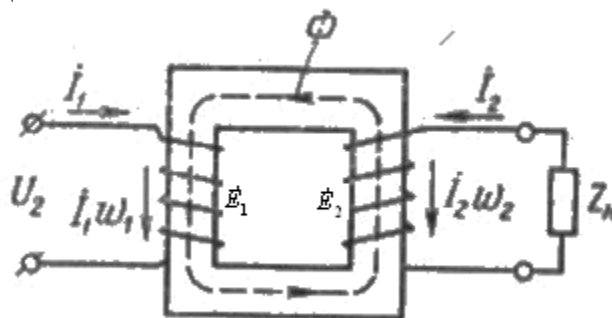


Боби 3. Ҳолати кори трансформатор

3.1. Муодилаи ҚЭХ

Сели майдони магнитӣ дар печаҳои аввала ва дуюми трансформатор боиси ангиши ҚЭХ-и



Расми 3.1.

индуксионӣ мегардад, ки бузургии лаҳзавии онҳо:

$$e_1 = -w_1 (d\Phi/dt); \quad e_2 = -w_2 (d\Phi/dt) \quad (3.1)$$

баробар мебошад.

Дар мавриди сели майдони магнитӣ намуди синусоида доштан

$$\Phi = \Phi_M \sin \omega t, \quad (3.2)$$

бо дарназардошти (3.1) ва $\cos \omega t = -\sin(\omega t - \pi/2)$ ифодаи, (3.2)-ро ба (3.1) гузошта, ҳосила мегирем ва барои бузургии лаҳзавии ҚЭХ ифодаҳои зеринро пайдо менамоем:

$$e_1 = w_1 \omega \Phi_M \sin(\omega t - \pi/2); \quad e_2 = w_2 \omega \Phi_M \sin(\omega t - \pi/2), \quad (3.3)$$

ки дар ин ҷо Φ_M – қимати ниҳойӣ ё амплитудавии сели майдони магнитӣ дар даври тағйирёбии он;

$\omega = 2\pi f$ – суръати кунҷии ҷараёни тағйирёбанда (рад./сония);

f – басомади ҷараёни тағйирёбанда (Ҳс)

мебошанд.

Аз баробарии (3.3) бармеояд, ки фазаи ҚЭХ аз фазаи сели майдони магнитӣ ба қадри кунҷи $\pi/2$ (90 градус) қафо мемонад.

Қимати ниҳойӣ ё калонтарини ҚЭХ баробар аст ба:

$$E_{1M} = w_1 \omega \Phi_M; \quad E_{2M} = w_2 \omega \Phi_M.$$

мешавад.

$$E_1 = E_{1M}/\sqrt{2} = 2 \pi w_1 \omega \Phi_M / \sqrt{2} = 4,44 w_1 f \Phi_M . \quad (3.4)$$

Буданаш маълум мегардад.

Ҳамин тавр, бузургии ҚЭХ барои печай дуҷуми трансформатор

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_M , \quad (3.5)$$

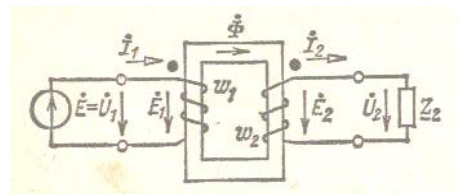
мебошад ва он барои ғалтаки миқдори печаҳояш маълум, ки ба ҷараёни тағйирёбандаи басомадаш доимӣ пайваст шудааст, танҳо ба сели майдони магнитӣ вобастагӣ дорад.

3.2. Муодилаҳои асосии трансформатори идеалӣ

Трансформатори идеалиро ҳамчун асос қабул намуда кори онро меомӯзем, зеро омӯхтани кори он як дараҷа сабук ва фаҳмо аст.

Трансформатори идеалӣ он трансформаторе мебошад, ки дар он:

- Талафи энергияро сарфи назар кардан раво аст;
- Нуфузпазирии магнитии занҷири магнитиаш беохир калон $\mu = \infty$;
- Занҷири магнитии он ҷойҳои пайвастагӣ надорад;
- Сели майдони магнитии пароканиш надорад.



Расми 3.2.

ҚЭХ дар печаҳои ин трансформатор:

$$\dot{E}_1 = -j\omega W_1 \dot{\Phi} = -j\omega W_1 \dot{B} \cdot S = -j\omega W_1 \mu_0 \cdot \mu_r \dot{H} \cdot S; \quad (3.6)$$

$$\dot{E}_2 = -j\omega W_2 \dot{\Phi} = -j\omega W_2 \dot{B} \cdot S = -j\omega W_2 \mu_0 \cdot \mu_r \dot{H} \cdot S \quad (3.7)$$

мебошад, ки дар ин ҷо:

\dot{E}_1, \dot{E}_2 – қимати самарабахши комплекси ҚЭХ (В);

\dot{B} ва \dot{H} қимати комплекси индуксия (Тл) ва шадидияти майдони магнитӣ (А/м);

S – масоҳати бурриши арзии занҷири магнитӣ (m^2).

Бузургии шадидияти майдони магнитии ҷараёнҳо дар печаҳои аввала \dot{I}_1 ва дуҷум \dot{I}_2 :

$$\dot{H} = \dot{I}_1 \frac{W_1}{l_m} - \dot{I}_2 \frac{W_2}{l_m}, \quad (3.8)$$

ки дар он ℓ_m - дарозии миёнаи хатҳои куввагии майдони магнитӣ (m) мебошад.

Барои трансформатори идеалӣ бузургии шиддат дар пайваستاҳои он ба ҚЭХ-и манбаъ баробар асту ($\dot{E} = \dot{U}_1$), дар печаҳо $\dot{E}_1 = -\dot{U}_1$ ва $\dot{E}_2 = -\dot{U}_2$, аз ин рӯ бо дарназардошти (3.6), (3.7) барои муайян намудани шиддати чараён дар печаҳо ифодаҳои зерин ҳосил мешаванд:

$$\dot{U}_1 = -j\omega W_1 \dot{\Phi} = -j\omega W_1 \mu_0 \cdot \mu_r \cdot S \left(i_1 \frac{W_1}{\ell_m} - i_2 \frac{W_2}{\ell_m} \right); \quad (3.9)$$

$$\dot{U}_2 = Z_2 \cdot i_2 = j\omega W_2 \dot{\Phi}. \quad (3.10)$$

Аз ҷумла, дар ҳолати кории трансформатори борбаст нагардида (занҷири содироти сарбаста нест ва $I_2 = 0$) бузургии шиддати чараёнро дар печаи аввала мувофиқи ифодаи зерин муайян намудан мумкин мегардад:

$$\dot{U}_1 = -j\omega W_1 \mu_0 \cdot \mu_r \cdot S \cdot \left(i_{10} \frac{W_1}{\ell_m} \right), \quad (3.11)$$

ки дар ин ҷо: i_{10} – қимати чараёни печаи аввала дар ҳолати кории трансформатори борбаст насту (A) аст.

Ба сабаби он, ки $\dot{E} = \dot{U}_1$ дойимӣ мебошад, бо дарназардошти (3.9) ва (3.10) ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$i_1 \frac{W_1}{\ell_m} - i_2 \frac{W_2}{\ell_m} = i_{10} \frac{W_1}{\ell_m} = \text{дойимӣ}. \quad (3.12)$$



Расми 3.3.

Дар мавриди муайян намудани нисбати аъзоҳои баробарии (3.10) ба (3.11)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = k$$

аст. Азбаски иқтидорҳо дар печаҳои дуҷум ва аввалаи трансформатори идеалӣ баробаранд ($P_1 = P_2$) аз ин рӯ $I_1 \cdot U_1 = I_2 \cdot U_2$ мебошанд ва

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2}{I_1}, \quad (3.13)$$

мешавад, ки ин коэффитсиенти қобилияти табдилдиҳии трансформатор ном гирифтааст.

Бо дарназардошти (3.13) муодилаи (3.10) намуди зеринро мегирад:

$$\dot{U}_2 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{i}_2 \cdot \frac{W_1}{W_2} .$$

Аз он бармеояд, ки

$$\dot{U}'_2 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{i}_2 \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 \cdot \frac{W_2}{W_1} = k_T \cdot \dot{Z}_2 \cdot \dot{i}_2 = \dot{i}'_2 Z'_2 , \quad (3.14)$$

аст, ки дар ин ҷо $k_T = k$ - коэффитсиенти овардани тавсифҳои печайи дуном ба печайи аввала ва он ба коэффитсиенти қобилияти табдилдиҳии трансформатор баробар мебошад;

$$Z'_2 = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_2 = k^2 Z_2 \quad \text{бузургии комплекси муқовимати}$$

пурраи занҷири содиротӣ, ки ба занҷири воридотӣ оварда шудааст.

Аз ифодаҳои овардашудаи муқовимат ва ҷараёнҳо истифода бурда, баробарҳои (3.12) ва (3.14)-ро ба намуди зерин меоварем:

$$\dot{i}_1 - \dot{i}'_2 = \dot{i}_{10} ; \quad (3.15)$$

$$\dot{U}_2 = j \frac{\omega W_1^2 \mu_r \mu_0 S}{\ell_m} (\dot{i}_1 - \dot{i}'_2) = j \omega L_1 \dot{i}_{10} = j X_{L1} \dot{i}_{10} ; \quad (3.16)$$

$$\dot{U}'_2 = \frac{W_1}{W_2} \dot{U}_2 = k U_2 = \dot{i}'_2 Z'_2 , \quad (3.17)$$

ки дар ин ҷо $\frac{W_1^2 \mu_r \mu_0 S}{\ell_m} = L_1$ - индуктивияти печайи аввалияи трансформатори идеалӣ;

\dot{U}'_2 - бузургии шиддати комплекси занҷири содиротӣ трансформатори идеалӣ, ки ба занҷири аввала оварда шудааст.

Муодилаҳои (3.15-3.17) ба занҷири электрие, ки дар Расми 3.3. оварда шудааст мувофиқат менамоянд ва дар он инчунин занҷири муовизавии трансформатори идеалӣ низ тасвир ёфтааст.

Чуноне қайд карда шуда буд, яке аз нишондиҳандаҳои трансформатори идеалӣ ин бузургии нисбии қобилияти ноқилияти магнитии занҷири магнитӣ (нуфузпазирии ноқили магнитӣ) $\mu_r = \infty$ мебошад, ва дар ин маврид муқовимати индуктивиятии печайи аввала X_{L1} низ беохир калону ҷараёни магнитнокгардонияш бошад ба сифр баробар мебошад ($\dot{i}_{10} = 0$).

Дар ҳоли борбаст набудани трансформатор, занҷири содиротӣ воз асту трансформатори идеалӣ ба печай дилакдори идеалӣ мубаддал мегардад, бинобар он занҷири муовизавии трансформатори идеалӣ низ ба занҷири муовизавии печай дилакдор монанд мешавад (бо дарназардошти он, ки миқдори печаҳо ва занҷири магнитии онҳо якандоза бошанд).

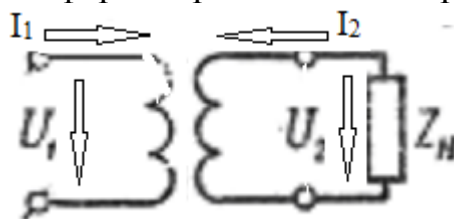
Дар мавриди ба инобат гирифтани занҷири магнитии воқеӣ, ки асосан аз масолеҳи ферромагнитӣ сохта мешаванд ($\mu_r \neq \infty$) ва ба назар гирифтани ҳистерезиси он зарурияти ба инобат гирифтани муқовиматҳои фаъл ва реактивиро талаб менамояд, аз ин рӯ занҷири муовизавии он намуди дигар дорад.

3.3. Муодилаҳои шиддати печаҳои трансформатор

Дар аввал баҳри бо пуррагӣ ва мукамал омӯхтани тарзи амали трансформатор ва содаю мусоид гардонидани шароити муайянсозии вобастагии шиддатҳо, фарз менамоем:

- Чараёни ғунҷоишии байни печаҳо ва печаҳову занҷири магнитӣ дар шароити воқеӣ ($f < 1\ 000 \div 5\ 000$ Ҳс) бо дарназардошти нозиз будани бузургиашон, вучуд надорад;
- Дар трансформаторҳои бе дилак ва дилакашон пӯлодӣ L_{11} , L_{22} ва M дойимӣ мебошанд;
- Занҷири магнитӣ узвҳои пайвастагӣ надорад ва дар мадди аввал қабул менамоем, ки дар он талафи энергия низ нест;
- Пароканиши сели майдони магнитӣ нест.

Дар расмӣ 3.4. намуди трансформатори бе дилак оварда шудааст.



Расми 3.4.

Барои занҷирҳои воридотӣ содиротӣ трансформатор, истифода аз қоидаи дуҷуми Кирхгоф муодилаҳои зеринро овардан

$$\begin{aligned} u_1 &= r_1 i_1 + L_{11} \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} ; \\ u_2 &= -r_2 i_2 - L_{22} \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} , \end{aligned} \quad (3.18)$$

мумкин мебошад, ки дар ин ҷо u_1 , u_2 , i_1 ва i_2 - мувофиқан бузургии лаҳзавии шиддатҳою ҷарёнҳои занҷирҳои воридотӣ ва содиротӣ мебошанд; r_1 ва r_2 – муқовимати печаҳои аввала ва дуюм; L_{11} ва L_{22} – индуктивияти печаҳои аввала ва дуюм; M – индуктивияти тарафайн.

$$e_1 = -L_{11} \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} - \text{ҚЭХ-и индуксионии дар печаи аввала ангезонидашуда};$$

$$e_2 = -L_{22} \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} - \text{ҚЭХ-и индуксионии дар печаи дуюм ангезонидашуда}$$

мебошанд.

Самти ҷараён ва шиддат дар печаи дуҷуми трансформатор мутобиқ ба қонуни Ленс ҳамчун ҷараён ва шиддати индуксионӣ ангезонидашуда нишон дода шудаанд.

Бо дарназардошти ин ишораҳо муодилаҳои (3.18) чунин намуд мегиранд:

$$\begin{aligned} u_1 &= r_1 i_1 - e_1 ; \\ u_2 &= e_2 - r_2 i_2 . \end{aligned}$$

Дар воқеият трансформаторҳо бо шиддати намуди синусоидӣ амал мекунанд бинобар ин бузургии комплексии шиддатҳо ва ҷараёнҳо чунин тасвир намудан имконпазир аст:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \sqrt{2} U_1 \cdot e^{j\omega t}; & \dot{U}_2 &= \sqrt{2} U_2 \cdot e^{j\omega t}; \\ \dot{I}_1 &= \sqrt{2} I_1 \cdot e^{j\omega t}; & \dot{I}_2 &= \sqrt{2} I_2 \cdot e^{j\omega t} \end{aligned}$$

Баъди ба намуди комплексӣ гузаштан, ҳосила гирифтани аз ҷараёнҳо ва ихтисор намудани зарбшавандаи $e^{j\omega t}$ муодилаҳои (3.18) намуди зеринро мегиранд:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= r_1 \dot{I}_1 + jx_{11} \dot{I}_1 + jx_{12} \dot{I}_2 ; \\ \dot{U}_2 &= r_2 \dot{I}_2 + jx_{22} \dot{I}_2 + jx_{12} \dot{I}_1 , \end{aligned} \quad (3.19)$$

ки дар ин ҷо $x_{11} = \omega L_{11}$; $x_{22} = \omega L_{22}$ ва $x_{12} = \omega M$ - муқовимати пурраи индуктивияти хусусӣ ва мутақобилаи печаҳо (Ом).

Дар ҳоли амали трансформатори дорои борбасти мутаносиб, алоқаи электромагнитӣ, инчунин, мутаносибан дар фазаҳо бузургии тавсифҳои электромагнитӣ якандоза буда, аз ҳамдигар тахти кунҷи 120 градус фарқ менамоянд. Ғайританосубии занҷири магнитии трансформатори се милавӣ дар баъзе мавридҳо боиси ба вучуд омадани лаппишҳои дараҷаи карати 3-юми сели майдони магнитӣ гардиданаш аз имкон дур нест, вале он одатан

ба амали трансформатор таъсири чиддӣ расонада наметавонад. Дар зарурият ин ҳодисаҳоро дар алоҳидагӣ ба назар гирифтани мумкин мебошад. Аз ин сабаб баробарии (3.19) бо саҳеҳии баланд барои муайян намудани бузургиҳои $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2$ трансформатори сефаза, ки борбасти ботаносуб дорад, истифода бурда мешавад. Вале ин баробарӣ (3.19) талафи энергияро дар дилаки пӯлоди ба назар намегирад ва ин масъала дар оянда баррасӣ ва ҳалли худро хоҳад ёфт.

Муодилаҳои (3.18) ва (3.19) бо пуррагӣ вобастагӣ, ки дар трансформаторҳо пайдо мешаванд, нишон медиҳад (бо дарназардошти шартҳои дар аввал қабул гардида) ва онҳоро барои ҳисоби амали трансформатор метавон истифода бурд. Масалан, дар ҳоли қимати \dot{I}_1 -ро аз муодилаи аввали (3.19) ба муодилаи дуюми он гузоштан вобастагии шиддатро дар занҷири содиротӣ \dot{U}_2 аз ҷараёни он \dot{I}_2 муайян карда метавонем:

$$\dot{U}_2 = -\frac{jx_{12}}{r_1 + jx_{11}}\dot{U}_1 - (r_2 + jx_{22}) \left[1 - \frac{(jx_{12})^2}{(r_1 + jx_{11})(r_2 + jx_{22})} \right] \dot{I}_2 \quad (3.20)$$

Ифодаи якуми тарафи рости ин баробарӣ шиддати занҷири содиротӣ трансформатори борбастангардидаро ифода менамояд ($\dot{U}_2 = \dot{U}_{20}$ ва $\dot{I}_2 = 0$), аз ин рӯ:

$$\dot{U}_{20} = -\frac{jx_{12}}{r_1 + jx_{11}}\dot{U}_1, \quad (3.21)$$

қисми дигари он бошад, афтиши шиддатро дар печайи дуюми трансформатори борбастаншуда ифода менамояд:

$$\Delta \dot{U}_2 = (r_2 + jx_{22}) \left[1 - \frac{(jx_{12})^2}{(r_1 + jx_{11})(r_2 + jx_{22})} \right] \dot{I}_2 \quad (3.22)$$

Аз баробарии (3.22) метавон бузургии ҷараёни занҷири содиротии амали трансформаторро дар ҳоли расиши кӯтоҳ муайян намуд ($\dot{U}_2 = 0$ ва $\dot{I}_2 = \dot{I}_{2pk}$):

$$\dot{I}_{2pk} = \frac{\dot{U}_{20}}{(r_2 + jx_{22}) \left[1 - \frac{(jx_{12})^2}{(r_1 + jx_{11})(r_2 + jx_{22})} \right]}. \quad (3.23)$$

Вале, дар амал барои бо саҳеҳии зарурӣ муайян намудани тавсифоти трансформатор бо истифода аз муодилаҳои (3.20) ва (3.21), алаҳусус муодилаҳои (3.22) ва (3.23), ғайриимкон аст. Сабаби асосӣ ҷой доштани ташкилдиҳандаи зерин мебошад:

$$\left[1 - \frac{(jx_{12})^2}{(r_1 + jx_{11})(r_2 + jx_{22})} \right],$$

ки қимати он тадричан хурд мебошад. Баҳри тасдиқи ин r_1 ва r_2 , ки назар ба x_{11} ва x_{22} , якчанд маротиба хурд мебошанд, аз муодила соқит намуда, ташкилдиҳандаи дар боло овардашударо содда менамоем ва он намуди зеринро мегирад:

$$1 - \frac{x_{12}^2}{x_{11}x_{22}} = 1 - \frac{M^2}{L_{11}L_{22}} = \sigma$$

яъне ба коэффитсиенти пароканиши электромагнитӣ баробар мебошад ва чӣ тавре ки қайд карда будем, муайян намудани он мувофиқи қиматҳои L_{11} , L_{22} ва M ба хатогии калон меорад. Бинобар ин, дар мавриди қабул намудани шарт $r_1 = r_2 = 0$ барои шиддати занҷири содиротӣ ва чараёни он дар ҳоли расиши кӯтоҳ ифодаҳои зеринро истифода бурдан зарур мебошад:

$$\dot{U}_2 = - \frac{x_{12}}{x_{11}} \dot{U}_1 - j\sigma x_{22} \dot{I}_2 = \dot{U}_{20} - j\sigma x_{22} \dot{I}_2 ;$$

$$\dot{I}_{2pk} = \frac{\dot{U}_{20}}{jx_{22}\sigma} .$$

Аз ин баробариҳо бармеояд, ки тавсифоти асосии истифодабарии трансформатор, ба монанди афтиши шиддат ва бузургии чараёни расиши кӯтоҳ, бо қимати хурди коэффитсиенти пароканиши электромагнитӣ ва муқовимати пурраи индуктивияти муайян карда мешаванд.

3.4. Схекаи муовизавӣ ва диаграммаи вектории трансформатори якфазаи воқеӣ

3.4.1. Овардани тавсифоти печаҳои дуҷум ба печай аввал

Дар трансформаторҳои воқеӣ фарқияти бузургии шиддат ва чараён дар печаҳои аввала ва дуҷум калон буда, бо як воҳиди умуми онҳоро дар диаграммаҳо нишон додан имконнопазир мебошад. Бинобар он, нишондиҳандаҳои печай дуҷум ба печай аввала оварда мешаванд. Овардани нишондиҳандаҳои печай дуҷум ба печай аввала дар баробари якхела намудани дараҷаи бузургии нишондиҳандаҳои печаҳо боз имконият медиҳад, ки дар трансформаторҳо аз вобастагии магнитӣ ба вобастагии электрӣ гузаронида шавад.

Чуноне ки қайд намуда будем, овардани нишондиҳандаҳои печай дуҷум ба печай аввала бо истифода аз коэффитсиенти қобилияти табдилдиҳии трансформатор (дар мавриди $w'_2 = w_1$) ба амал оварда мешавад.

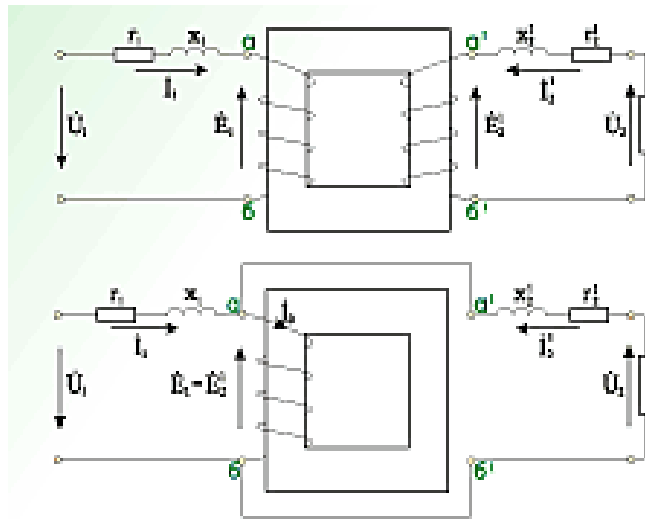
Бузургии овардашудаи шиддат ва ҚЭХ-и печай дуҷум ба печай аввала баробаранд ба:

$$\dot{E}'_2 = k \dot{E}_2 ; \quad \dot{U}'_2 = k \dot{U}_2 . \quad (3.24)$$

Аз мутобиқ гардонидани нишондиҳандаҳои печай дуум ба печай аввала бояд иқтидори трансформатор тағйир наёбад, бинобар ин

$$\begin{aligned} \dot{U}'_2 \dot{I}'_2 &= \dot{U}_2 \dot{I}_2 , \\ \text{аз ин чо} \quad \dot{I}'_2 &= \dot{I}_2 / k . \end{aligned} \quad (3.25)$$

Барои он, ки самти протсесси электромагнитӣ дар трансформатори воқеӣ ва мутобиқгардонидашуда якхела ҷори шаванд, бояд печай мутобиқгардида ва печай воқеӣ майдони



Расми 3.5.

якхела ҳосил намоянд. Барои ин ба ғайр аз баробар будани қувваи магнитнокгардонӣ печайҳои мутобиқшуда ва воқеӣ $\dot{I}'_2 w'_2 = \dot{I}_2 w_2$ бояд печай мутобиқгардонидашуда дорои дарозӣ, масоҳат ва ҳаҷм, мисли печай воқеӣ бошад, ҳамчун печай воқеӣ дар дилаки пӯлодӣ ҷойгир шавад. Бинобар ин барои он, ки масоҳати пурраи ҳамаи печайҳои мутобиқшуда бо масоҳати печай воқеӣ баробар шавад, бояд масоҳати ҳар як печай мутобиқшуда k_T маротиба хурд аз печай воқеӣ бошад. Вале, бо сабаби он, ки теъдоди печайҳои мутобиқшуда k_T маротиба зиёд мебошад, муқовимати он бояд k_T^2 маротиба назар ба печай воқеӣ зиёд гардад, аз ин рӯ муқовиматҳои печай мутобиқшуда:

$$r'_2 = k_T^2 r_2 ; \quad x'_2 = k_T^2 x_2 \quad (3.26)$$

шавад.

Хамин тавр бояд талафи энергия ва кимати нисбии афтиши шиддат дар печай мутобиқшуда ва воқеӣ низ якандоза бошанд:

$$(I_2')^2 r_2' = k_T^2 r_2 (I_2/k_T)^2 = I_2^2 r_2$$

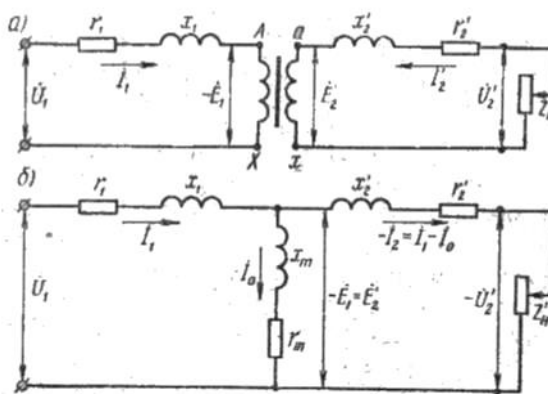
$$\frac{I_2' r_2'}{U_2'} = \frac{I_2 r_2}{U_2}; \quad \frac{I_2' x_2'}{U_2'} = \frac{I_2 x_2}{U_2}.$$

3.4.2. Схемай муовизавии трансформатор бе дарназардошти талафи магнитӣ дар он

Схемай муовизавии трансформатори воқеӣ дар расми 3.3. тасвир ёфтааст ва дар он схемаи муовизавии трансформатори идеалӣ бо хатҳои кандашуда ҷудо карда шудааст.

Барои занҷирҳои воридотӣ ва содиротии трансформатори воқеӣ муодилаҳои шиддати печайҳои аввала ва дуюм намуди (3.19)-ро доранд. Истифода аз ин муодилаҳо кимати шиддат ва ҷараёни печайи овардашударо аз (3.24) ва (3.25) гузошта ҳосил менамоем:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 (x_{11} + k x_{12}) + j k x_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}_2'); \\ -\dot{U}_2' &= k^2 r_2 \dot{I}_2' + j \dot{I}_2' (k^2 x_{22} - k x_{12}) + j k x_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}_2'), \end{aligned}$$



Расми 3.6

ки дар ин ҷо $x_{11} - k x_{12} = x_1$ - муқовимати индуктивии печайҳои аввала аз майдони магнитии пароканиш;

$k^2 x_{22} - k x_{12} = x_2'$ - муқовимати индуктивии овардашудаи печайҳои дуюм аз майдони магнитии пароканиш;

$k x_{12} = x_{12}'$ - муқовимати индуктивии тарафайни овардашуда.

Бо дарназардошти ин ишораҳо ифодаи зеринро ҳосил менамоем:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 r_1 + j x_1 \dot{I}_1 + j x'_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2); \\ - \dot{U}'_2 &= r'_2 \dot{I}'_2 + j x'_2 \dot{I}'_2 + j x'_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2), \end{aligned} \quad (3.27)$$

ё ин ки

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= - \dot{E}_1 + \dot{I}_1 \dot{Z}_1; \\ \dot{U}'_2 &= \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \dot{Z}'_2, \end{aligned} \quad (3.28)$$

ки дар ин чо $\dot{Z}_1 = r_1 + j x_1$ ва $\dot{Z}'_2 = r'_2 + j x'_2$ - мувофиқан, муқовиматҳои пурраи комплекси печай аввала ва овардашудаи печай дуҷум.

Ҳамин тариқ, метавонем муодилаҳои намуди дифференциалиро (3.18) дигаргун созем ва барои ин ишораҳои зеринро ворид менамоем:

$$u_2 = \frac{u'_2}{k} \quad \text{ва} \quad i_2 = k i'_2:$$

Он гоҳ занҷири муовизавии дар расми 3.6. овардашуда ҳосил мегардад, ки дар он

$$S_1 = L_{11} - k M = \frac{x_1}{\omega} \quad (3.29)$$

$$\text{ва} \quad S'_2 = k^2 L_{22} - k M = k^2 (L_{22} - M/k) = k^2 S_2 = k^2 \frac{x_2}{\omega} \quad (3.30)$$

индуктивияти печаҳои аввала ва дуҷум, ки аз майдони магнитии пароканиш ҳосилшуда мебошанд.

Индуктивияти тарафайни овардашуда:

$$M'_{12} = k M = \frac{x'_{12}}{\omega} \quad (3.31)$$

мебошад.

Ба муодилаҳои (3.27) - (3.28) схемаи муовизавӣ дар расми 3.6 овардашуда мутобиқат менамояд. Дар ҳақиқат, дар мавриди тартиб додани муодилаҳо бо ёрии қоидаи дуҷуми Кирхгоф барои занҷирҳои воридотӣ ва содиротӣ схемаи дар расми 3.6 овардашуда, онҳо бо пуррагӣ муодилаҳои (3.27)-ро такрор менамоянд.

Қайд намудан зарур аст, ки ин схемаи муовизавӣ барои ҳамаи ҳолатҳои корӣ, барои ҳамаи намуди тағйирёбии шиддату ҷараёнҳо, аз он ҷумла дар давраи омӯзиши раванди гузарандаи трансформатор, барои ҳамагуна қиматҳои k_T ҳақиқӣ буда, он пурра рафти амали трансформаторро нишон медиҳад.

3.4.3. Нишондиҳандаҳои схемаи муовизавии трансформатор

Схемаи дар расми 3.6. овардашударо дар мавриди $k = w_1/w_2$ будан муҳокима менамоем (бояд дар назар дошта бошем, ки $k_T = k$ аст), ки барои он

$$M'_{12} = k M = k M_x + k M_\phi = \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{w_1 w_2}{R_{\mu x}} + \frac{w_1}{w_2} M_\phi$$

ё бо дарназардошти ифодаи (3.31)

$$M'_{12} = L_{x1} + \frac{w_1}{w_2} M_\phi \quad (3.32)$$

мебошад.

Ифодаи дуоми ин баробарӣ назар ба ифодаи аввала бениҳоят хурд мебошад, бинобар он бо саҳеҳии кофӣ метавон сабт кард:

$$M'_{12} \approx L_{x1} . \quad (3.33)$$

Мувофиқан, мутобиқ ба (3.19), (3.31), (3.32) ва $x'_{12} = k x_{12}$

$$x'_{12} = k x_{12} = \omega k M = \omega M'_{12} \approx \omega L_{x1}$$

ва

$$x'_{12} \approx x_{x1} = \frac{\omega w_1^2}{R_{\mu x}} \quad (3.34)$$

мебошанд.

Аз ин бармеояд, ки муқовимати x'_{12} бо саҳеҳии кофӣ ба муқовимати хусусии печай аввалаи аз сели майдони магнитии асосӣ ҳосилгардида баробар қабул намудан мумкин аст.

Шоҳаи 1-2 дар расми 3.6 шоҳаи магнитнокгардонӣ номида шуда, чараёни он ба $\dot{I}_m = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2$ баробар аст ва он қувваи пурраи магнитнокгардонии печаҳоро ҳосил менамояд

$$\dot{F}_{нур} = w_1(\dot{I}_1 + \dot{I}'_2) = w_1 \dot{I}_1 + w_1 \dot{I}'_2 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 ,$$

ки он дар навбати худ сели майдони магнитии пурра (асоси)-ро бо бузургии амплитудавиаш $\Phi_{ма}$ ба вучуд меорад.

Бузургии шиддат дар ин шоҳа бо назардошти (3.34) ба:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{12} &= j x'_{12} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2) \approx j x_{x1} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2) = j \omega w_1 \frac{w_1 (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2)}{R_{\mu a}} = j \omega w_1 \frac{\dot{F}_{нур}}{R_{\mu a}} = \\ &= j \omega w_1 \frac{\dot{\Phi}_a}{\sqrt{2}} = j \pi \sqrt{2} f w_1 \dot{\Phi}_a = -\dot{E}_1 , \end{aligned}$$

баробар аст, яъне бо бузургӣ ва муқобил ба самти ҚЭҲ-и \dot{E}_1 мебошад , ки аз майдони магнитии пурра ва ё аз майдони магнитии асосии трансформатор дар печай аввала меангезад ва аз он таҳти кунҷи 90° қафо мемонад.

Индуктивияти пароканиши печай аввала, мувофиқан ба ифодаҳои (2.23) ва (3.29) ба:

$$S_1 = L_{11} - k M = L_{x1} + L_{п1} - k M_x - k M_{п.}$$

баробар мебошад. Ин баробариро бо дарназардошти (2.19) ва (2.20) метавон чунин сабт намуд:

$$S_1 = L_{\pi 1} - k M_{\pi} \quad (3.35)$$

Ҳамин тавр, вобаста ба (2.23) ва (3.30):

$$S_2 = L_{22} - \frac{M}{k} = L_{x2} + L_{\pi 2} - \frac{M_x}{k} - \frac{M_n}{k}$$

мебошад.

Ҳамчунин ин баробариро бо дарназардошти (2.19) ва (2.20) чунин пешниҳод намудан мумкин аст:

$$S_2 = L_{\pi 2} - \frac{M_n}{k};$$

$$S'_2 = \frac{w_1^2}{w_2^2} S_2 = \frac{w_1^2}{w_2^2} L_{\pi 2} - k M_{\pi}. \quad (3.36)$$

Бинобар ин муқовимати индуктивияти пароканиши печаҳои трансформатор ба:

$$x_1 = \omega S_1; \quad x_2 = \omega S_2; \quad x'_2 = \omega S'_2, \quad (3.37)$$

баробаранд.

Қайд намудан зарур, ки дар ин ифодаҳо $k = w_1/w_2$ танҳо ба майдонҳои магнитии қисман бо ҳаво сарбасташуда вобаста аст. Вале дар таркиби баробариҳои (3.35) ва (3.36) будани ифодаи $k M_{\pi}$ -ро ба назар гирифтани зарур мебошад, чунки онҳо назар ба индуктивияти пароканиш на он қадар хурд мебошанд, бинобар ин майдонҳои магнитии қисман бо ҳаво сарбасташударо шартан майдони магнитии пароканиш номидан мумкин мебошад.

3.4.4. Схеми муовизавии трансформатор бо дарназардошти талафи магнитӣ

Талафи энергия, ки дар пӯлоди ноқили магнитӣ p_{TM} ба вуҷуд меояд, дар мавриди доимӣ будани басомад ба бузургиҳои зерин вобастаги дорад:

$$p_{TM} \Rightarrow B_{ox}^2 \Rightarrow \Phi_{ox}^2 \Rightarrow E_1^2 \Rightarrow U_{ab}^2$$

Ҳамин тавр, талафи p_{TM} пеш аз ҳама мутаносиб ба квадрати шиддати U_{ab} - шиддати гиреҳҳои «ав»-и шоҳаи магнитнокгардонии схеми муовизавӣ (Расми 3.6) мебошад. Агар ба ҳамин гиреҳҳо мувозӣ ба x'_{12} муқовимати фаъоли r_{me} -ро пайваст намоем (чунонки дар расми 3.7 оварда шудааст), он гоҳ талафи энергия дар ноқили магнитӣ ба назар гирифта мешавад, чунки талафи энергия дар ин муқовимат мутаносиб ба U_{ab}^2

мебошад. Бузургии ин муқовиматро аз баробарии миқдори талафи энергия дар муқовимат ва ноқили иагнитии пӯлодӣ муайян намудан мумкин аст:

$$P_{TM} = \frac{m_1 U_{12}^2}{r_{m2}} = \frac{m_1 E_1^2}{r_{m2}} .$$

Мувофиқан муқовимати r_{m2} аст ба $r_{m2} = \frac{m_1 E_1^2}{P_{TM}}$ (3.38)

баробар мебошад.

Қимати P_{TM} барои E_1 аз ҳисоби занҷири магнитии трансформатор (банди 2.4) ва ё бо воситаи ифодаҳои таҷрибавӣ тақрибан муайян карда мешавад. Бинобар он фарз менамоем, ки қимати r_{m2} муайян аст.

Чараёни магнитнокгардонӣ $\dot{I}_m = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2$ аз ду қисм иборат аст, ки яке фаъол \dot{I}_{ma} дигаре реактивӣ \dot{I}_{mp} мебошанд. Аз ин ду қисмҳои чараёни магнитнокгардонӣ қисми фаъоли он талафи энергияи магнитиро муайян намуда, қисми реактиви он бошад, пайдо гардидани сели майдони магнитиро нишон медиҳад.

Ба ду қисм ҷудо намудани муқовимати занҷири магнитнокгардонӣ ва ба намуди пайвастагии мувозӣ овардани онҳо ҳақиқати ҳодисаҳоеро, ки дар занҷири магнитнокгардонӣ руй мендиҳад бо пуррагӣ муайян созад ҳам, он ба мушкилии тартиби ҳисоби схемаи муовизавӣ меоварад. Бинобар ин, пайвасти мувозиро ба пай дар пайи овардан мувофиқи мақсад мебошад (расми 3.7). Барои ин ифодаи муқовимати пурраи пайвасти мувозиро чунин сабт менамоем:

$$\dot{Z}_m = \frac{r_{m2} jx'_{12}}{r_{m2} + jx'_{12}} = \frac{r_{m2} (x'_{12})^2}{r_{m2}^2 + (x'_{12})^2} + j \frac{r_{m2}^2 x'_{12}}{r_{m2}^2 + (x'_{12})^2} = r_m + jx_m . \quad (3.39)$$

Азбаски $r_{m2} \gg x'_{12}$ аст

$$r_m \approx \frac{(x'_{12})^2}{r_{m2}} ; \quad x_m \approx x'_{12} \approx x_{x1} . \quad (3.40)$$

буданаш маълум мегардад.

Тазаккур бояд дод, ки мавриди афзудани сершавии магнитӣ ($\omega =$ дойимӣ, $r_{m2} \approx$ дойимӣ), яъне афзудани Φ_a , E_1 ё U_1 муқовимати x'_{12} ва мутаносибан ба r_m хурд шудан меоварад.

Дар расми 3.8 схемаи муовизавии трансформатор бо дарназардошти талафи энергияи магнитӣ оварда шудааст, ки дар он:

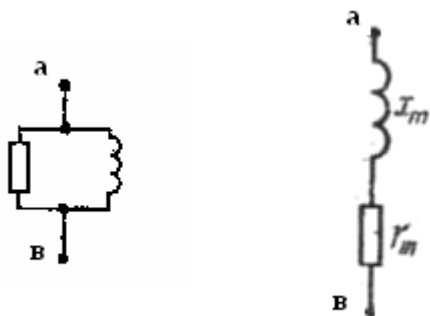
$$\dot{Z}_1 = r_1 + j x_1 ; \quad \dot{Z}'_2 = r'_2 + j x'_2 ; \quad \dot{Z}_m = r_m + j x_m \quad (3.41)$$

мебошанд. Ин ба содда гардидани схемаи муовизавии трансформатор ва гирифтани намуди Т-ро (расми 3.8) нишон медиҳад. Муқовимати пурраи

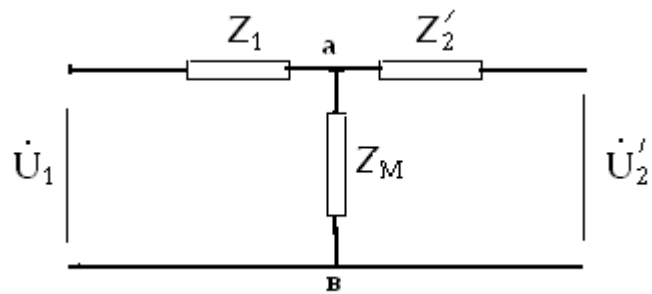
занчири магнитнокгардонӣ \dot{Z}_m ҳодисаҳоеро, ки дар ноқили магнитии трансформатор ба амал меоянд, нишон медиҳад ва он тадриҷан назар ба \dot{Z}_1 ва \dot{Z}'_2 калон аст, ки аз муқовиматҳои фаъол ва реактивии сели майдони магнитии пароканиши печаҳо иборатанд. Масалан, барои трансформаторҳои соҳаи интиқоли қараён қимати нисбии онҳо ба:

$$z_{m*} = 25 \div 200 ; \quad z_{1*} \approx z'_{2*} = 0,025 \div 0,10$$

баробар мебошанд.



Расми 3.7



Расми 3.8

Азбаски $\dot{Z}_m \gg \dot{Z}_1 \approx \dot{Z}'_2$ аст, дар бисёр мавридҳо метавон қимати \dot{Z}_m -ро баробар ба беохир қабул кард ($\dot{Z}_m = \infty$), ки ин дар схемаи муовизавии трансформатор шоҳаи магнитнокгардониро баргараф менамояд (расми 3.8). Дар ҳоли $\dot{Z}_m = \infty$ мувофиқан $I_m = 0$, ки ин шарти набудани қараёни магнитнокгардонӣ ва ё набудани қараёни кори трансформатори борбастаншударо нишон медиҳад, зеро онҳо тадриҷан хурд мебошанд. Дар ин маврид $\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2$ мебошад.

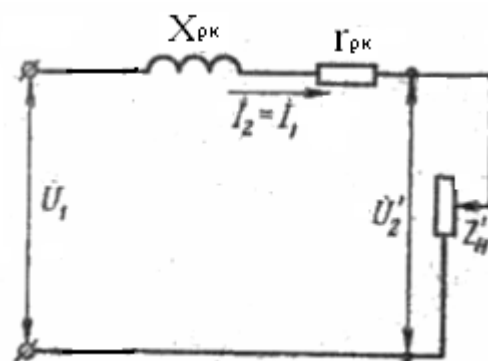
Барои ин ҳол схемаи муовизавии трансформатор намуди дар расми 3.9 овардашударо мегирад.

Дар ин расм:

$$\dot{Z}_{pk} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}'_2; \quad r_{pk} = r_1 + r'_2; \quad x_{pk} = x_1 + x'_2 \quad (3.42)$$

мебошанд, ки онҳо мувофиқан, муқовимати пурра, фаъл ва реактиви ҳолати расиши кӯтоҳ номида мешаванд. Чуноне ки дар поён мутолиа менамоем, ҳангоми расиши кӯтоҳ дар занҷири дуҷуми трансформатор муқовимати он ба \dot{Z}_{pk} баробар мешавад.

Схемаи муовизавии соддаи трансформатор танҳо ба муқовимати \dot{Z}_{pk} вобастаги дошта, бузургии нисбии он z_{pk*} барои трансформаторҳои қуввагӣ ба $z_{pk*} = 0,05 \div 0,15$ баробар мебошад.



Расми 3.9

3.5. Тартиби муайян намудани нишондиҳандаҳои схемаи муовизавии трансформатор

Нишондиҳандаҳои схемаи муовизавии трансформатор бо усулҳои назариявӣ ва таҷрибавӣ муайян амудан имконпазир мебошад.

Муқовимати фаъоли печаҳоро бо осони ҳисоб кардан мумкин аст. Дар баъзе мавридҳо ҳангоми ҳисоби муқовимати фаъл таъсири баровардани ҷараён ба сатҳи берунаи ноқилро бояд ба назар гирифт, ки он бо коэффитсиенти баровардани ҷараён ба назар гирифта мешавад. Бузургии ин коэффитсиентро дар маълумотномаҳои физикавӣ дарёфт намудан имконпазир аст ва умуман он ба $1,005 \div 1,15$ баробар мебошад.

Нишондиҳандаҳои занҷири магнитнокгардонӣ мутобиқ ба тартиби ҳисоби занҷири магнити трансформатор (банди 2.4) муайян карда мешаванд. Тартиби муайян намудани бузургии муқовиматҳои шохай

магнитнокгардонӣ дар схемаи муовизавӣ дар боло (банди 3.4, ифодаҳои 3.39, 3.40) оварда шуда буд.

Муайян намудани муқовимати индуктивияти печаҳо аз ҳисоби майдони магнити пароканиш мушкилӣ меоварад ва ин ба мураккабии шакли майдон дар фазои атрофи дилаки трансформатор вобастагӣ дорад. Бинобар он якҷанд усулҳои муайян намудани онҳоро таҳти муҳокима қарор медиҳем.

3.5.1. Усули пайвасти мутақобилӣ

Омӯзиши схемаи муовизавии трансформатор (расми 3.7) бартари таъсири муқовиматҳои x_1 ва x'_2 -ро назар ба r_m ва x_m ба нишондиҳандаҳои истеъмолии трансформатор нишон медиҳад.

Баҳри муайян намудани қимати x_1 ва x'_2 усули ба ном пайвасти мутақобилӣ истифода бурда мешавад, ки онро электротехники олмонӣ В.Роговский соли 1909 пешниҳод намудааст.

Агар занҷири воридатӣ ва содиротии трансформаторро ба чунин шиддатҳои \dot{U}_1 ва \dot{U}_2 пайваст намоем, ки

$$\dot{i}_m = \dot{i}_1 + \dot{i}'_2 = 0 \quad (3.43)$$

гардад, он гоҳ сели майдони магнитӣ $\Phi_a = 0$ ва $\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = 0$ буда метавонад; қувваи магнитнокгардонии печаҳо ба ҳамдигар баробар ва самташон муқобил мешавад, ки номи ин усул аз ҳамин аст. Дар ин маврид мутобиқ ба баробариҳои (3.27) ва схемаи муовизавӣ (расми 3.7 ва 3.8):

$$\dot{U}_1 = \dot{i}_1 r_1 + j x_1 \dot{i}_1 = \dot{i}_1 \dot{Z}_1 \quad (3.44)$$

$$- \dot{U}_2 = r_2 \dot{i}_2 + j x_2 \dot{i}_2 = \dot{i}_2 \dot{Z}_2 \quad (3.45)$$

ё ин ки

$$- \dot{U}'_2 = r'_2 \dot{i}'_2 + j x'_2 \dot{i}'_2 = \dot{i}'_2 \dot{Z}'_2 \quad (3.46)$$

мешавад.

Аз баробариҳои (3.44) ва (3.46) бармеояд, ки дар мавриди истифода бурдан аз усули пайвасти мутақобилӣ ва муайян будани қимати бузургҳои U_1 , U_2 , I_1 , I_2 , инчунин иқтидорҳои P_1 ва P_2 , муқовиматҳои трансформаторро бо истифода аз қонунҳои Ом ва Ҷоул-Ленс муайян кардан мумкин аст:

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} ; \quad Z_2 = \frac{U_2}{I_2} ; \quad r_1 = \frac{P_1}{m I_1^2} ; \quad r_2 = \frac{P_2}{m I_2^2} .$$

Инчунин муқовиматҳои аз ҳисоби сели майдони магнити пароканиш ба вучуд омадаро аз ифодаҳои зерин муайян кардан имконпаказир аст:

$$x_1 = \sqrt{z_1^2 - r_1^2} ; \quad x_2 = \sqrt{z_2^2 - r_2^2} .$$

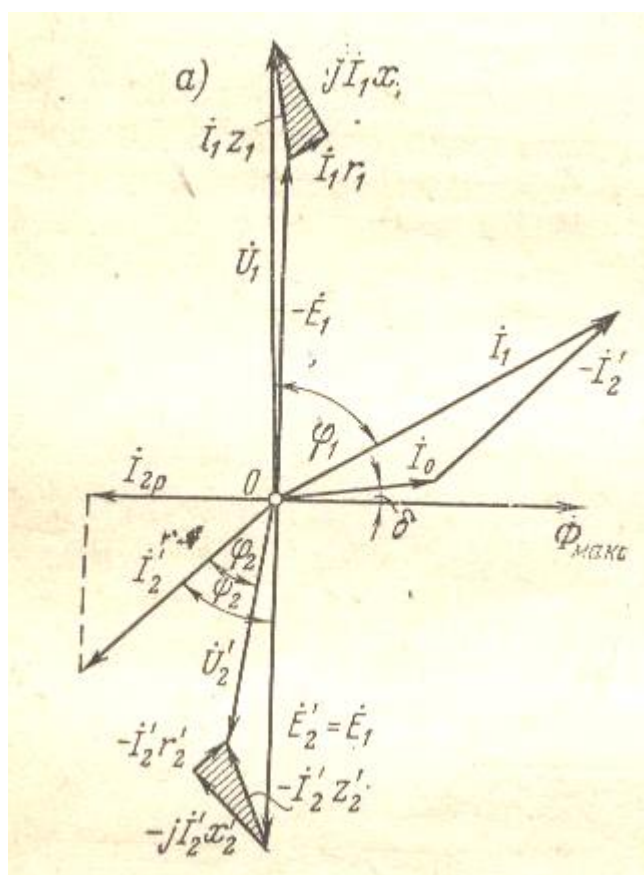
Аз ин ифодаҳо бармеояд, ки дар усули пайвасти мутақобилӣ танҳо майдонҳои магнитии пароканиш ба назар гирифта мешаванду бас.

Гузариши таҷрибаи пайвасти мутақобилӣ дар мавриди $w_1 \neq w_2$ амалан ғайриимкон аст, чунки дар ин маврид бо саҳеҳии кофӣ иҷро намудани шarti (3.43) ғайриимкон мебошад. Бинобар ин истифодаи таҷрибаи пайвасти мутақобилӣ танҳо дар мавриди $w_1 = w_2$ будан ва ё овардани печай дуҷум ба печай аввала $w_2 = w'_2$ имконпазир мебошад.

Дар расми 3.10 диаграммаи вектории трансформатори ба муқовиматҳои омехтаи фаъолу индуктивӣ борбастгардида оварда шудааст.

Аз ифодаҳои дар боло сабтёфта ва диаграммаи векторӣ бармеояд, ки нисбати шиддат дар занҷири воридотӣ ба шиддати занҷири содиротӣ ба нисбати ҚЭХ-ҳо дар печай аввала ба печай дуҷум баробар нест, ки аз сели майдони магнитӣ дар печайҳо ҳосил гардидаанд.

Дар расми 3.10 диаграммаи вектории трансформатори борбастгардида оварда шудааст. Қайд намудан зарур мебошад, ки афтиши пурраи шиддат дар занҷири воридотӣ $i_1 Z_1$ ва дар занҷири содиротӣ $i_2 Z_2$ нисбатан хурд мебошанд, бинобар он диаграммаи векторӣ танҳо нисбат ба ҳамдигар чойгиршавии векторҳо нишон дода, дар он андозаи векторҳо ба назар гирифта нашудаанд, яъне $U_1 \approx E_1$ ва $U_2 \approx E_2$ ва ғайраҳо.



Расми 3.10

Бинобар он дар ҳолати зерини амали трансформаторҳо ба назар мерасад, ки иқтидори номиналӣ ба $S_{ном} = S_{1ном} = U_{1ном}I_{1ном}$ доро мебошанд:

1. Ҳолати номиналӣ, яъне ҳангоми амали трансформатор дар мавриди шиддат ва ҷараён дар занҷири воридотӣ баробар ба қимати номиналии худ будан $U_1 = U_{1ном}$; $I_1 = I_{1ном}$ мешаванд;
2. Ҳолати корӣ яъне ҳолате, ки шиддати занҷири воридотӣ наздик ба шиддати номиналӣ буда $U_1 \approx U_{1ном}$ ҷараёни он вобаста ба миқдори борбасти он, яъне вобаста ба иқтидори истеъмолкунанда мебошад;
3. Ҳолати кори борбаст набудани трансформатор, яъне ҳолати бебунёд амал кардани трансформатор $U_1 = U_{1ном}$ ва занҷири содиротии он сарбаста набудан (занҷири баромад кушода ва $I_2 = 0$);
4. Ҳолати расиши кӯтоҳ, занҷири содиротии трансформаторро бе борбаст сарбаста гардонидан ба вучуд меояд ($U_2 = 0$). Қайд намудан лозим, ки ҳолати кории расиши кӯтоҳи трансформатор ҳолати садамавӣ буда, ба аз кор баромадани он оварда расониданаш аз эҳтимол дур нест.

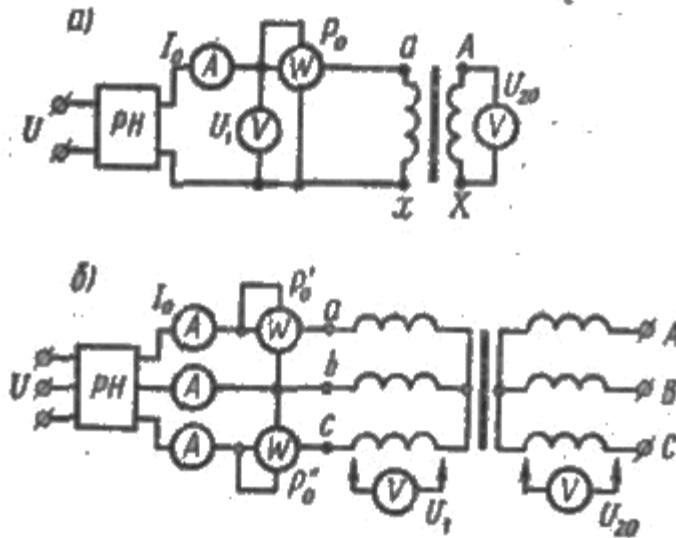
Бояд тазаккур дод, ки ҳолатҳои кории трансформаторро дар истехсолот аз озмоиши ҳолатҳои кории он фарқ намуд. Ҳолатҳои кории трансформаторро дар алоҳидагӣ меомӯзем.

3.6. Ҳолати амали бебунёд (ҳолати кори б.б.)-и трансформатор

Дар ҳолати амали бебунёд (кори б.б.) трансформатор аслан ба печаи дилакдор мубаддал мегардад, ки миқдори печаҳояш W_1 буда, ба манбаи ҷараёни тағйирёбанда пайваст карда шудааст. Аз ин рӯ диаграммаи вектории он ба диаграммаи вектории печаи дилакдор монанд буда, танҳо қисми печаи дуҷум бояд илова гардад.

Омӯзиши кори трансформатори бебунёд аҳамияти амалӣ ва тадқиқотӣ дорад, ки аз он нишондиҳандаҳои трансформатор муайян карда мешаванд.

Таҷрибаи ҳолати кори б.б. ин он ҳолати кории трансформатор мебошад, ки занҷири воридотӣ ба шиддати бузургиаш тағйирёбанда ($U_1 = 0-1,2U_{1ном}$) пайваст карда шуда занҷири содиротии он воз аст ($I_2 = 0$). Дар расми 3.11 пайвасти трансформатори якфаза ва сефаза барои гузаронидани таҷрибаи ҳолати кори б.б. бо асбобҳои лозимӣ ва дар расми 3.12 диаграммаи вектории он оварда шудаанд. Мувофиқи нишондоди асбобҳо: амперметр РА қимати ҷараёни ҳолати кори б.б. – I_{10} ; вольтметри PV_1 қимати шиддати занҷири воридотӣ $-U_{10}$; вольтметри PV_2 қимати шиддати занҷири содиротӣ $-U_{20}$;



Расми 3.11

ваттметр PW иқтидори трансформаторро дар ҳолати кори б.б. $-P_0$ муайян карда мешаванд. Қайд намудан зарур аст, ки ҷараёни ҳолати кори б.б. дар мавриди баробар будани шиддат дар занҷири воридотӣ ба шиддати номиналӣ ($U_1 = U_{\text{ном}}$) ҳамаги 3-10 фисади ҷараёни номиналии занҷири воридотиро ташкил медиҳад (фисади хурдтар ба иқтидори баландтари трансформатор рост меояд), бинобар он метавон ҚЭХ-ро дар занҷири воридотӣ ба шиддати он баробар қабул намудан мумкин мебошад ($U_{10} = E_1$). Ғайр аз ин, дар мавриди сарбаста набудани занҷири содиротии трансформатор ҚЭХ-и он ба шиддаташ баробар мебошад ($U_{20} = E_2$).

Аз таҷрибаи ҳолати кори б.б. бузургии нишондиҳандаҳои зерини асосии трансформатор муайян карда мешаванд:

1. Коэффитсиенти қобилияти табдилдиҳии трансформатор ҳамчун нисбати нишондоди вольтметрҳо дар занҷирҳои воридотию содиротӣ

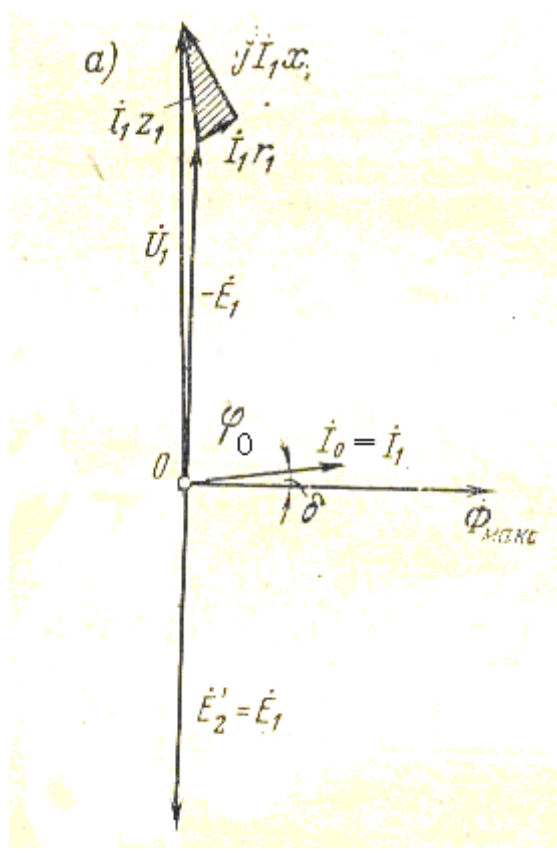
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}},$$

2. Қимати ҷараёни кори б.б.-и трансформатор $-I_{10}$, ба нишондоди амперметр дар занҷири воридотӣ баробар аст.
3. Муқовиматҳои занҷири воридотӣ, бо роҳи ҳисоб истифода аз нишондоди асбобҳои андозагир:

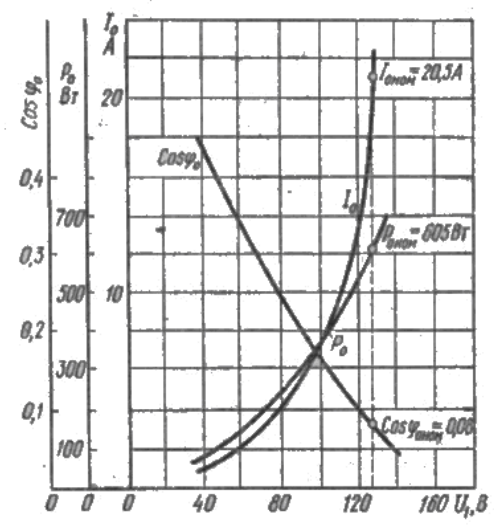
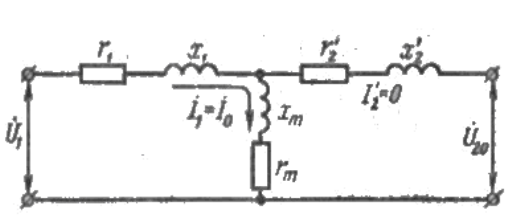
муқовимати пурра: $Z_{10} = Z_1 + Z_M = \frac{U_{10}}{I_{10}}, [\text{Ом}];$

муковимати фаъл: $r_{10} = r_1 + r_M = \frac{P_{10}}{I_{10}^2}$, [ОМ];

муковимати индуктивӣ: $X_{10} = X_1 + X_M = \sqrt{Z_{10}^2 - r_{10}^2}$, [ОМ].



Расми 3.12



Расми 3.13

4. Талафи магнитӣ ба иқтидори трансформатор баробар аст, ки аз нишондоди ваттметр муайян карда мешавад.

Азбаски ҷараёни занҷири вооридотӣ дар ҳолати кори трансформатори б.б. бисёр кам аст, талафи электрӣ дар ноқили печаҳои он, бо сабаби ба квадрати ҷараён мутаносиб будан, низ кам аст ва онро ба назар нагирифтани раво аст. Дар баробари ин сели майдони магнитӣ, ки бо пуррагӣ ба бузургии шиддати ҳолати кори трансформатор вобастагӣ дорад ва дар мавриди кори б.б. шиддат дар занҷири воридотӣ ба бузургии номиналии худ баробар асту бузургии сели майдони магнитӣ низ ба бузургии номиналии худ баробар мебошад. Аз ин рӯ талафи иқтидорро, ки дар ҳолати кори б.б. дар трансформатор ба вучуд меояд, ба талафи занҷири магнитӣ баробар намудан мумкин мешавад. Иқтидори трансформатор, ки онро дар таҷрибаи ҳолати кори б.б., ваттметр нишон медиҳад, ба талафи иқтидори занҷири магнитӣ баробар мебошад:

$$\Delta P_m = P_{10} . \quad (3.47)$$

Талафи иқтидори магнитӣ нисбатан на он қадар зиёд аст. Талафи иқтидор дар занҷири магнитӣ дар трансформаторҳои иқтидорашон 5 ÷ 50 кВА 1,4 ÷ 0,9% ва дар трансформаторҳои иқтидорашон 1 ÷ 10 МВА 0,5 ÷ 0,3% аз иқтидори номиналиро ташкил медиҳад. Ба ин нигоҳ накарда, донишмандони микдори талафи иқтидор дар занҷири магнитӣ муҳим ва зарур аст, чунки трансформаторҳои иқтидорашон калон бе борбаст ҳам амал намоянд, хомӯш карда намешаванд.

Ҷараёни ҳолати кори б.б. трансформатор $-I_{10}$, ҳамчун ҷараёни печаи дилактор, қисман аз ҷараёни фаъол $-I_{10,a}$ ва қисман аз ҷараёни реактивӣ $-I_{10,p}$ иборат мебошад. Қисми ҷараёни фаъол ин нишонаи қисми нерӯ (мутаносиб ба бузургии ҷараён) барои тағйирёбии магнитнокгардонӣ (гистерезис), ҷараёнҳои Фуко ва талафи иловагӣ масраф гардиданро, муайян менамояд. Қайд кардан манфиатбахш аст, ки қисми ҷараёни фаъол назар ба қисми реактивӣ дахҳо маротиба хурд мебошад. Бинобар он қобили қабул аст фарқи фазаҳои байни ҷараёну шиддати ҳолати кори б.б. баробар ба 90° қабул карда шавад, яъне фазаи ҷараёни ҳолати кори б.б. аз фазаи шиддат 90° қафо мемонад.

5. Ҳосил намудани вобастагии нишондиҳандаҳои ҳолати кори б.б. трансформатор.

Таҷрибаи кори б.б. трансформатор бо шиддати номиналӣ дар занҷири воридотӣ, яке аз санҷишҳои асосии трансформатор ба ҳисоб меравад. Дар баробари ин баъзе мавридҳо донишмандони нишондиҳандаҳои ҳолати кори б.б.-и трансформатор дар вақти тағйир ёфтани шиддати он муҳим аст. Инҳо, вобастагӣҳои $P_{10} = F(U_{10})$ ва $I_{10} = F(U_{10})$

мебошанд, ки онҳоро вобастагии нишондиҳандаҳои ҳолати кори б.б.-и трансформатор меноманд ва намунаи онҳо дар расми 3.12 оварда шудааст. Дар натиҷаи афзудани шиддат (аз сифр ба боло то $1,2U_{1ном}$), то даме, ки занҷири магнитӣ сер нашудааст, ҷараёни кори б.б. мутаносибан меафзояд ва тақрибан аз қимати $U_{10} > 0,8U_{1ном}$, ки сершавии занҷири магнитӣ сар мешавад, афзуншавии ҷараёни ҳолати кори б.б.-и трансформатор ғайриҷашмдошт бештар зиёд мегардад.

Талафи иқтидор дар занҷири магнитӣ мутаносиб ба B^2 аст ва азбаски

$$\Phi = \oint B dS$$

мутаносиб ба Φ мебошад ва бо назардошти он, ки

$$E_{10} \approx U_{10} \text{ ва мутаносиб ба } \Phi = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} \text{ аст,}$$

талафи иқтидор P_{10} мутаносиб ба U_{10}^2 мебошад.

3.7. Ҳолати расиши кӯтоҳи трансформатор (ҳолати р.к.)

Бояд ҳолати расиши кӯтоҳро дар шароити истифодабарии трансформатор дар истехсолот аз таҷрибаи расиши кӯтоҳ дар трансформатор фарқ намуд. Ҳолати р.к. дар шароити истифодабарӣ дар истехсолот ҳолати садамавӣ буда, ба аз ҳад зиёд шудани ҷараён, тез гарм шудан ва ба аз кор баромадани трансформатор оварда метавонад.

Таҷрибаи р.к. ин санҷиши трансформатор дар ҳолати бе борбаст сарбаста намудани занҷири содиротии он ($U_2=0$) ва ба занҷири воридотӣ гузоштани шиддати нисбатан кам аз номиналӣ (барои бузургии ҷараён дар печаҳо зиёд нагаштан аз қимати номиналии худ ($I_{1рк} = I_{1ном}$)) мебошад. Гузаронидани таҷрибаи р.к. мисли таҷрибаи ҳолати кори б.б.-и трансформатор яке аз бандҳои озмоиши трансформатор мебошад.

Дар расми 3.14а схемаи трансформатори якфаза барои гузаронидани таҷрибаи р.к. бо асбобҳои лозимӣ ва дар расми 3.15 диаграммаи вектории он оварда шудаанд. Аз рӯи нишондоди асбобҳо: амперметри якум PA_1 қимати ҷараёни ҳолати р.к. дар занҷири воридотӣ – $I_{1рк}$; амперметри дуюм PA_2 қимати ҷараёни ҳолати р.к. дар занҷири содиротӣ – $I_{2рк}$; вольтметр PV қимати шиддати занҷири воридотӣ $-U_{1рк}$; ваттметр PW иқтидори трансформатор дар ҳолати р.к. $-P_{рк}$ муайян карда мешаванд.

Дар таҷрибаи ҳолати р.к. ($U_{2рк} = 0$) чуноне ки аз (3.18) бармеояд ҚЭҲ-е, ки дар печаҳои содиротӣ меангезад ба:

$$\dot{E}_{2к} = -(r_2 + jx_{n2})\dot{I}_{2к}$$

баробар аст.

Дар таҷрибаи ҳолати р.к. ва баробар будани бузургии ҷараёни расиши кӯтоҳ ба бузургии ҷараёни номиналӣ $I_{1k} = I_{1ном}$ шиддат дар печай аввала тақрибан 5-10%-и шиддати номиналиро ташкил медиҳад. Аз ин рӯ қимати ҚЭХ (E_{2k}) ҳамагӣ якчанд ҷисади (2-5)% қиммати E_2 -ро назар ба қимати ҳолати кори мӯътадили трансформаторро ташкил медиҳад. Мувофиқан ба ҚЭХ, ангиши майдони магнитӣ ва талафи энергия дар занҷири магнитӣ низ кам мегардад. Бинобар ин қобили қабул аст, ки дар таҷрибаи ҳолати р.к. талафи энергия дар занҷири магнитӣ аз назар соқит карда шавад.

Аз таҷрибаи ҳолати кори р.к. қимати нишондиҳандаҳои зерини асосии трансформатор муайян карда мешаванд:

1. Коэффитсиенти қобилияти табдилдиҳии трансформатор, ки ба нисбати нишондодҳои амперметр дар занҷири содиротӣ ба амперметр дар занҷири воридотӣ, яъне

$$k = \frac{I_{2k}}{I_{1k}} \text{ баробар мебошад,}$$

2. Шиддати расиши кӯтоҳи трансформатор - $\Delta u_{рк}$, ки ба нишондоди вольтметр баробар мебошад.

Бузургии шиддате, ки он дар ҳолати р.к. ҷараёни печаҳоро ба бузургии ҷараёни номиналӣ баробар менамояд, шиддати номиналии расиши кӯтоҳ меноманд. Барои трансформаторҳои куввагӣ он ба 5-10% аз шиддати номиналии печай аввала баробар аст.

3. Муқовиматҳои занҷирҳои воридотӣ ва содиротӣ, аз он ҷумла:

муқовимати пурраи р.к. $Z_k = Z_{1k} + Z_{2k} = \frac{U_{1k}}{I_{1H}}$, [Ом];

муқовимати фаъоли р.к. $r_k = r_{1k} + r_{2k} = \frac{P_{1k}}{I_{1H}^2}$, [Ом];

муқовимати индуктивии р.к. $X_k = X_{1k} + X_{2k} = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$, [Ом]

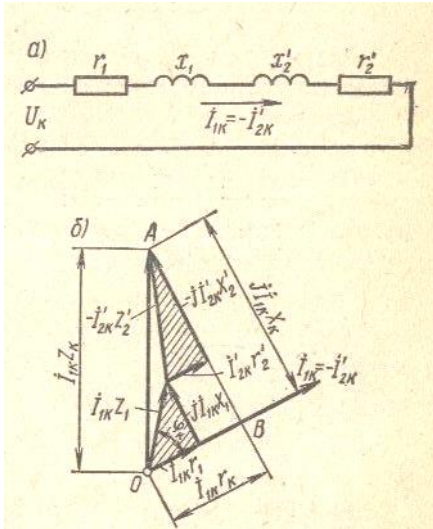
мебошанд.

4. Талафи иқтидор, ки ваттметр нишон медиҳад.

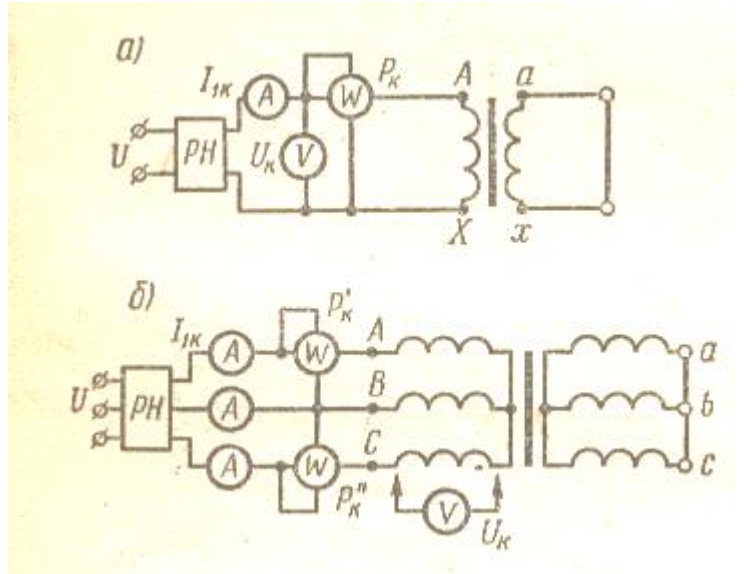
Азбаски шиддати занҷири воридотӣ мавриди таҷрибаи р.к. бисёр хурд мебошад, сели майдони магнитӣ низ кам гардида ба нисбатан кам гаштани талафи энергия дар ноқили магнитӣ (талафи магнитӣ) меоварад ва аз ин рӯ онро ба назар нагирифта раво аст. Талафи электрӣ, ки мутаносиб ба квадрати қимати ҷараён аст ва ҷараён дар печаҳои трансформатор ба қимати номиналии худ баробар мебошад, калон аст бинобар ин иқтидори пурраи трансформаторро дар ҳолати р.к. баробар ба талафи электрӣ дар печаҳои аввала ва дуҷум қабул намудан имконпазир аст, ки онро ваттметр нишон медиҳад:

$$\Delta P_{\text{Э}} = P_{1\text{Э}} + P_{2\text{Э}}.$$

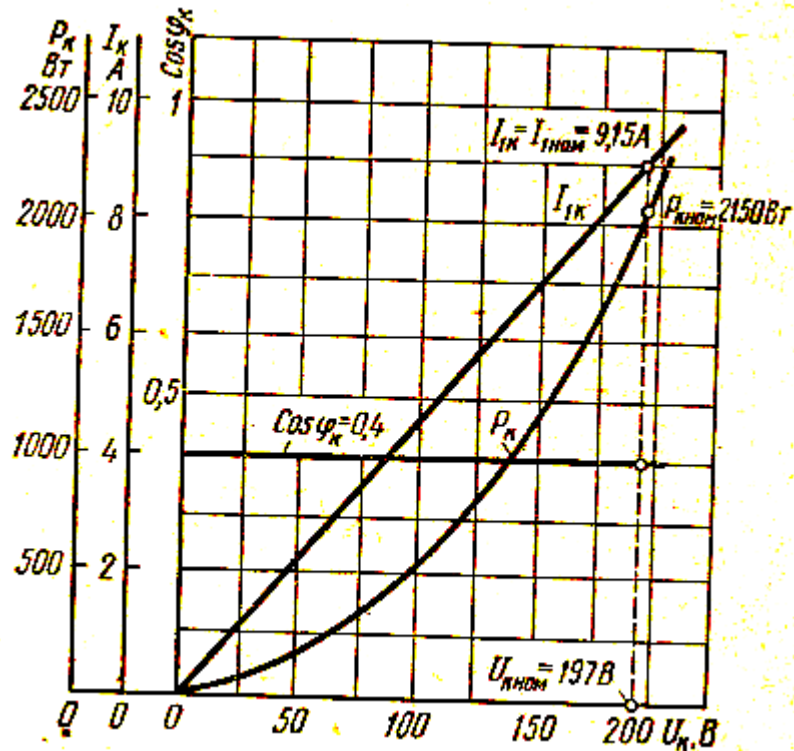
5. Тачрибаи р.к. дар мавриди тағйир додани бузургии чараён дар печаи аввалаи трансформатор (аз 0,4 то 1,2 маротиба назар ба бузургии чараени номиналӣ) аҳамияти амалӣ дорад. Дар расми 3.14 схемаи пайвасти печаҳои трансформатори якфаза ва сефаза барои гузаронидани озмоиши ҳолати р.к. тасвир ёфтаанд. Дар расми 3.15а. схемаи муовизавии трансформатор дар ҳолати кори р.к. бо диаграммаи векторӣ оварда шудааст.



Расми 3.15.



Расми 3.14.



Расми 3.16. Нишондиҳандаҳои ҳолати кори р.к.-и трансформатор

Дар расми 3.16 намунаи вобастагиҳои нишондиҳандаҳои ҳолати кори п.к.-и трансформатор $P_{1K} = f(U_{1K})$; $I_{1K} = f(U_{1K})$ ва вобастагии коэффитсиенти иқтидорӣ, ки аз рӯи ҳисоб муайян карда мешавад, тасвир ёфтаанд:

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K} \text{ барои трансформатори якфаза;}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{3U_K I_{1K}} \text{ барои трансформатори сефаза.}$$

3.8. Талафи энергия ва коэффитсиенти кори фойданоки (ККФ) трансформатор

Дар раванди амали интиқоли энергия аз печай аввала ба печай дуюм иқтидори фаъол P_1 , ки аз занҷири беруна ба трансформатор ворид мегардад, қисман ҳамчун талафи электрӣ дар ноқили печайи аввала масраф мешавад, ки он ба гармшавии трансформатор оварда микдоран ба:

$$P_{\text{б1}} = m I_1^2 r_1 \text{ баробар мебошад.} \quad (3.48)$$

Чараён дар печай аввала майдони магнитӣ ҳосил менамояд, ки он дар занҷири (ноқили) магнитии трансформатор сарбаста қорӣ мегардад. Сели майдони магнитӣ дар печайи трансформатор ва инчунин дар занҷири магнитӣ ҚЭХ-ро меангезонад (занҷири магнитиро ҳамчун як печай тасаввур намудан мумкин аст). Ин ба ҳосил гардидани талафи магнитӣ меоварад - P_m . Талафи магнитӣ аз ду қисм иборат аст: талафи магнитӣ тавассути чараёни Фуко P_f ва талафи магнитӣ дар ҳалқаи ҳистерезис - P_x . Микдоран талафи магнитӣ мутаносиб ба бузургии фаъоли чараёни кори б.б.-и трансформатор баробар мебошад

$$P_m = E_1 I_{0a}. \quad (3.49)$$

Иқтидори печай дуюм иқтидори электромагнитӣ буда, он ба фарқияти иқтидорҳо дар занҷири воридотии трансформатор (печай аввала) ва талафи энергия дар он ва талафи энергия дар занҷири магнитӣ баробар мебошад:

$$P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{б1}} - P_m = I_2' E_2' \cos \psi_2$$

Иқтидори электромагнитӣ қисман ба гармшавии печай дуюм - $P_{\text{б2}}$ масраф меёбад, ки он микдоран ба:

$P_{62} = (I_2')^2 r_2'$, баробар мебошад ва боқимондаи он иқтидори P_2 -ро дар занҷири содиротии трансформатор ташкил менамояд, яъне:

$$P_2 = P_{эм} - P_{62} = P_1 - P_{61} - P_M - P_{62} = P_1 - P_6 - P_M, \quad (3.50)$$

ки дар ин ҷо, $P_6 = P_{61} + P_{62}$ буда талафи электрӣ дар трансформатор мебошад.

Азбаски талафи электрӣ вобаста ба қимати ҷараён (мувофиқан ба бузургии борбасти пайваस्तшуда) аст, онро талафи тағйирёбанда $P_{таг.}$ меноманд.

Талафи магнитӣ умуман ба иқтидори кори б.б.-и трансформатор (3.47), ки ба печай аввалаи он шиддати номиналӣ гузошташуда, баробар аст. Талафи магнитӣ ба басомади ҷараёни тағйирёбанда ($P_M \equiv f^{1.3}$) ва индуксияи майдони магнитӣ ($P_M \equiv B^2$) мутаносиб мебошад (индукция дар баробари ин ба шиддат мутаносиб мебошад). Азбаски дар мавриди дойимӣ будани басомад ва шиддат дар печай аввала бузургии сели майдони магнитӣ низ тақрибан дойимӣ мебошад, талафи магнитиро талафи дойимӣ $P_{доими}$ меноманд. Дар ин асос иқтидорро дар занҷири содиротии трансформатор чунин ифода намудан мумкин мебошад:

$$P_2 = P_{эм} - P_{таг.} - P_{доими} = m U_2 I_2 \cos \varphi_2, \quad (3.51)$$

ки дар ин ҷо m – теъдоди фазаҳо дар трансформатор мебошад.

Коэффитсиенти кори ғоиданок (ККФ) дар трансформатор - нисбати иқтидори ғаъол дар содирот ба иқтидори ғаъол дар воридоти трансформатор баробар мебошад:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{ё ин ки} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (3.52)$$

ва бузургии он ба ҳолати кори трансформатор вобаставу дойимо хурд аз 1 (хурд аз 100%) аст.

Дар мавриди $U_1 = U_{1ном}$, $I_1 = I_{1ном}$ ва коэффитсиенти иқтидор ба $\cos \varphi_2 > 0,8$ баробар будан ККФ-и трансформаторҳои иқтидорашон нисбатан баланд то ба қадри 99% ва аз ин ҳам зиёд шуда метавонанд, бинобар он амалан иқтидори содиротиро то саҳеҳии зарури бо истифода аз талафи энергия $\Delta P = P_6 + P_M = P_{таг.} + P_{доими}$ муайян намудан қобили қабул аст:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P}. \quad (3.53)$$

Қайд намудан ҳатмист, ки дар мавриди $U_1 = U_{1ном}$, $I_1 = I_{1ном}$ талафи энергия дар занҷири магнитӣ ва дар печайҳои трансформатор амалан

мутаносибан ба иқтидори фаъоли он дар ҳолати кории б.б. ва ҳолати кории р.к.-и таҷрибавӣ баробаранд.

ККФ-и трансформатор дар мавриди $U_1 = U_{1н.м}$ будан, асосан ба миқдор ва сирати борбасти пайваस्तшуда, яъне ба бузургии ҷараёнҳои I_2 , I_1 ва $\cos\varphi_2$ вобастагӣ дорад. Намуди ин вобастагӣ дар расми 3.17 оварда шудааст.

Талафи иқтидор дар ноқилҳои печаҳои трансформатор ба:

$$(I'_2)^2 r_k = r_k \kappa_{бор}^2 (I'_{2н.м})^2 = \kappa_{бор}^2 P_{к.н.м}$$

баробар аст, ки дар ин ҷо

$$\kappa_{бор} = \frac{I_2}{I_{2н.м}} - \text{коэффитсиенти борбасти}$$

трансформатор ном дорад;

$P_{к.н.м}$ - талафи иқтидор дар ноқилҳои печаҳои трансформатор дар ҳолати $I_1 = I_{1н.м}$ ва $I_2 = I_{2н.м}$.

Иқтидори фаъол дар занҷири содиротии трансформатор $P_2 = P_1 - \Delta P$ ва истифода аз ин ККФ-ро тавассути ифодаи зерин муайян намудан беҳтар аст:

$$\eta = \left(1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P}\right) \cdot 100\% \approx \left(1 - \frac{\kappa_{бор}^2 P_{к.н.м} + P_m}{\kappa_{бор} S_{н.м} \cos\varphi_2 + \kappa_{бор}^2 P_{к.н.м} + P_m}\right) \cdot 100\% .$$

Аз ин ифода бармеояд, ки ККФ-и трансформатор аз сират ва коэффитсиенти борбасти худ вобастагӣ дорад ва бузургии он дойимо аз 1 хурд мебошад.

Коэффитсиенти иқтидорро дойимӣ қабул намуда ($\cos\varphi_2 = \text{дойимӣ}$), шарти кори трансформаторро бо қимати калонтарини (ниҳойии) ККФ муайян менамоем, ки он чунин аст:

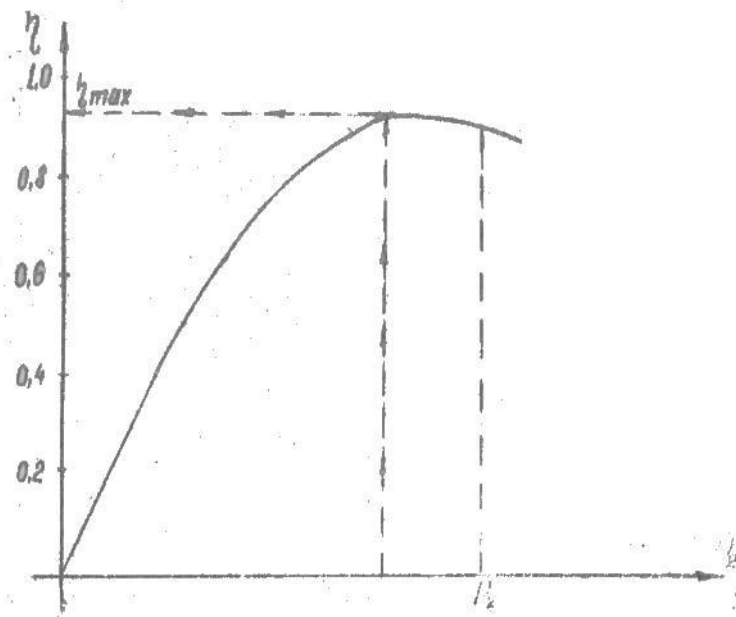
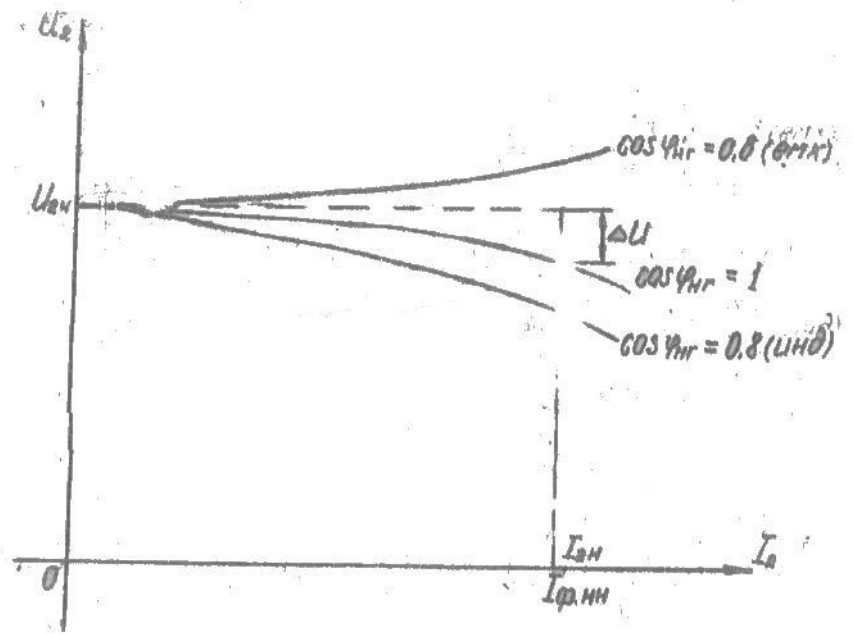
$$\kappa_{бор} = \sqrt{\frac{P_m}{P_{к.н.м}}}$$

ва қимати калонтарини ККФ дар ҳолати $\kappa_{бор} = 1$ будан, ки он дар мавриди талафи иқтидори магнитӣ ба талафи итидори электрӣ $P_m = P_{к.н.м}$ баробар гардидан, мушоҳида карда мешавад.

Бо дарназардошти он, ки трансформаторҳо асосан бо борбасти камтар аз номиналӣ амал мекунанд, онҳо чунон сохта мешаванд, ки дар мавриди:

$$\kappa_{бор} = 0,7 \div 0,5 \text{ ва } \frac{P_m}{P_{к.н.м}} = 0,5 \div 0,75$$

будан ККФ дорoi қимати калонтарин гардад.



Расми 3.17

Сафолҳои рейтингӣ

1. Муодилаҳои асосии трансформаторро нависед ва фаҳмонида диҳед.
2. Шиддати воридотии трансформатор аз чӣ вобаста аст ва онро чӣ тавр фаҳмонидан мумкин аст.
3. Шиддати содиротии трансформатор аз чӣ вобаста аст ва онро чӣ тавр фаҳмонидан мумкин аст.
4. Муодилаи ҷараёнҳоро дар трансформатор нависед ва онро фаҳмонида диҳед.
5. Шиддат дар баромади трансформатор чӣ гуна вобастаги дорад аз бузургии борбасти он?
6. Трансформатори қуввагӣ дар кадом речаҳо йамал карда метавонад ва барои чӣ?
7. Амали гашти холии трансформатор чист ва онро дар озмоишгоҳ чӣ тавр гузаронидан мумкин аст?
8. Аз речаи гашти холии трансформатор кадом бузургиҳои трансформаторро муайян кардан мумкин мебошад?
9. Речаи расиши кӯтоҳ ин речаи корӣ мебошад ё речаи таҷрибавӣ?
10. Речаи борбасти трансформатори якфазаро тасвир намоед ва фаҳмонед.
11. Дар речаи борбасти трансформатор бузургии шиддати содироти бояд ба чанд баробар шавад?
12. Қувваи электроҳаракатдиҳандаи трансформаторро нависед ва фаҳмонида диҳед.
13. Барои чӣ дар трансформаторҳои қуввагӣ ҷараён дар печай содиротӣ ба муқобили самти ҷараён дар печай воридотӣ равона аст?
14. Кадом намуд талафотҳо дар трансформатор ба вучуд меояд?
15. Коэффитсиенти кори ғоиданоки трансформатор дар кадом маврид калонтарин қимматро дорад мегардад?
16. Коэффитсинети кори ғоиданоки трансформаторро нависед ва онро фаҳмонида диҳед.
17. Коэффитсиенти иқтидор дар трансформатор ба чӣ баробар аст?
18. Коэффитсиенти иқтидорро дар трансформатор нависед ва аз кадом бузургиҳо вобаста будани онро гӯед?
19. Бузургиҳои коэффитсиенти кори ғоиданок чиро тасвир мекунад?
20. Бузургии коэффитсиенти иқтидор чиро тасвир мекунад?