

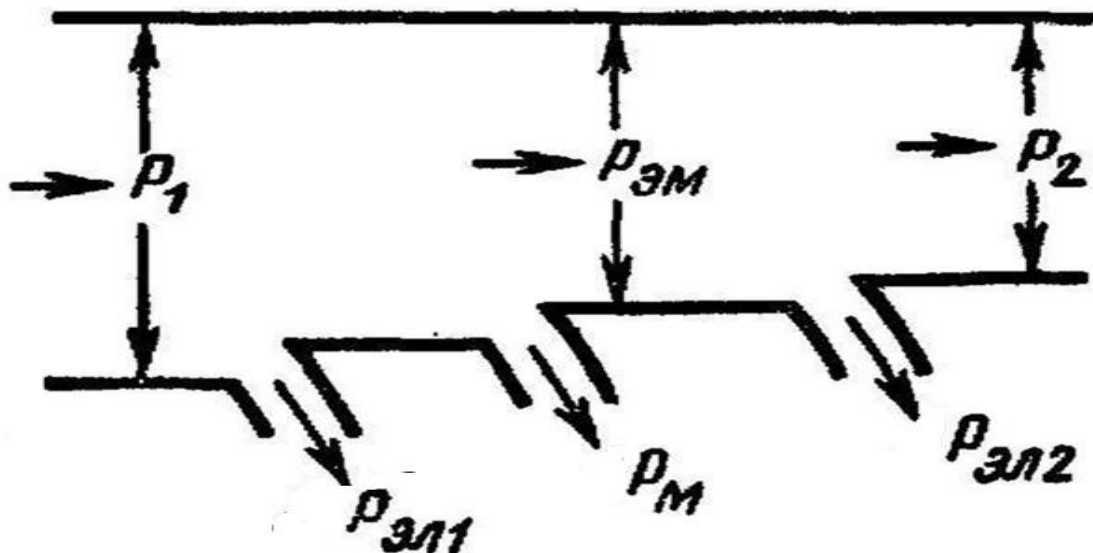
3. Үшфазалық трансформаторлар

3.1. Трансформатордың энергетикалық диаграммасы және пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК)

Трансформатор пайдалы қуатты $P_2 = mU_2I_2 \cos \varphi_2$ жүктемеге жеткізу үшін, электр энергияны бірінші реттік орамаға тұтынады (оның қуаты $P_1 = mU_1I_1 \cos \varphi_1$). Бірінші реттік орама электр қуаттан P_1 бірінші реттік ораманың активтік кедергісінде жоғалатын электр шығындарын $p_{эл1} = mI_1^2 R_1$ және өзекшенің болатындағы магниттік шығындарын $p_m = P_0$ алған кейін қуатты **электр магниттік қуат $P_{эм}$** деп аталады. Бұл қуаттан екінші реттік ораманың активтік кедергісінде жоғалатын электр шығындарын $p_{эл2} = mI_2^2 R_2$ алған кейін қалған қуатына P_2 жүктеме пайдаланылады. Бірінші реттік және екінші реттік орамалардың шығындарын қосқанда трансформатордың электрлік шығындары

$$p_{эл} = p_{эл1} + p_{эл2} = mI_1^2 R_1 + mI_2'^2 R_2' \quad (3.1)$$

Трансформаторда электр энергия түрлендіру процессіне энергетикалық диаграммасы сәйкес (сурет 3.1).



Сурет 3.1. Трансформатордың энергетикалық диаграммасы

Жүктеме коэффициенті β тең:

$$\beta = \frac{P_2}{P_H} = \frac{mU_2I_2 \cos \varphi_2}{mU_2I_{2H} \cos \varphi_2} = \frac{I_2}{I_{2H}} = \frac{I_2'}{I_{2H}'} = \frac{I_1}{I_{1H}} \quad (3.2)$$

мұнда P_H , I_{2H} – номиналды қуат пен ток. (3.1)-ды (3.2) пайдалансақ,

$$P_{эл} = m\beta^2 I_{2H}'^2 R_k = m\beta^2 I_{1H}'^2 R_k = \beta^2 P_k \quad (3.3)$$

мұнда P_k – қысқа тұйықталу шығындары.

Трансформатор пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК η) дегеніміз жүктемеге берілген қуат P_2 бірінші реттік тізбекке келіп түскен қуат P_1 -ге қатынасы:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\sum \Delta P}{P_1 + \sum \Delta P} \quad (3.4)$$

мұндағы $\sum \Delta P$ – трансформатордың қосынды шығындары тең:

$$\sum \Delta P = \Delta P_m + \Delta P_{эл} = P_0 + \beta^2 P_k \quad (3.5)$$

Пайдалы қуат $P_2 = mU_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta S_H \cos \varphi_2$ (S_H – толық қуаты). Олай болса ПӘК тең:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_k}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k} \quad (3.6)$$

ПӘК-ің максимумды табу үшін (2.33) теңдеуден туындыны алып, оны нөлге теңдеу керек. Бұл жағдайда $\beta^2 P_k = P_0$ болады. ПӘК электрлік шығындары магниттік шығындарға тең болатын жүктеме кезінде мәніне жетеді.

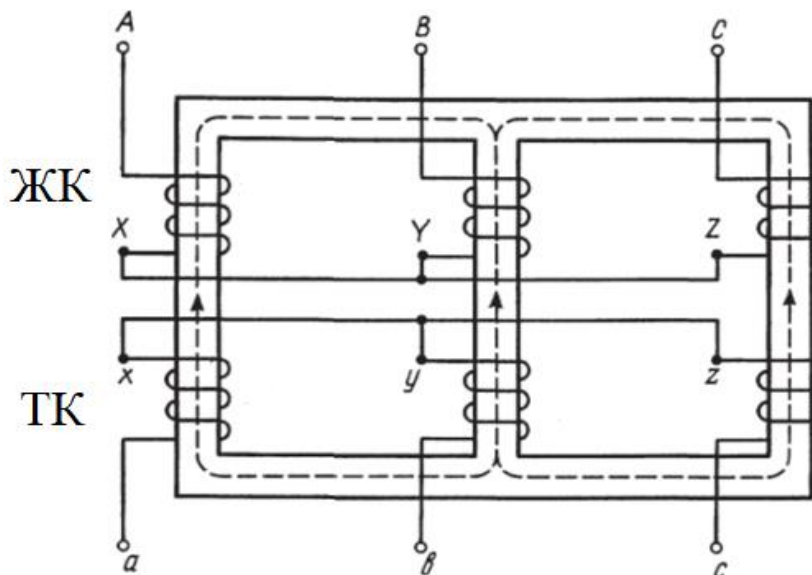
$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} \quad (3.7)$$

Қазіргі уақытта қуаты жоғары трансформатордың ПӘК-тері 0,98-0,99-ға дейін жетеді, бірақ $\beta_m = 0,6 - 0,65$.

3.2. Орамаларды қосу сұлбалары

Үшфазалы трансформатордың бірінші және екінші реттік орамалары «жұлдызша», «нөлдік нүктесі шығарылған жұлдызша» және «үшбұрыштап» қосу сұлбалары бойынша жалғанды. «Жұлдызша» қосу сұлбасын Y әрпімен, «нөлдік нүктесін шығарылған» болса - Y_0 , «үшбұрыштап» - Δ -мен. Жоғары кернеулі ораманың бас және аяқ ұштары А, В, С, Х, Y, Z әріптерімен белгіленеді, ал төменгі кернеулі ораманың ұштары сәйкес а, b, c, x, y, z әріптерімен белгіленеді. Үшфазалы кернеуді түрлендіру үшін үш бірфазалы трансформатор бір үшфазалы топқа қосуға болады. Мұндай әдісті тек қана қуаты өте зор жағдайда пайдаланады. Басқа жағдайда пайдаланылатын үшөзекті үшфазалы трансформатор. Бұл трансформаторда әрбір фазаның, жоғары кернеу және төменгі кернеу орамаларын жалпы өзекке кигізеді.

Сонан кейін жоғары кернеу (ЖК) және төменгі кернеу (ТК) фазалық орамаларды «жұлдызша» не «үшбұрыштап» қосады. 2.10-ші суретте үшфазалы трансформатордың Y/Y жалғану сұлбасы көрсетілген.

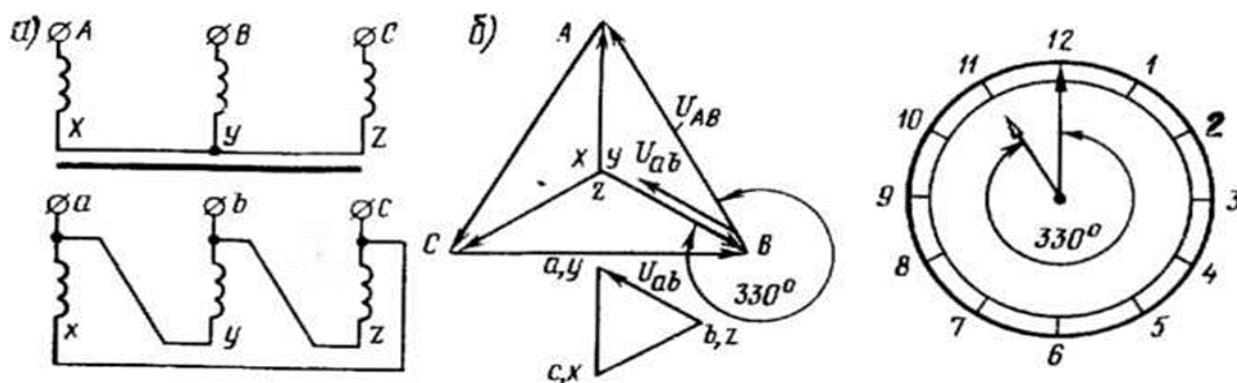


Сур. 3.2. Үшфазалы үшөзекті трансформатордың сұлбасы

3.3. Трансформатордың жалғану топтары

Трансформаторларды параллель жұмысқа қосатын кезде жоғары және төменгі кернеулердің фаза бойынша ығысу бұрыштарын білу қажет. Оны бағалау үшін трансформатордың жалғану тобы ұғымды пайдаланады.

Үш фазалы трансформатордың ЖК және ТК орамаларының желілік кернеулерінің, ығысу бұрыштары 30° еселік болып келеді. Осы себептен, бұл бұрышты сағат бөліктері арқылы көрсету ынғайлы (сур. 3.3).



Сур. 3.3. Трансформатордың орамаларының жалғану (а) және жалғану тобын анықтау векторлық диаграммасы (б)

Жалғану тобын анықтау үшін трансформатордың векторлық диаграммасындағы желілік ЖК ЭҚК-тің векторына сағаттын минуттық тілін сәйкестендіріп, ол векторды 12 (немесе 0) цифрымен беттестірсек, онда циферблатта желілік ТК ЭҚК-тің векторына сәйкестірілген сағаттың тілі трансформатордың жалғану тобының нөмерін көрсетеді. Олай болса:

- 1) Трансформатордың орамалардың жалғануың білу керек;
- 2) Бірінші және екінші реттік кернеулерін векторлық диаграммаларын салу керек;
- 3) Бірдей аталған желілік кернеудің векторларды (мысалы U_{AB} мен U_{ab}) сағаттын тілдерінің орнына қойып, циферблатынан тобының нөмерін анықтау керек.

Мысалы (сур. 3.4) Y/Δ -11 тобы көрсетілген.

Сонымен трансформаторларды 12 топ анықтауға болады: 6 жұп топтар (Y/Y , Δ/Δ), 6 тақ топтар (Y/Δ , Δ/Y).

Материалды тереңірек түсіну және бекіту үшін студенттер зертханалық жұмысты «Үшфазалы трансформаторлардың орамаларын жалғану топтары» орындауы керек.

3.4. Трансформаторлардың параллельді жұмысы

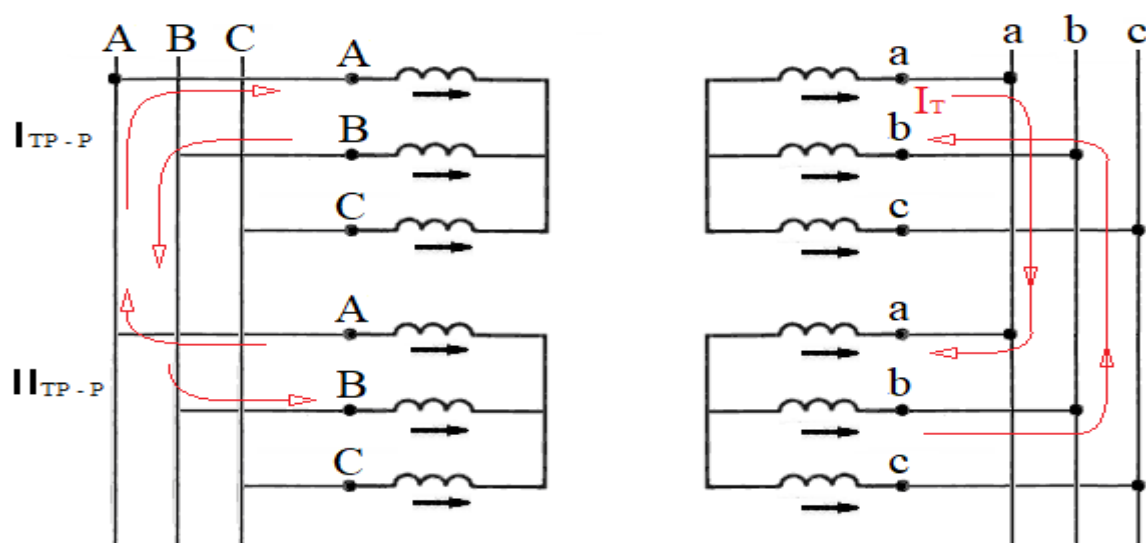
Трансформаторлық қосалқы станцияларды екі немесе одан да көп параллель жұмыс істейтін қажеттілігі мына себептерде байланысты:

- 1) апат болып қалғанда немесе трансформаторды жөндеуге шығарған кезде тұтынышыларды энергиямен қамтамасыз ету қорын жасау қажет;
- 2) қосалқы станциялардың жүктемесі азайған кезеңдерде оларда болатын шығындарды азайту мақсатына параллель жұмыс істеп тұрған трансформаторлардың бір бөлігін ажыратып қою қажеттігі.

Трансформаторлардың параллель жұмыс істеуші ең жақсы жағдайда өту үшін қосалқы станцияның жалпы жүктемесі параллель жұмыс істеп тұрған трансформаторлар арасында олардың номинал қуаттарына пропорционал бөліну керек. Бұл үшін параллель жұмыс істеп тұрған трансформаторларда мына шарттар орындалу керек:

- 1) Орамалардың жалғану топтары бірдей болуы;
- 2) Бірінші және екінші реттік номинал кернеулері тең болуы ($U_{1I} = U_{1II} = U_{1III} = \dots$, $U_{2I} = U_{2II} = U_{2III} = \dots$), яғни трансформация коэффициенттер тең болуы ($k_I = k_{II} = k_{III} = \dots$);
- 3) Қысқа тұйықтау кернеулер тең болуы ($u_{KI} = u_{KII} = u_{KIII} = \dots$);

4) Трансформаторлардын монтаждан не күрделі жөндеуден өткен кейін бірінші рет қосатын алдында фазаларын кезегін тексеру керек (фазировка жасау керек).



Сур.3.5 Үш фазалы трансформаторлардын параллель жұмыс істеу сұлбасы

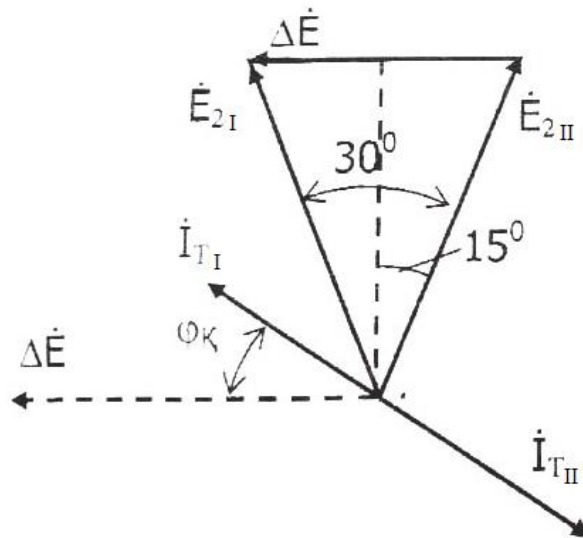
Бірінші, екінші шарт орындалған жағдайда бос жүріс ережесінде параллель жұмыс істеп тұрған трансформаторлардын фазаларының екінші реттік кернеулерінің шамалары да, фазалары да тең болады. Сол себептен екінші реттік орамаларда жүктеме жоқ кезде трансформаторларды ортақ шиналарға қоссақ, онда бұл орамалдарда ешқандай ток пайда болмайды. Бұл шарттар бұзылған жағдайда бос жүріс кезінің өзінде де **теңгерме тоғы I_T** пайда болады. Бұл ток екінші реттік орамалардан құрылған тұйықталған контурмен ағады (сур. 3.5). Теңгерме ток бірінші реттік жағынада трансформацияланады. Теңестіру токтары апатқа әкеліп соқтырмаған жағдайың өзінде трансформатор жүктелген кезде жүктеме токпен қосылып трансформаторды әрқалай жүктейді де, ондаған шығындарды өсіріп, қызуын арттырды.

Үшінші шарт орындалған жағдайда трансформаторлардың жүктемелері біркелкі бөлінеді. Егер де параллель істеп жатқан трансформаторлардың қысқа тұйықталу кернеулері бірдей болмаса, онда u_K -сы аз трансформаторлар артық жүктеледі.

3.4.1. Орамаларының жалғану топтары бірдей болу жағдайы

Бірінші және екінші реттік номинал кернеулері бірдей орамаларының жалғану топтары Y/Δ-11 және Y/Y-12 трансформаторлар параллель жұмысқа

қосылып тұр деп ұйғарайық. Сәйкес фазаларының ЭҚК-терінің шамалары бірдей болады, бірақ фаза бойынша олар 30° -қа ығысқан (сур. 3.6). Екінші реттік орамалардың тұйықталған контурында бұл ЭҚК-тердің айырымы әрекет етеді.



Сур. 3.6. Y/Δ-11 және Y/Y-12 топты трансформаторлар параллель жұмыс істегендігі

$$\Delta E = 2E_2 * \sin 15^\circ = 0.518 E_2$$

Теңгерме тоғы трансформаторлардың бірінші және екінші реттік орамалармен ағады, ал олардың мәндері ΔE мен және осы орамалардың кедергілерімен, яғни трансформаторлардың қысқа тұйықталу кедергілерімен анықталады.

Сондықтан

$$I_{TI} = I_{TII} = \Delta E / (Z_{kI} + Z_{kII}). \quad (3.1)$$

Мысалы, егер екі трансформатордың қуаттары бірдей, ал $Z_{kI} = Z_{kII} = 0,05$ болса, онда теңгерме токтың салыстырмалы мәні

$$I_T = \frac{0,0518}{0,05+0,05} = 5,18,$$

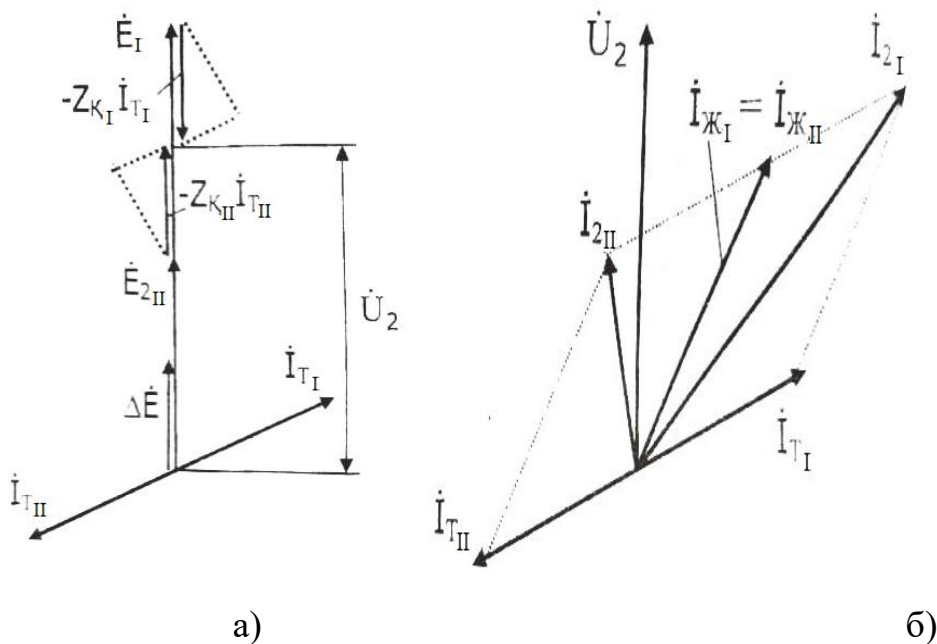
яғни бұл ток номинал токтан 5,18 есе көп, ал қысқа тұйықталу тоғымен шамалас.

Қорытынды: Орамаларының жалғану топтары әрқалай болған трансформаторларды параллель қосуға болмайды.

3.4.2. Трансформация коэффициенттерінің теңдік емес жағдайы

Екі параллель істеуші трансформаторлардың екінші реттік кернеулері бірдей болмасын делік, мысалы екінші реттік ормалардың тұйықталған контурында бұл ЭҚК-тердің айырымы $\Delta \dot{E} = \dot{E}_{2I} + \dot{E}_{2II}$ әрекет етеді, сондықтан теңгерме ток пайда болады.

Екінші реттік орамаларда бұл ток орамалардағы әрекет етуші ЭҚК-тер бағыттырына байланысты әртүрлі жаққа бағытталған. Бірінші трансформатор I_{TI} теңгерме тогын, ал екінші трансформатор I_{TII} теңгерме тоғын тұтынады. Трансформаторлардың орамалдарындағы теңгерме токтар туғызатын кернеудің құлауы ормалардың екінші реттік кернеулерін теңестіреді. Жүктемені қосқан кезде трансформаторларда $I_{жI}$ және $I_{жII}$ жүктеме токтар пайда болады. Олар теңгерме токтармен қосылып, I_{2I} және I_{2II} қосынды токтардың, яғни трансформаторлардың жүктемелерінің теңсіздігін туғызады (сур. 3.7).



Сур. 3.7. Трансформация коэффициенттері k тең емес кездегі векторлық диаграммалар

Мысалы, екі трансформатордың қуаттары бірдей $Z_{kI} = Z_{kII} = 0,05$, ал трансформация коэффициенттері 1% -ға өзгеше болса, онда

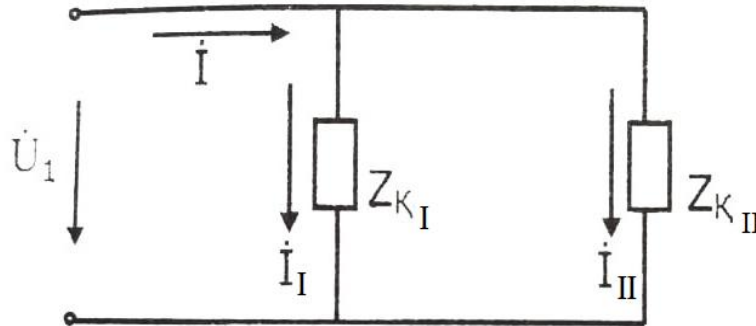
$$I_T = \Delta E / (Z_{kI} + Z_{kII}) = \frac{0,01}{0,05+0,05} = 0,01$$

немесе 10% - тен, яғни теңгерме токтын шамасы едәуір болады.

3.4.3. Қысқа тұйықталу кернеулерінің тең болу шарты

Бұл шарт трансформаторлар арасында олардың номинал қуаттарына пропорционал жүктеменің бөлуіне қажет.

Ықшамдалған сұлбадан (сур. 3.8)



Сур. 3.8. Трансформаторлардың параллель жұмысының ықшамдалған сұлбасы

шығатын теңдеу

$$\dot{I} Z_I = \dot{I}_{II} Z_{II} = \dot{I}_{III} Z_{III} = \dots = \dot{I}_n Z_n \quad (3.2)$$

Токтардың фаза бойынша ығысуы аз болғандықтан, комплекстерден модульдерге көшіріп жазамыз:

$$I_I : I_{II} : I_{III} = 1/Z_I : 1/Z_{II} : 1/Z_{III} \quad (3.3)$$

яғни трансформаторлар арасындағы токтар қысқа тұйықталу кедергілеріне кері пропорционал бөлінеді.

(3.3) формуладан мынадай формулаға көшіп алуға болады:

$$S_I : S_{II} : S_{III} = 1/u_{KI} : 1/u_{KII} : 1/u_{KIII} , \quad (3.4)$$

яғни параллель жұмыс істеп тұрған трансформаторлардың жүктелу қуаттары олардың қысқа тұйықталу кернеулеріне пропорционалды болады. Мұнда трансформатордың қуаты мен қысқа тұйықталу кернеу салыстырмалы бірлігімен көрсетілген.

Қорытынды: Параллель қосылған трансформатордың арасында жүктеме оның қуатына қарай пропорционал бөлінуі үшін олардың қысқа тұйықталу кернеулері тең болу керек.

Материалды тереңірек түсіну және бекіту үшін студенттер зертханалық жұмысты «Трансформаторлардың параллель жұмысы» орындауы керек.

Лекцияны меңгеруге арналған сұрақтар

1. Трансформаторлардың параллель жұмыс істеуі шарттары.
2. Параллель жұмысқа қосылатын трансформаторлардың орамаларының жалғану топтары бірдей болу жағдайы.
3. Параллель жұмысқа қосылатын трансформаторлардың трансформация коэффициенттерінің теңдік жағдайы.
4. Параллель жұмысқа қосылатын трансформаторлардың қысқа тұйықталу кернеулерінің тең болу шарты.
5. Өртүрлі номиналды қуатпен параллель жұмыс істейтін трансформаторларды жүктеу.
6. Трансформатордың шығындары және энергетикалық диаграммасы
7. Үшфазалы трансформатордың құрылысы
8. Үшфазалы трансформатордың орынбасу сұлбасы
9. Үшфазалы трансформатордың жұмыс істеу принципі
10. Трансформатордың жалғану топтары

Негізгі әдебиеттер тізімі

1. Жумагулов Қ.Қ., Шидеров М., Гали К.О. Электр машинасы. – Алматы: АЭЖБИ, 2008. – 20-24 б.
2. Задания для программированного изучения раздела "Трансформаторы" по курсу "Электрические машины". – Караганда, 2007. – с. 32-35.