш токты синусоидалы ток деп санайды, өйткені оның көлемісі номиналды токтын 5% аспайды.

Магнит ағыны екінші орамамен де байланысып, синусоидалы ЭҚК e_2 туғызады:

$$u_2 = -e_2 = w_2 * \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.6)$$

ЭҚК максимал (амплитудалық) және әрекет мәндері тең:

$$E_{2m} = \omega * w_2 * \Phi_m \text{ және } E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = 4.44 * f * w_2 * \Phi_m. \quad (2.7)$$

Трансформация коэффициенті k деп аталған тең:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{E_{1m}}{E_{2m}} = \frac{U_{1m}}{U_{2m}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (2.8)$$

Сонымен трансформатор кернеуді катушканың орамалар санына пропорционалдық түрлендіреді.

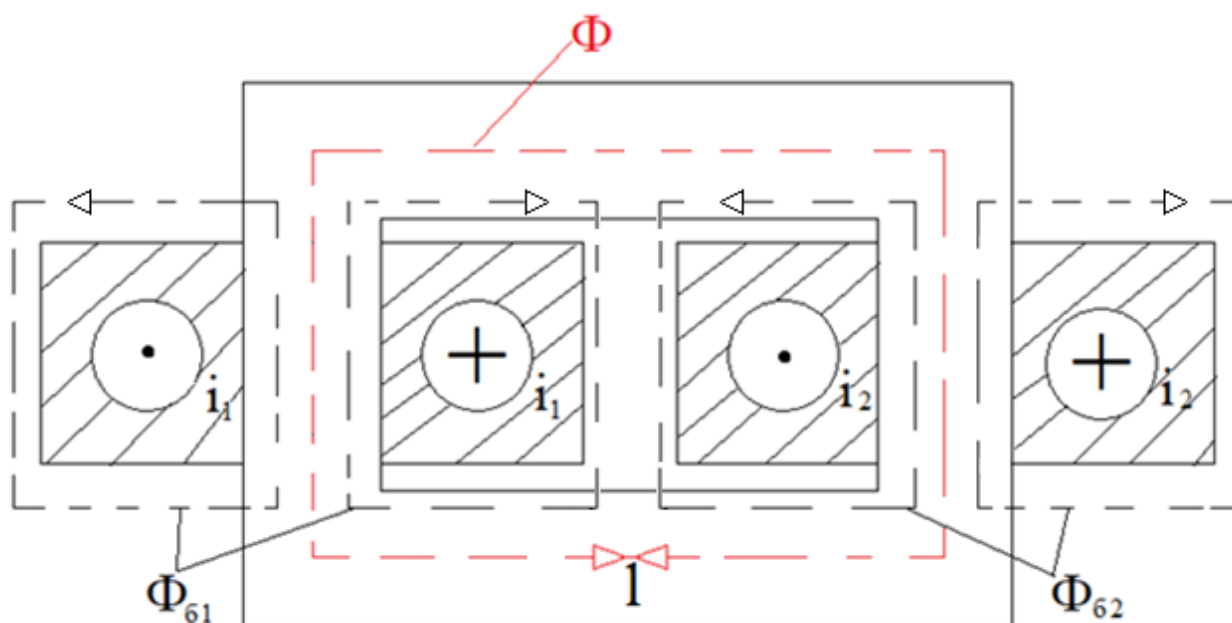
Егер екінші реттеу ораманың қысқыштарға жүктеме қосылса, екінші орамада және жүктемеде ток i_2 жүреді, $w_2 i_2$ магниттеуш күшті туғызып. Бұл күш бірінші реттеу магниттеуш күшке тең: $w_1 i_1 = w_2 i_2$. Олай болса

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k}, \quad (2.9)$$

трансформатор токты катушканың орамалар санына кері пропорционалдық түрлендіреді.

2.4. Трансформатор реактанстары және кернеулердің теңдеулері

Трансформатордың магнит өрісін мұндай магнит ағындарымен ұйымдастыруға болады (сур. 2.2):



Сур. 2.2. Трансформатордың магнит өрісінің магнит ағындары

- 1) i_1 және i_2 токтармен бірге құрастырған өзекшенің ағыны Φ екі орамамен ілніскен;
- 2) сейілу ағындары $\Phi_{\sigma 1}$, $\Phi_{\sigma 2}$, i_1 және i_2 токтарымен тудыратын негізгі ауа (немесе трансформаторлық майымен) арқылы таралып тұйықталатындар. Бұл ағындар тек қана өзінің орамамен ілініседі.

Сейілу ағындары энергия берілісіне қатыспайды, бірақта әрбір орамда өзара индукцияның ЭҚК-терін $E_{\sigma 1}$ мен $E_{\sigma 2}$ құрады. Бұл ЭҚК-тер сәйкес токтарға пропорционал болады:

$$E_{\sigma 1} = X_1 I_1 \text{ және } E_{\sigma 2} = X_2 I_2, \quad (2.10)$$

мұндағы X_1 мен X_2 – трансформатордың орамаларының сейілу ағындарының индуктивтік кедергілері.

ЭҚК-ің векторлары $\dot{E}_{\sigma 1}$ мен $\dot{E}_{\sigma 2}$ сәйкес токтардан және сейілу ағындардан 90 градусқа қалып отырғындықтан

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -jX_1 \dot{I}_1, \quad \dot{E}_{\sigma 2} = -jX_2 \dot{I}_2 \quad (2.11)$$

Сонымен, трансформатордың бірінші реттік орамасының кернеулерін теңдеуінің түрі мынандай болады:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + R_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + jX_1 \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (2.12)$$

Мұнда $Z_1 = R_1 + jX_1$ – бірінші реттік ораманың толық кедергісі. Екінші реттік орамасының кернеулерін теңдеуі мынандай болады:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} - R_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - jX_2 \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.13)$$

Мұнда $R_2 \dot{I}_2$ – екінші ораманың активтік кедергінде кернеудің түсуі;

$Z_2 = R_2 + jX_2$ – екінші реттеу ораманың толық кедергісі.

2.5. Магниттік қозғаушы күштердің теңдеуі

Бос жүріс ережеде екінші реттеу орамада ток жоқ $i_2 = 0$. Магнит өткізгіштегі негізгі ағыны бос жүріс магниттеуш күшті (магнит қозғаушы күші – МҚК) тудырады. Оның максимал мәні мынаған тең:

$$\Phi_m = \frac{\sqrt{2} I_0 w_1}{R_M}, \quad (2.14)$$

мұндағы $R_M = 1/(\mu_a S)$ – өзекшенің магнит кедергісі.

Трансформатордың екінші реттік тізбегіне жүктемені тіркеген кезде онда ток I_2 пайда болады. Соған қарай бірінші реттік орамадағы токтың мәні I_1 -ге дейін өседі. Ендігі жағдайда магниттік ағын Φ екі МҚК-тер $I_1 w_1$ мен $I_2 w_2$ -нің әрекеттесуі туады, яғни

$$\Phi_m = \frac{I_1 w_1 - I_2 w_2}{R_M} \quad (2.15)$$

Бұл тұжырым (2.15) және (2.14) өрнектерін бір-бірімен теңестіруге мүмкіндік береді:

$$\frac{I_0 w_1}{R_M} \sqrt{2} = \frac{I_1 w_1 - I_2 w_2}{R_M} \sqrt{2} \quad \text{немесе} \quad I_0 w_1 = I_1 w_1 - I_2 w_2 \quad (2.16)$$

(2.16) өрнегі магниттік қозғаушы күштердің теңдеуі деп аталады.

Бұл теңдіктің екі жағын бірінші реттік ораманың орам санына w_1 -ге бөліп табатынымыз:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 * \frac{w_2}{w_1}, \text{ яғни } \dot{I}_0 = \dot{I}_1 - \dot{I}'_2 \quad (2.17)$$

мұндағы $\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 * \frac{w_2}{w_1}$ – бірінші реттік ораманың орам санына келтірілген екінші реттік ток. (2.17) шығатыны:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (2.18)$$

Бұл өрнек **трансформатор токтардың теңдеуі** деп аталады.

Магниттік өткізгіштің болаты қайталана магниттелуі кезінде онда **магниттік гистерезис және құйындық токтар** әсерінен электр энергиясының магнит шығындары пайда болады. Шығындарының қуатын бос жүріс тогының құраушысы анықтайды. Сол себептен, бос жүріс тогының негізгі магнит ағынды құратын реактивтік ток I_{0p} құраушысымен бірге активтік құраушысы I_{0a} бар.

2.6. Келтірілген трансформатор

Трансформатордың трансформациялау коэффициенті k үлкен болған кезде бірінші реттік орамның параметрлері екінші реттік орамының параметрлерін біршама өзгеше болады. Бұл жағдайда трансформаторлардың жұмыстын тәртіптерін есептеуге және векторлық диаграммаларын салуда қиындықтар тудырады. Бұл қиындықтарды трансформатордың параметрлерін бір орам санына келтіру (көбісінде бірінші реттік ораманың орам санына w_1 -ге) арқылы шешуге болады.

Сонымен, трансформациялау коэффициенті $k = \frac{w_1}{w_2}$ -ге тең трансформатордың орнына орам саны $w_1 = w'_2$ -ге тең балама трансформатор пайда болады. Мұны **келтірілген трансформатор** деп аталады. Трансформатордың параметрлері келтірілген кезде, оның энергетикалық көрсеткіштері: қуаттары, қуат шығындары, параметрлері және арасындағы фазалық ығысулар өзгермеуі, яғни нақты трансформатордағыдай болуы керек.

Нақты трансформатормен келтірілген трансформатордың электр магниттік қуаттардың теңдігінен ($E_2 I_2 = E'_2 I'_2$) келтірілген ЭҚК табылады: $E'_2 = E_2 \frac{I_2}{I'_2}$. Бұған келтірілген екінші реттік токтың мәнін $I'_2 = I_2 \frac{w_2}{w_1} = \frac{I_2}{k}$ қойған кейін табатынымыз

$$E'_2 = E_2 \frac{I_2}{I'_2} k = k E_2. \quad (2.19)$$

Екінші реттік ораманың келтірілген кернеуі осыған ұқсас табылады

$$U'_2 = k U_2. \quad (2.20)$$

Екінші реттік ораманың активтік кедергісіндегі шығындардың теңдігінен

($I_2^2 R_2 = I_2'^2 R_2'$) келтірілген активтік кедергіні табамыз:

$$R_2' = k^2 R_2. \quad (2.21)$$

Екіншілік ораманың келтірілген реактивтік және толық кедергілері ұқсас табылады

$$X_2' = k^2 X_2, \quad Z_2' = k^2 Z_2. \quad (2.22)$$

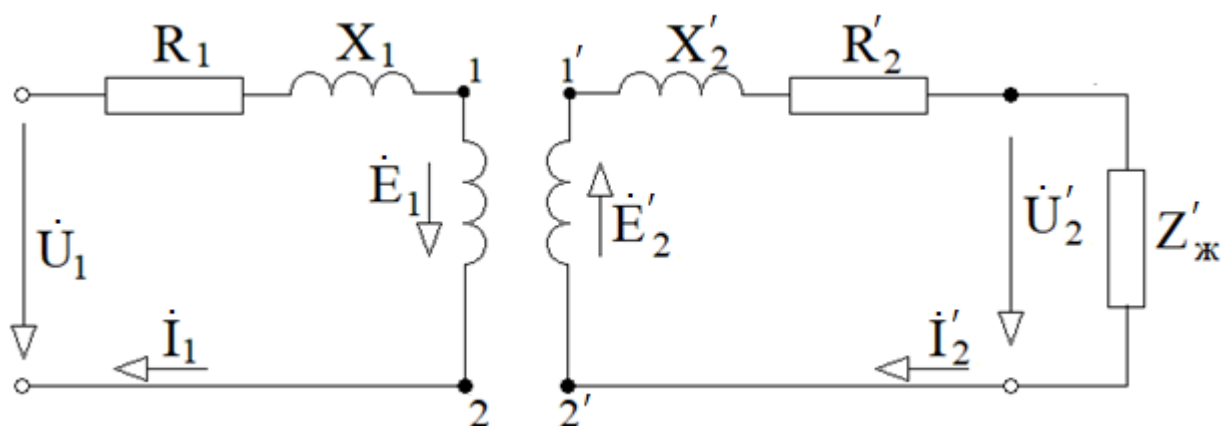
2.7. Трансформатордың орынбасу сұлбасы және векторлық диаграммасы

Келтірілген трансформатордың токтарының және ЭҚК-терінің теңдеулері енді мұнадай болады:

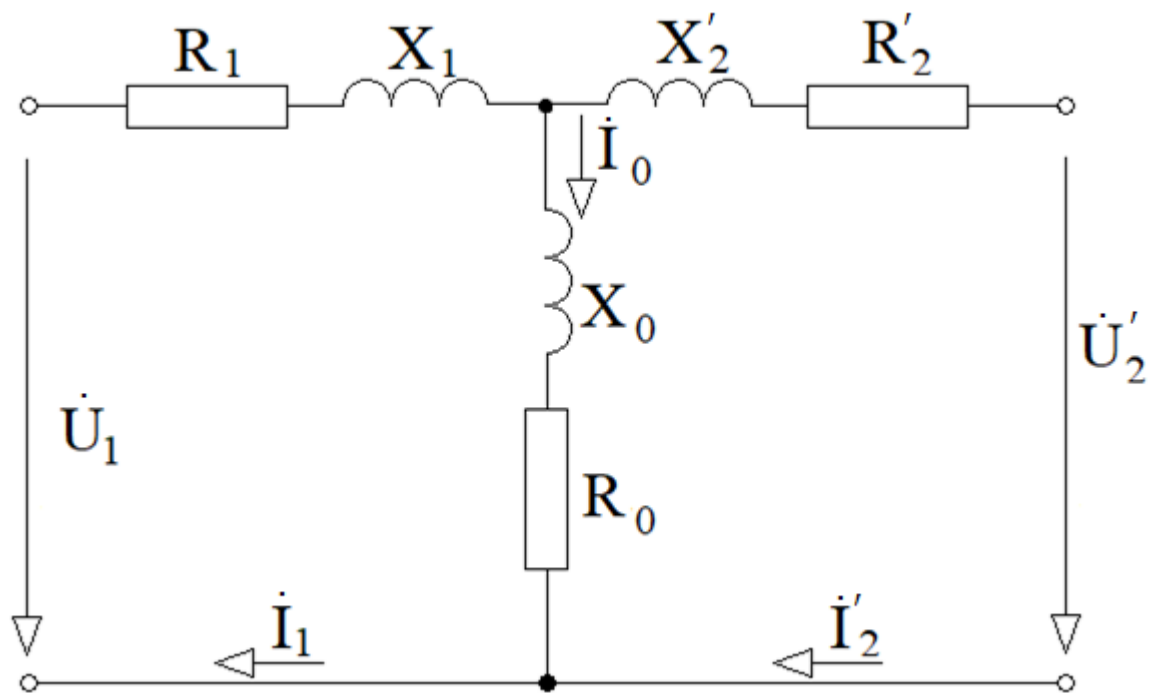
$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \\ \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 - \dot{E}_{61} + R_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + jX_1 \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2' &= \dot{E}_2' + \dot{E}_{\sigma 2}' - R_2' \dot{I}_2' = \dot{E}_2' - jX_2' \dot{I}_2' - R_2' \dot{I}_2' = \dot{E}_2' - Z_2' \dot{I}_2' \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Бірінші және екінші реттік тізбектер арасындағы магниттік байланыс электрлік байланыспен ауыстырылған, келтірілген трансформатордың орынбасу сұлбасын электр магниттік процесстерді зерттеуге және қуат шығындарын анықтауға жеңілдік беретін әдіс деп тануға болады.

Келтірілген трансформатордың трансформациялау коэффициенті $k = 1$ -ге, яғни $E_2 = E_2'$ -ке тең болғандықтан 1 және 1' 2 және 2' нүктелеріне потенциалдары бірдей болады (сур. 2.3), сол себептен бұл нүктелерді электрлік біріктіру арқылы орынбасу схемасын аламыз (сур. 2.4).



Сур. 2.3. Трансформатордың балама сұлбасы

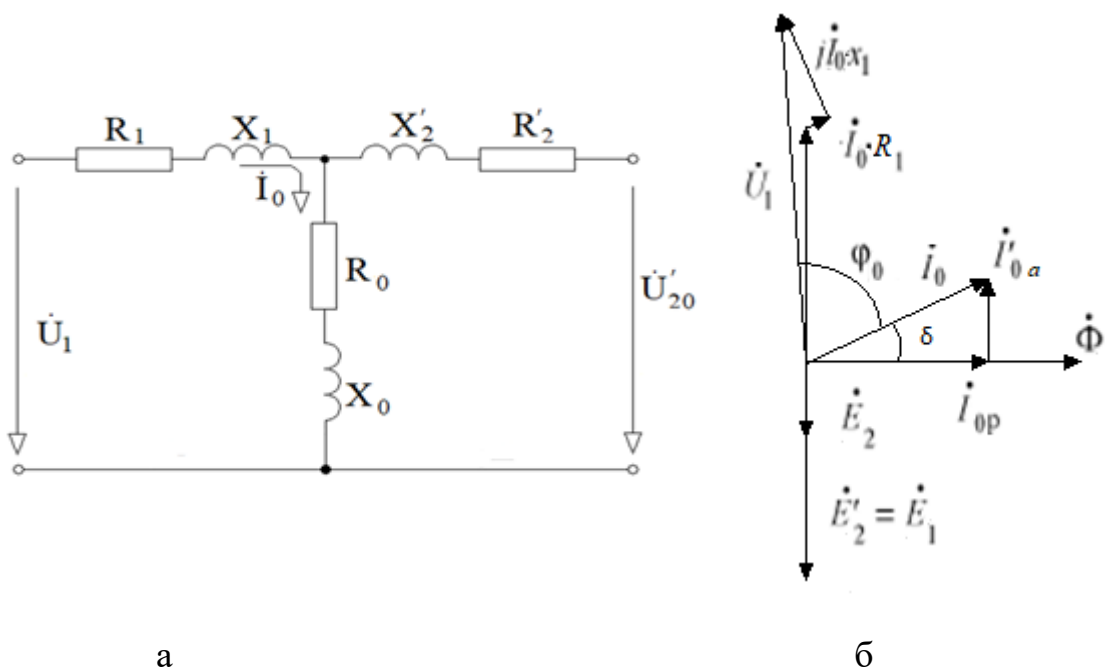


Сур. 2.4. Келтірілген рансформатордың орынбасу сұлбасы

Бұл сұлба келтірілген трансформатордың ЭҚК-тері тоқтарының тендеулеріне сәйкес құрылады және мына үш тармақтың жиынтығы болып табылады: $Z_1 = R_1 + jX_1$, тоғы $\dot{I}_1$ – бірінші реттік тармақ, кедергісі $Z_0 = R_0 + jX_0$, тоғы $\dot{I}_0$ – магниттеуш тармақ, кедергісі $Z_2' = R_2' + jX_2'$, тоғы $\dot{I}_2'$ – екінші реттік тармақ. Орынбасу сұлбасындағы кедергі $Z_{ж}$ -тің шамасын өзгерту арқылы трансформатордың бүкіл жұмыс тәріптерін қарастыруға болады. Z_1 , Z_2 және Z_0 параметрлері тұрақты болады оларды қысқа тұйықтау және бос жүріс тәжірбиелері арқылы табуға болады.

Векторлық диаграмма (сур. 2.6) орынбасу сұлбасына және тендеулерге сүйеніп тұрғызылады, ол арқылы тоқтардың, ЭҚК-тердің және кернеулердің ара қатысын көрнекті көруге болады.

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{U}}_1 &= -\dot{\mathbf{E}}_1 + \mathbf{j}\mathbf{X}_1\dot{\mathbf{I}}_0 + \mathbf{R}_1\dot{\mathbf{I}}_0 = -\dot{\mathbf{E}}_1 + \mathbf{Z}_1\dot{\mathbf{I}}_0 \\ \dot{\mathbf{U}}'_2 &= \dot{\mathbf{E}}'_2 \\ \dot{\mathbf{I}}_1 &= \dot{\mathbf{I}}_0 = \dot{\mathbf{I}}_{0a} + \dot{\mathbf{I}}_{0p} \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$



Сур. 2.6. Бос жүріс тәртібінің орынбасу сұлбасы (а) және векторлық диаграммасы (б)

Бос жүріс токтың I_0 екі құраушысы бар: негізгі магниттік ағынды құратын реактивтік I_{0p} және магниттік шығарындарына сәйкесті активтік I_{0a} . Бос жүріс қуаты P_0 тең магнит гистерезис және құйындық тоқтардан болат өткізгіште пайда болатын шығындарына.

Бос жүріс тәжірибесінен келесі шамаларды анықтауға болады:

а) трансформациялау коэффициентін $k = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{w_1}{w_2}$;

б) бос жүріс шығындарын P_0 ;

в) магниттеуші тармақтың параметрлерін $z_0 = \frac{U_1}{I_0}$, $R_0 = \frac{P_0}{m I_0^2}$, $X_0 = \sqrt{z_0^2 - R_0^2}$;

г) қуат коэффициенті $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m U_1 I_0}$ (m – фазалардың саны);

д) әдетте бос жүріс токты I_0 номинал ток $I_{1н}$ -ның пайызы түрінде көрсетеді i_0 (кернеуі номиналды болғанда $U_1 = U_{1н}$):

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1н}} * 100\%. \quad (2.25)$$

2.8.2. Қысқа тұйықтыалу тәжірибесі

Екінші тұйықталған трансформатордың орамасында номинал ток тудыратын кернеуді қысқа тұйықталу кернеуі U_K деп аталады.

Мұны, әдетте номинал кернеу U_{1H} -нің пайзы түрінде көрсетуге екінші реттік орама тұйықталған кездегі трансформатордың жұмыс тәртібі **қысқа тұйықталу** деп аталады. Бұл жағдайда ЭҚК-ін және токтардың теңдеулері мына түрде жазылады:

$$\dot{U}_{1K} = (R_1 + R'_2) \dot{I}_{1K} + j(X_1 + X'_2) \dot{I}_{1K} \quad (2.26)$$

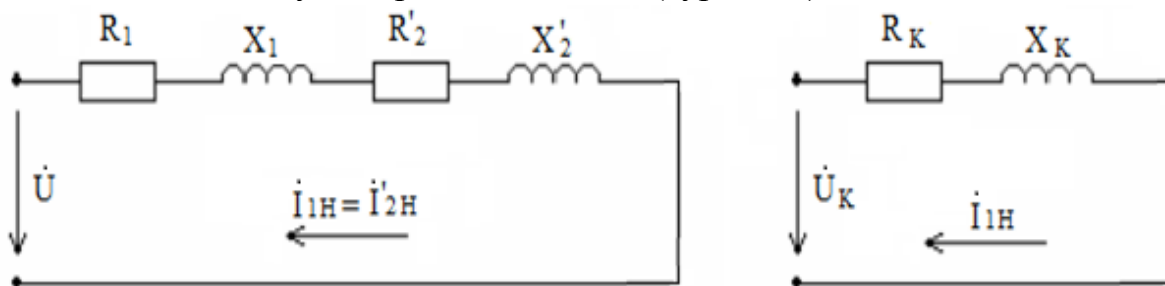
$$\dot{U}'_2 = 0$$

$$\dot{I}_{1K} = \dot{I}'_2$$

Қысқа тұйықталған трансформатордың орамасында номинал ток тудыратын кернеуді **қысқа тұйықталу кернеуі** U_K деп аталады. Мұны, әдетте номинал кернеу U_{1H} -нің пайзы түрінде көрсетеді u_K :

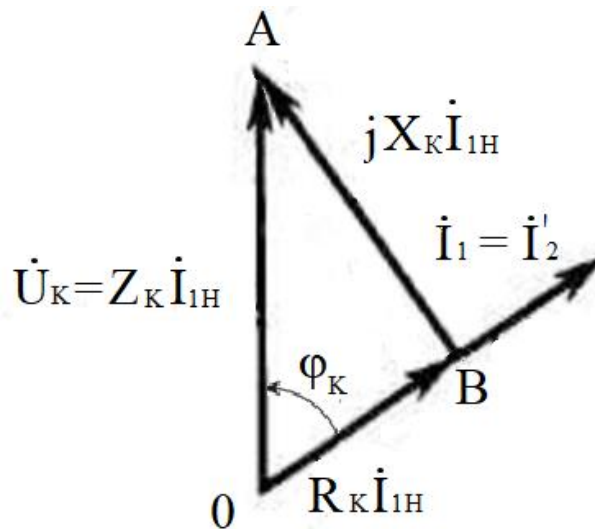
$$u_K = \frac{U_K}{U_{1H}} * 100\% = \frac{I_{1H} * Z_K}{U_{1H}} * 100\% . \quad (2.27)$$

Өзекшедегі магниттық ағын бірінші реттік кернеу U_1 -ге пропорционал, ал қысқа тұйықталу тәртібінің кернеуі u_K U_{1H} кернеуінің 10%-ынан аспайтындығынан магниттік ағын да аз, осыған сәйкес оны тудыратын токтын да шамасы аз болады, сондықтан бұл токты елемеуге болады. Сол себептен қысқа тұйықталу тәртібіндегі трансформатордың салыстырма сұлбасында магниттеуші тармақ болмайды (сурет 2.7).



Сур. 2.7. Қысқа тұйықталу тәртібіндегі трансформатордың орынбасу сұлбасы

Қысқа тұйықталу тәртібінің ЭҚК-терінің және теңделерін (2.27) пайдаланып, қысқа тұйықталу тәртібіне сәйкес келетін векторлық диаграмма саламыз (сурет 2.8).



Сурет 2.8. Қысқа тұйықталу тәртібіндегі трансформатордың векторлық диаграммасы.

ОАВ үшбұрышты **қысқа тұйықталу үшбұрышы** деп аталады.

Қысқа тұйықталу тәжірибесі арқылы келесі шамаларды анықтауға болады:

а) қысқа тұйықталуын шығындарын - R_K ;

б) қуат коэффициенті $\cos \varphi_K = \frac{P_K}{m \cdot U_K \cdot I_K}$;

в) орынбасу сұлбасының параметрлерін $Z_K = \frac{U_K}{I_{1H}}$, $R_K = \frac{P_K}{m \cdot I_{1H}^2}$, $X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$.

Материалды тереңірек түсіну және бекіту үшін студенттер зертханалық жұмысты «Екі орамалы трансформатордың бос жүріс және қысқа тұйықталу режимдерінде» орындауы керек.

Лекцияны меңгеруге арналған сұрақтар

1. Трансформатордың бос жүріс тәжірибесі.
2. Трансформатордың қысқа тұйықталу тәжірибесі.
3. Келтірілген трансформатор.
4. Трансформатордың орынбасу сұлбасы.
5. Активті жүктелген трансформатордың векторлық диаграммасы.
6. Индуктивті жүктелген трансформатордың векторлық диаграммасы.
7. Сыйымдылықпен жүктелген трансформатордың векторлық диаграммасы.
8. Активті-индуктивтік жүктеме кезіндегі трансформатордың векторлық диаграммасы.
9. Активті-сыйымдылықтық жүктеме кезіндегі трансформатордың векторлық диаграммасы.
10. Екі орамалы трансформатордың құрылысы.

11. Үшфазалы трансформатордың құрылысы.
12. Трансформатордың жұмыс істеу принципі.
13. Трансформатордың бос жүріс шарттары.
14. Трансформатор реактивтік кедергілері және кернеулерінің тендеулері.

Негізгі әдебиеттер тізімі

1. Жумагулов Қ.Қ., Шидеров М., Гали К.О. Электр машинасы. – Алматы: АЭЖБИ, 2008. – 9-14 б.
2. Задания для программированного изучения раздела "Трансформаторы" по курсу "Электрические машины". – Караганда, 2007. – с. 21-26.