

## Боби 2. Магнитнокгардонии дилакҳои трансформаторҳо

### 2.1. Ҳодисаҳои, ки ҳангоми магнитнокгардонии дилакҳои трансформаторҳо рӯй медиҳанд

Дар мавриди дилакҳои трансформаторҳо магнитнок шудан, дар натиҷаи сершавии занҷири магнитӣ ҳодисаҳои ба вукӯъ мепайванданд, ки омӯзиши махсусро талаб менамоянд. Барои ин, амали трансформатори борбаст нагардидаро, ки печаҳои аввалини он ба манбаи шиддати ҷараёни синусоидӣ васл шуда, печаҳои дуюмини он сарбаст нашудаанд, муҳокима менамоем.

#### Магнитнокгардонии дилаки трансформатори якфаза.

Дар мавриди борбаст набудани трансформатор барои шиддати занҷири воридотии он муодилаи зеринро овардан мумкин мебошад (нигар ба замимаи 31.7):

$$u = r i + (-e) = r i + w \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.1)$$

Аз муодилаи (2.1) бармеояд, ки шиддати манбаъ афтиши шиддат дар  $r i$  ва ҚЭҲ-и трансформаторро бартараф менамояд.

Мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ:

$$e = - w \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.2)$$

Дар мавриди афтиши шиддат-  $r i$  хеле хурд будан (дар амал ҳам ин хеле хурд аст) онро ба назар нагирифта равоқ, аз ин рӯ

$$u = -e = w \frac{d\Phi}{dt} \text{ мешавад.}$$

Бинобар он, дар мавриди синусоидӣ будани шиддат, яъне

$$u = U_m \sin \omega t, \quad (2.3)$$

тағйироти сели майдони магнитӣ низ синусоидӣ мешавад:

$$\phi = \Phi_m \sin (\omega t - \pi/2). \quad (2.4)$$

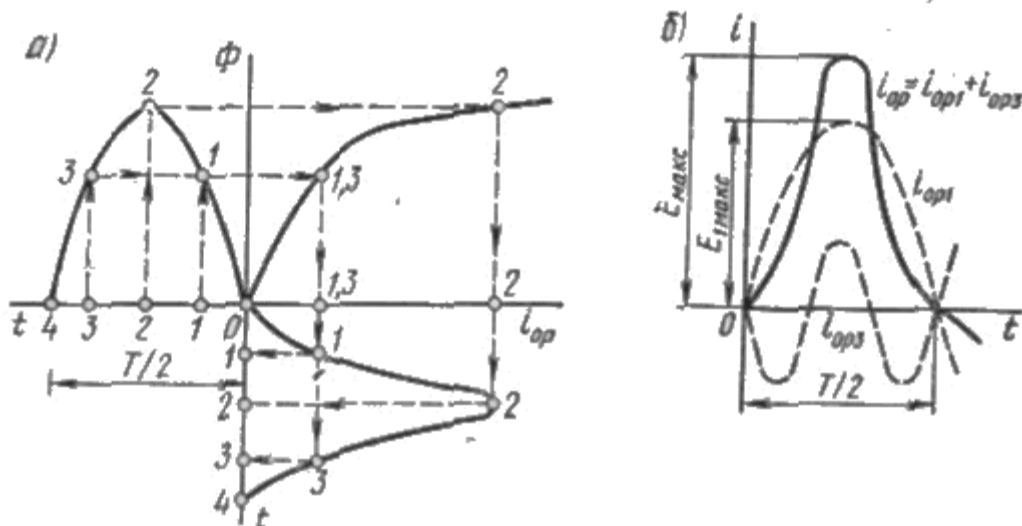
Дар аввал талафи энергияро дар занҷири магнитӣ ба назар намегирем. Дар ин маврид, ҷараёни амали бе борбаст, ки аз манбаъ гирифта мешавад  $i = i_0$  ба ҷараёни реактиви магнитнокгардонӣ  $i_0 = i_{0p}$  баробар мешавад, ки он сели майдони магнитӣ  $\Phi$ -ро ба амал меоварад.

Ба амал омадани сершавӣ мутаносибии байни сели майдони магнитӣ ва ҷараёни реактиви магнитнокгардониро ғайрихатти мегардонад, аз ин рӯ сели майдони магнитӣ синусоидӣ бошад ҳам, ҷараёни реактиви магнитнокгардонӣ ғайрисинусоидӣ мешавад.

Дар расми 2.1a вобастагии ҷараёни магнитнокгардонӣ ба вақт оварда шудааст. Дар чоряки 2-уми расми 2.1a сели майдони магнитӣ вобаста ба

вақт  $\Phi = f(t)$ , оварда шудааст, ки он намуди синусоидӣ дорад. Дар чоряки 1-уми ин расм бошад вобастагии магнитнокшавии маводи ноқили магнитӣ (моддае, ки аз он дилаки магнитӣ сохта шудааст) ба ҷараён оварда шудааст (ҷадвали магнитнокшавии якчанд моддаҳои магнитиро дар замимаи 2 дарёфта метавонед). Ин вобастаги асосан хати қач мебошад, яъне бо зиёд шудани ҷараёни магнитнокгардонӣ зудтару ғайрихаттӣ тағйирёбии сели майдони магнитӣ ба назар мерасад. Дар чоряки 4-уми ин расм натиҷаи тағйироти ҷараёни реактиви магнитнокгардонӣ вобаста ба вақт оварда шудааст  $i_{0p} = f(t)$ , ки он намуди ғайрисинусоидӣ дорад.

Вобастагии лаппиши ҷараёни реактивӣ ба вақт  $i_{0p} = f(t)$  (бо гармоникаҳои) дар расми 2.1б. оварда шудааст, ки он ҷо лаппишҳои дараҷаи 1-ум ва 3-юм (гармоникаи 1-ум ва 3-юм) хело хуб инъикос ёфтааст. Инчунин дар ин расм ҷамъии ҷараёнҳои реактиви лаппишҳои дараҷаи 1-ум ва 3-юм низ оварда шудааст:  $i_{0p} = i_{0p1} + i_{0p3}$ . Умуман, ин вобастагӣ  $i_{0p} = f(t)$  ғайрисинусоидӣ буда, мутобиқ ба нишондодҳои қаторҳои Фуриёе аст ва он метавонад дорои лаппишҳои дараҷаи баланди тоқ бошад ( $\nu = 1, 3, 5, 7, \dots$



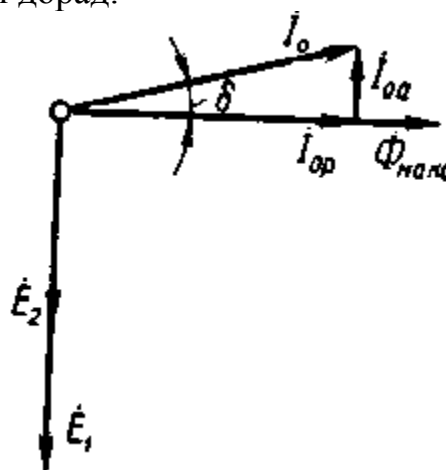
Расми 2.1.

...), ки дар баробари лаппиши дараҷаи 1-ум (лаппиши асосӣ  $\nu = 1$ ), лаппишҳои дараҷаи 3-юм ва 5-ум ( $\nu = 3, 5$ ) низ назаррас мебошанд. Масалан, дар трансформаторҳое, ки дилаки онҳо аз пӯлоди навъи 1411 (замимаи 32.2) сохта шуда индуксияи магнетиаш баробар ба 1,4 Тл аст, лаппиши дараҷаи 3-юм ба қадри 30% ва лаппиши дараҷаи 5-ум тақрибан 15%-и лаппиши асосии ҷараёнро ташкил медиҳанд.

Ҷараёни магнитнокгардонӣ -  $i_0$  ғайр аз қисми реактивӣ -  $i_{0p}$  дорои қисми фаъл низ мебошад -  $i_{0a}$ , ки ба талафи энергия дар дилак вобаста буда, бузургии он нисбатан хурд ва тағйироташ синусоидӣ мебошад ва он одатан аз 10% зиёд нест (расми 2.2). Ҷараёни пурраи магнитнокгардонӣ ба

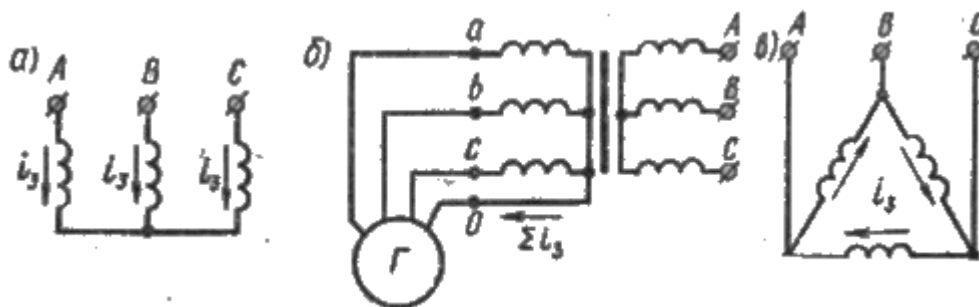
ҳосили ҷамъи ҳар ду қисмҳо баробар буда,  $i_0 = i_{0p} + i_{0a}$ , тағйироти он нақши бетаносуб ва ғайрисинусоидӣ дорад.

Расми 2.2. Диаграммаи вектории ҷараёни магнитнокшавии дилаки трансформатор.



## 2.2. Трансформатори сефазаи пайвасти печаҳояш $\Delta/Y$ .

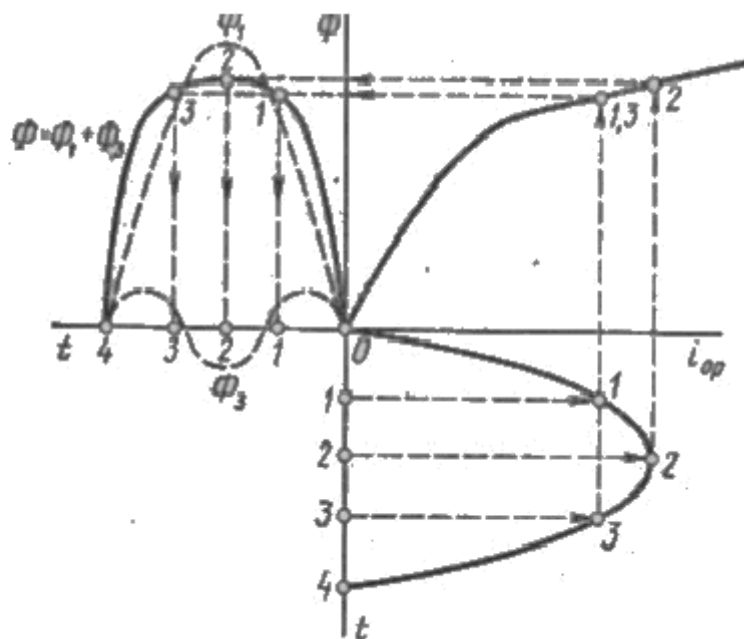
Бигзор трансформатор дар ҳолати борбаст набудан, аз ҷониби печаи пайвастагиаш секунчашакл -  $\Delta$  ба манбаи ҷараёни сефазаи синусоидӣ васл шудааст. Дар ин маврид ба ҳар як фазаи он шиддати синусоидии манбаъ гузошта мешавад ва сели майдони магнитии дар ҳар як фаза ҳосилшаванда низ синусоидӣ буда, ҷараёни магнитнокгардонӣ бошад, чуноне, ки дар трансформатори якфаза тасвир ёфт, ғайрисинусоидӣ шуда, дар он лаппишҳои дараҷаи баланди тоқ вучуд доранд. Дар ҳар як фаза лаппишҳои дараҷаи болои нисбат ба лаппишҳои асосии худ мувофиқан якхела сурат мегиранд. Ҳол он ки лаппишҳои асосии фазаҳо аз ҳамдигар тахти кунҷи  $120^\circ$  ҷойгиранд, лаппишҳои дараҷаи болои бошанд: 3-ум тахти кунҷи  $3 \times 120^\circ = 360^\circ \dot{\text{e}} 0^\circ$ ; 5-ум тахти кунҷи  $5 \times 120^\circ = 600^\circ \dot{\text{e}} 240^\circ$ ; 7-ум  $7 \times 120^\circ = 840^\circ \dot{\text{e}} 120^\circ$ ; 9-ум тахти кунҷи  $9 \times 120^\circ = 3 \times 360^\circ \dot{\text{e}} 0^\circ$  ва ғайра ҳамин тарз сурат мегиранд. Аз ин бармеояд, ки лаппишҳои дараҷаи болоии 3-юм ва каратӣ ба 3-юм ( $\nu = 3, 9, 15, \dots$ ) дар ҳама фазаҳо дорои як самт мебошанд ва аз ин сабаб ҷараёнҳои фазавии лаппишашон карати 3-юм дар дохили пайвастагии секунчашакл давр зада, дар ҷараёни хаттӣ вучуд надоранд (расми 2.3.в).



Расми 2.3. Самти ҷараёнҳои лаппиши карати 3-юм дар пайвасти печаи трансформаторҳо

Трансформатори борбастнагардида дар мавриди аз ҷониби печай пайвастагиаш ситорашакл -Y ба манбайи ҷараёни сефазаи синусоидӣ васл карда шудан (расми 2.3.a ) лаппишҳои дараҷаи болои карати 3-юм дар ҷараёни фазавӣ дошта наметавонад, чунки онҳо дар фазаҳо дорои як самт мебошанд ва роҳи баромад аз гиреҳи ситоравай надоранд. Вале, чи тавре ки дар магнитнокгардони трансформатори якфаза нишон дода шуда буд, воқеияти сершавии магнитӣ водор менамояд, ки барои синусоидӣ гаштани тағйироти сели майдони магнитӣ ҷараёни магнитнокгардонӣ лаппишҳои дараҷаи болои карати 3-юм бояд дошта бошад. Аз ин бармеояд, ки дар ин маврид ҷараёни магнитнокгардонӣ лаппишҳои дараҷаи болои карати 3-юм дошта наметавонанд ва бинобар он сели майдони магнитӣ ғайрсинусоидӣ мегардад (расми 2.4.).

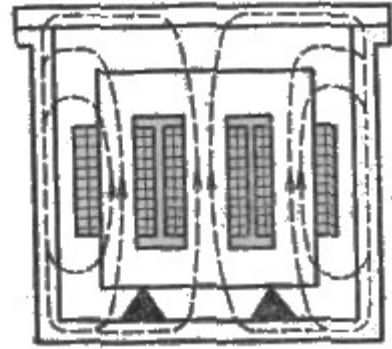
Мавҷуд набудани лаппишҳои дараҷаи болои карати 3-юм дар ҷараёни магнитнокгардонӣ ва нисбатан кам будани дигар лаппишҳои дараҷаи болои ҳангоми пайвасти ситорашакл ба наздик шудани тағйироти ҷараён ба намуди синусоидӣ оварда мерасонад.



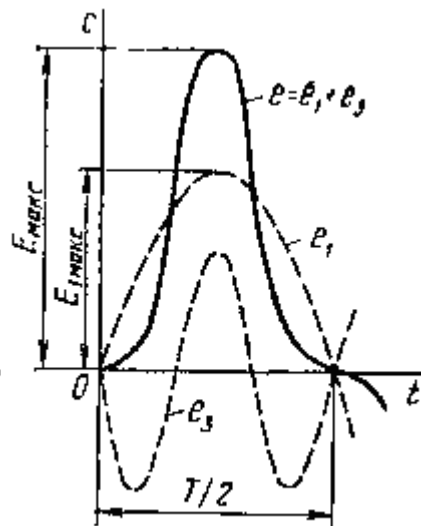
Расми 2.4.

Нақшаи сели майдони магнитии печаҳои пайвастагиашон ситорашакл -  $\Phi_Y$ , аз ҳисоби сершавии магнитӣ намуди зини асп ё ки ниммаи эллипсо дорад (расми 2.4.).

Расми 2.5. Самтҳои сарбасташавии сели майдони магнитии лаппишҳои карати 3-ум дар трансформатори сефаза.



Ин намуд сели майдони магнитӣ дар баробари лаппиши асосӣ-  $\Phi_{1Y}$  дорои нисбатан бузургиаш баланди лаппиши 3-юми  $\Phi_{3Y}$  мебошад. Лаппишҳои дараҷаи 3-юми сели майдони магнитӣ дар ҳама фазаҳо як самт дошта, дар печаҳои дуюмин, ки ба тарзи секунҷашакл пайваस्त шудааст, се ҚЭХ-и дараҷаи 3-юм  $E_{3\Delta}$  ҳосил менамоянд, ки (расми 2.6.) онҳо низ дорои як самт мебошанд. Аз ин лиҳоз  $E_{3\Delta}$  —ҳо дар пайвастагии секунҷашакл чараёнҳои лаппиши дараҷаи 3-юмро ба вуҷуд меоранд, ки бо сабаби бартарии муқовимати индуктивӣ онҳо сирати индуктивӣ доранд. Ин чараёнҳо лаппиши сели майдони магнитии дараҷаи 3-юми худро ҳосил менамоянд- $\Phi_{3\Delta}$ , ки тақрибан пурра лаппиши сели майдони магнитии печаҳои пайвастагиашон ситорашаклро-  $\Phi_{3Y}$  бартараф менамоянд. Бинобар ин сели майдони магнитии умумии фазаҳо дар трансформатор амалан синусоидӣ мебошад.



Расми 2.6. Намуди тағйирёбии ҚЭХ-и фазавӣ дар трансформаторҳои пайвастагии печаҳошон Y/Y

Аз ин бармеояд, ки фарқият дар васли трансформаторҳо ба манбаъ аз ҷониби печаҳои пайвастагиашон секунҷашакл ва ё ситорашакл амалан дар он аст, ки лаппишҳои каратӣ 3-юми чараени магнитнокгардонӣ дар печаҳои дуҷоми пайвастагии секунҷашакл ҳосил мешаванд.

Таҳлилҳо ба чунин хулоса меоваранд, ки агар яке аз печаҳои трансформатор дорои пайвасти секунҷашакл бошад, он гоҳ сели майдони магнитӣ, ҚЭХ ва шиддати фазаҳо намуди синусоидӣ доранд. Ин бартариҳои трансформаторҳои як печашон пайвасти секунҷашаклро нишон медиҳад. Ин хулоса танҳо барои трансформаторҳои сефазаи гурӯҳӣ ва сефазаи занҷири магнитиаш умумӣ тааллуқ дорад.

### **2.3. Трансформатори сефазаи пайвасти печаҳои Y/Y**

Дар трансформаторҳои пайвасти печаҳои намуди ситорашакл, чи тавре ки дар боло нишон дода будем, дар чараёни магнитнокгардонии печаҳои аввала ва дуҷоми ҳосил шудани лаппишҳои дараҷаи 3-юм ва каратӣ 3-юм ғайриимкон мебошад. Вале дар ин ҳол, сели майдони магнитии фазаҳо дар баробари лаппиши асосӣ- $\Phi_1$  дорои лаппишҳои карати 3-юм- $\Phi_3$  мебошад.

Хусусияти асосии пайвасти ситорашакли яке аз печаҳои трансформатор ин пайдо шудани лаппишҳои каратии 3-юм дар сели майдони магнитии фазаҳо, ки самти яктарафа доранд, мебошад. Аз ин сабаб ҚЭХ ва шиддати фазавӣ дар занҷири содиротии трансформатор ғайрисинусоидӣ буда дорои лаппишҳои дараҷаи 3-юм мебошанд.

Дар ин маврид бузургии ҚЭХ-и лаппиши дараҷаи сеюм  $E_3$  назаррас мегардад. Масалан, агар лаппиши дараҷаи 3-юм дар сели майдони магнитӣ 10 фисади лаппиши асосиро ташкил диҳад, лаппиши ҚЭХ-и дараҷаи 3-юм 30 фисади ҚЭХ-и лаппиши асосиро ташкил менамояд. Вале, махсус бояд қайд намуд, ки дар ҚЭХ ва шиддати хаттӣ лаппишҳои дараҷаи 3-юм вучуд надоранд, зеро онҳо дар фарқияти қиматҳои фазавӣ ислоҳ мегарданд (шиддати хаттӣ ба фарқияти векторони шиддатҳои фазавӣ баробар мебошанд).

Дар трансформаторҳои якфазаи гурӯҳӣ ва трансформаторҳои сефазаи занҷири магнитиашон зирехӣ (расми 2.5.) сели майдони магнитии  $\Phi_3$  ҳамчун сели майдони магнитии асосӣ  $\Phi_1$  сарбаста мебошад. Вале дар трансформаторҳои сефазаи занҷири магнитиашон милавӣ сели майдони магнитии  $\Phi_3$  дар ноқили магнитӣ сарбаста шуда наметавонад, чунки он дар ҳамаи меҳварҳо самти яктарафа дорад. Бинобар ин  $\Phi_3$  қисман бо равшан ё ҳаво ба воситаи қисмҳои танай трансформатор сарбаста шуда, дар он чараёни Фукоиро ҳосил менамояд. Ин сабаби хурд шудани бузургии  $\Phi_3$  ва талафи барзиёди энергия дар танай трансформатор мебошад.

Ин таҳлилҳо ба хулоса меорад, ки дар трансформаторҳои пайвасти печаҳояшон Y/Y ҳодисаҳои номувофиқ: ғайрисинусоидӣ гаштани шиддатҳои фазаӣ, инчунин дар трансформаторҳои занҷири магнетиашон се мила талафи барзиёди энергия мушоҳида карда мешавад.

Васл намудани ноқили нейтралӣ (расми 2.3.б) метавонист беҳбудӣ ба ин ҳолат бахшад, чунки лаппишҳои дараҷаи 3-юми ҷараёни магнитнокгардонӣ  $-I_3$  метавонист, ки бо ин ноқил сарбаста гардад ва дар ин ҳол ҷараён дар ноқили нейтралӣ  $3 \cdot I_3$ -ро ташкил медиҳад. Бо дарназардошти он, ки занҷири сарбаста аз муқовимати борбасти трансформатор ва дигар муқовиматҳо иборат мебошад, бузургии ҷараёни  $I_3$  ва таъсири он ба бузургии сели майдони магнитӣ нисбатан кам мегардад.

Дар асоси гуфтаҳои боло, трансформаторҳои куввагии иқтидорашон ва шиддаташон баланди пайвасти печаҳояшон Y/Y аслан сохта намешаванд. Дар мавриди пайдо шудани зарурият ба ин намуд трансформаторҳо печаи сеюм ҷой кардаву, онро ба намуди секунҷашакл пайваст мекунанд. Қобилияти гузаронандагии ноқили печаҳои сеюм мутобиқ ба ҷараёни  $I_3$  интиҳоб карда мешавад.

#### 2.4. Тартиби ҳисоби занҷири магнитии трансформаторҳо

Ҳисоби занҷири магнитӣ (ноқили магнитӣ) бо мақсади муайян намудани бузургии ҷараёни магнитнокгардонӣ ва талафи энергия дар он гузаронида мешавад. Бузургии қисми реактиви ҷараёни магнитнокгардониро бо истифода аз ду усул муайян намудан мумкин аст. **Усули якум.** Истифода аз қонуни ҷараёни пурра:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = F, \quad (2.5)$$

дар ин ҷо:  $H$  – шадидияти майдони магнитӣ (А/м) ;

$l$  - дарозии занҷири магнитӣ (м) ;

$F$  – кувваи магнитнокгардонӣ (ҚМ) (А·печа).

Пеш аз ҳама занҷири магнитиро ба қисмҳои алоҳида (мила, юғ, тарқиши ҳавоӣ ва дигарҳо), ки дар ҳар яки онҳо бузургии индуксияи майдони магнитӣ ( $B_{ox}$  –барои қисми пӯлодӣ,  $B_r$  – барои юғ,  $B_\delta$  - барои қисми ҳавоӣ ва ғайра) дойимӣ мебошад (расми 2.7), ҷудо намудан зарур аст. Аз ин рӯ бузургии амплитудавии сели майдони магнитӣ дар мила ва ҳар як қисми ҷудокардашудаи пӯлодӣ мутаносиб ба бузургии индуксия дар онҳо гашта баробаранд ба;

$$\Phi = B/S,$$

дар ин ҷо,  $S$  – масоҳати бурриши арзии занҷири магнитӣ (м<sup>2</sup>).

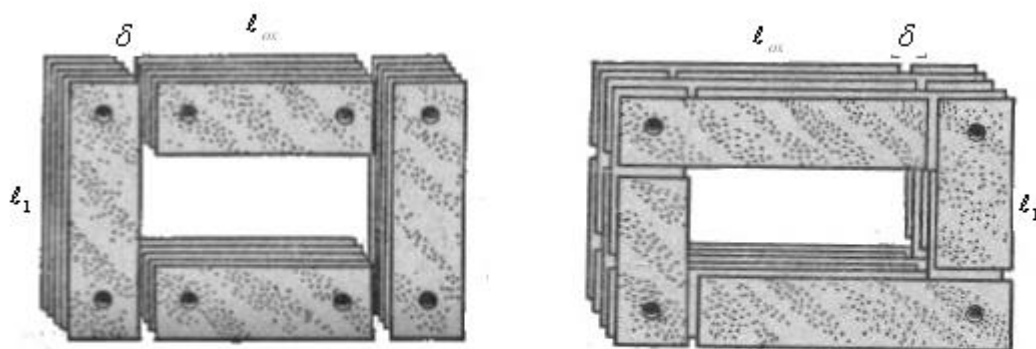
Аз сабаби бисёр хурд будани тарқиши ҳавоӣ бузургии индуксияи майдони магнитиро дар он баробар ба бузургии индуксия дар қисми пӯлодӣ ( $B_\delta = B_{ox}$ ) қабул кардан мумкин аст. Ин имконият медиҳад, ки аз

рӯи бузургии индуксияи майдони магнитӣ, истифода аз вобастагии магнитнокшавии пӯлод (расми 2.4), бузургии шадидияти майдони магнитӣ дар ҳар як қисми занҷири магнитӣ  $H_{ox}$ ,  $H_{ю}$  муайян карда шавад. Қимати шадидияти майдони магнитиро дар қисми ҳавоӣ, истифода аз вобастагии  $B_{\delta} = \mu_0 H_{\delta}$  муайян менамоянд.

Инак, ҚМ трансформатори якфаза (расми 2.7) баробар аст ба:

$$F = 2H_{ox} \ell_{ox} + 2H_{ю} \ell_{ю} + 4 \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \delta, \quad (2.6)$$

дар ин ҷо  $\delta$  - дарозии (ғафсии) тарқиши ҳавоӣ: барои занҷири магнитии бо рамзи махсус чамънамуда  $\delta = 0,003 - 0,005$  см мебошад. Барои занҷири магнитии пай дар пай чамънамуда ғафсии тарқиш аз  $\delta$  ба миқдори ғафсии изолятсия дар тарқиш зиёд мебошад (расми 2.7.).



Расми 2.7.

Андозаи занҷири магнитии трансформатори сефазаи милавӣ дорои номутаносубӣ мебошад: дарозии милаи мобайнӣ назар ба милаҳои дар канораҳо буда кӯтоҳтар мебошад. Бинобар он бузургии ҚМ ва бузургии чараёни магнитнокгардонанда дар фазаи мобайнӣ хурдтар мешавад. Дар амал, дар рафти ҳисоб, ба ин номутаносубӣ аҳамият намедиханд, чунки занҷири магнитиро нисбат ба қимати миёнаи ҚМ ҳисоб мекунанд. Қимати миёнаи ҚМ -ро барои як фазаи трансформатори сефаза аз ифодаи зерин муайян карда метавонем:

$$F = H_{ox} \ell_{ox} + \frac{2}{3} H_{ю} \ell_{ю} + n_{\phi} \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \delta, \quad (2.7)$$

ки дар ин ҷо  $n_{\phi}$  – теъдоди миёнаи тарқишҳо барои як фаза (барои занҷири магнитии се милавӣ: бо рамзи махсус чамъкардашуда  $n_{\phi} = 7/3$ ; пай дар пай чамъ буда  $n_{\phi} = 2$ ).



Қимати муассири лаппиши асосии чараёни реактиви магнитнок-гардонӣ баробар аст ба:

$$I_{op} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot k \cdot w}, \quad (2.8)$$

дар ин чо  $k$  – коэффитсиенте аст, ки он дар чараёни магнитнокгардонӣ мавҷуд будани лаппишҳои дараҷаи баландро ба назар мегирад (дар холи  $B_{ox}=1Тл$  ва  $B_{ox}=1,4Тл$  будан мутаносибан  $k=1,5$  ва  $k=2,2$  аст).

Вобастагии  $\Phi = f(t)$  намуди нақши дар расми 2.4 овардашударо дорад.

**Усули дуум.** Ин усул ба муайян намудани миқдори энергияи майдони магнитӣ ва иқтидори магнитнокгардонии он асоснок карда шудааст.

Бигузур тағйирёбии бузургии амплитудавии шадидият  $H$  ва индуксияи майдони магнитӣ  $B$  вобаста ба вақт намуди синусоидӣ дошта бошанд. Дар ин маврид бузургии калонтарини зичии ҳаҷмии энергияи майдони магнитӣ (барои воҳиди ҳаҷм)  $W'_{кал.}$  ва иқтидори реактивӣ  $Q'$ :

$$W'_{кал.} = \frac{BH}{2}; \quad Q' = \omega W'_{кал.} = \pi f BH \quad \text{мебошанд.}$$

Иқтидори реактиви занҷири магнити дорои ҳаҷми  $V$  ё бо вази  $G$ :

$$Q = Q' V = \frac{Q'G}{\gamma} = \frac{BH}{\gamma} \pi f G = q_{ox} G \quad \text{мешавад,} \quad (2.9)$$

ки дар ин чо  $\gamma$  - зичии пӯлоди ноқили магнитӣ ( $кг/м^3$ );

$q_{ox}$  – иқтидори реактивӣ барои як воҳиди массаи ноқили магнитӣ:

$$q_{ox} = \frac{BH}{\gamma} \pi f = \frac{B^2}{\mu\gamma} \pi f \quad \text{мебошад.} \quad (2.10)$$

Барои тарқишҳои ҳавойӣ

$$Q = q \cdot n \cdot \delta \cdot S_{\delta} = n \cdot q_{\delta} S_{\delta},$$

ки дар ин чо  $S_{\delta}$  - масоҳати тарқиши ҳавойӣ ( $м^2$ );

$n$  - теъдоди тарқишҳо дар занҷири магнитӣ (адад);

$q$  - иқтидори реактивӣ барои як воҳиди ҳаҷми тарқиш;

$q_{\delta} = q \delta$  - иқтидори реактивӣ барои як воҳиди масоҳати тарқиши ҳавойӣ аст.

Вобастагии  $q_{ox} = f(B)$ -ро умуман ҳосил намудан ба шарте мумкин мегардад, ки вобастагии  $B = f(H)$  барои пӯлоди ноқили мазкур муайян бошад. Дар амал ин вобастагӣ тавассути таҷриба муайян карда мешавад. Вобастагии  $q_{ox} = f(B)$ -ро барои занҷири магнити бо рамзи махсус чамъшуда низ дар асоси таҷриба ҳосил мекунанд, чунки дар ин намуд занҷирҳои магнитӣ тарқиши як қабат бо қабати дигар пӯшонидани мешавад ва аз ин сабаб бузургии индуксияи майдони магнитӣ дар тарқиши ҳавойӣ хурд гардида, дар қабати пӯшонидани бошад меафзояд, бинобар он  $q_{\delta}$  ба

намуди пӯлоди нокили магнитӣ вобастагӣ дорад. Вобастагиҳои  $q_{ox} = f(B)$  ва  $q_{\delta} = f(B)$  дар маълумоти техникӣ маводҳо сабт ёфтаанд.

Дар замимаи 33 чадвали талафи нисбии энергия дар варақаҳои пӯлодии электротехникӣ дар мавриди  $B = 1$  Тл ва  $f = 50$  Гц будан оварда шудаанд.

Азбаски иқтидори реактиви магнитнокгардонӣ дар трансформатор

$$Q_0 = mE I_{op}$$

мебошад, аз ин рӯ

$$I_{op} = \frac{Q_0}{mE} = \frac{q_{ox,d} G_{ox} + q_{ox,t} G_t + nq_{\delta} S_{\delta}}{mE}, \quad (2.11)$$

аст.

Дар ин ҷо  $m$  – теъдоди фазаҳо (адад);

$G_{ox}$  ва  $G_{ю}$  – массаи дилак ва юғи трансформатор (кг);

$q_{ox,d}$  ва  $q_{ox,t}$  - иқтидори нисбӣ барои дилак ва юғи трансформатор (Вт/кг).

Дар мавриди маълум будани вобастагии талафи нисбии энергия  $p = f(B)$  барои пӯлоди истифодашуда дар занҷири магнитӣ, талафи пурраи энергияро дар занҷири магнитӣ бо осонӣ ёфтан мумкин аст (вобастагии  $p = f(B)$  барои ҳар намуди пӯлод дар китобҳои маълумотӣ оварда шудаанд):

$$p_{tm} = p_{ox} G_{ox} + p_{ю} G_{ю}. \quad (2.12)$$

Қисми фаъоли чараёни магнитнокгардониро чунин муайян менамоянд:

$$I_{0a} = \frac{p_{tm}}{mE} = \frac{p_{ox} G_{ox} + p_t G_t}{mE}, \quad (2.13)$$

чараёни пурраи магнитнокгардонӣ ё чараёни кори трансформатори борбастанашуда баробар ба

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2} \quad (2.14)$$

мебошад.

Чараёни  $I_0$  дар трансформаторҳои қуввагӣ нисбатан хурд ва дар ҳоли амали трансформаторҳо бо шиддати номиналӣ он 0,5-4 фисади чараёни номиналиро ташкил медиҳад (қимати калони бузургии  $I_0$  ба трансформаторҳои иқтидораш нисбатан хурди 10-20 кВА рост меояд). Умуман хурд будани чараёни амалии трансформатори борбастанашуда ё чараёни магнитнокгардонӣ чун натиҷаи сарбаста будани занҷири магнитии трансформатор ва хурд гардидани муқовимати магнитии он доништа мешавад.

Аз ин ду усули ҳисоби занҷири магнитӣ дар амал бештар усули дуум мавриди истифода қарор меёбад, чунки дар китобҳои маълумотӣ

қимати нисбии талафи нерӯ барои ҳама намуд пӯлодҳои махсус оварда шудаанд.

## 2.5. Индуктивияти печаҳои трансформатор ва пароканиши майдони магнитӣ

Нуфузпазирии магнитии занҷири магнитӣ ( $\mu$ ) дар трансформаторҳо, ки аз пӯлоди махсус сохта мешаванд, ҳангоми магнитнокгардонӣ дойимӣ нест. Аз ин рӯ бузургии индуктивияти хусусӣ  $L$  ва мутақобилаи печаҳои трансформаторҳо  $M$  низ доимӣ нестанд. Дойимӣ набудани  $\mu$  мавриди васл намудани трансформатор ба манбаи шиддаташ синусоидӣ, ба ғайрисинусоидӣ шудани чараёни магнитнокгардонӣ  $i_0$  меоварад, ки он дар навбати худ ба ҳосил гардидани лаппишҳои дараҷаи болоӣ сабабгор мешавад (чи тавре, ки дар банди 2.1 зикр ёфта буд).

Дар ҳоли амали трансформатор ба чараёни  $i_0$  чараёни борбасти он  $i_0$  зам мегардад, ки назар ба он чараёни  $i_0$ , ва хусусан бузургии чараёни лаппишҳои дараҷаи болоии он хурд мебошанд. Бинобар он, дар таҷрибаи ҳолатҳои кории трансформаторҳо, танҳо лаппиши асосии чараёни магнитнокгардониро ба назар гирифтаву лаппишҳои дараҷаи болоии онро сарфи назар мекунам. Ин имконият медиҳад, ки дар даври тағйироти магнитнокгардонӣ бузургии  $\mu$ ,  $L$  ва  $M$  бояд ҳамчун бузургии дойимӣ қабул карда шаванд.

Таъсири сершавии занҷири магнитиро ҳангоми амали трансформатори борбасткардашуда, барои ҳар қимати амплитудавии сели майдони магнитӣ бо гирифтани қимати дигари дойимии  $\mu$ ,  $L$  ва  $M$  ба назар гирифтани мумкин аст. Мувофиқ ба гуфтаҳои боло, бузургии  $\mu$ ,  $L$  ва  $M$ -ро дар ҳисобу таҷрибаҳо дойими қабул намудан мумкин мебошад.

Индуктивият ва муқовимати индуктивии печаҳо аз ҳисоби сели майдони магнитии асосӣ, ки ҳама хатҳои қуввагии он бо пуррагӣ дар занҷири магнитӣ сарбаста гардидаанд аз ин рӯ бо ҳама печаҳо пайвастагӣ доранд, муҳокима менамоем (расми 1.1).

Бигзор сели майдони магнитии асосӣ  $\Phi_a$  аз ҳисоби чараён дар печай якум  $i_1$ , дар ҳоли  $i_2 = 0$  будан, ҳосил мегардад. Қимати  $\Phi_a$  ва  $i_1$  мумкин пешакӣ маълум карда шавад, масалан тавассути ҳисоби занҷири магнитӣ ё таҷрибавӣ. Дар ин ҳол индуктивияти хусусии печай якум, ки аз ҳисоби тағйироти сели майдони магнитӣ дар дилак пайдо мешавад,

$$L_{x1} = \frac{w_1 \Phi_a}{i_1} \quad (2.15)$$

аст.

Дар ин ҳол 
$$\Phi_a = \frac{F_1}{R_{\mu a}} = \frac{w_1 i_1}{R_{\mu a}}, \quad (2.16)$$

ва баъди гузоштани қимати  $\Phi_a$  ба баробарии (2.15) ифодаи зерин ҳосил мешавад:

$$L_{x1} = \frac{w_1^2}{R_{\mu a}}. \quad (2.17)$$

Қимати  $L_{x1}$  –ро бо муқовимати магнитии дилак ифода намудан мумкин аст

$$R_{\mu a} = \sum_k \frac{\ell_k}{\mu_k S_k}, \quad (2.18)$$

ки дар ин ҷо  $\ell_k$ ,  $S_k$  ва  $\mu_k$  - мувофиқан дарозӣ, масоҳати арзӣ ва нуфузпазирии магнитии ҳар як қисми k-и занҷири магнитӣ дар трансформатор мебошанд.

Қайд кардан ҷоиз аст, ки қимати  $R_{\mu a}$  -ро аз гузаронидани ҳисоби занҷири магнитӣ ва ё аз таҷриба бо ёрии Қонуни Ом барои занҷири магнитӣ (2.16) муайян кардан душвор нест.

Ҳамин тавр, индуктивияти печаи дуҷумро низ аз сели майдони магнитии асосӣ муайян намудан мумкин аст:

$$L_{x2} = \frac{w_2^2}{R_{\mu a}} \quad (2.19)$$

ва инчунин индуктивияти мутақобилаи печаҳои аввала ва дуҷумро, ки аз ҳисоби тағйироти сели майдони магнитии асосӣ ба амал меояд, чунин муайян карда мешавад:

$$M_x = \frac{w_1 w_2}{R_{\mu a}}. \quad (2.20)$$

Сели майдони магнитии пурраи дар занҷири магнитии сарбаста ҳосишуда дойимӣ буда, ба кадоме аз печаҳо ин майдонро ҳосил менамоянд, вобаста намебошад. Бинобар он, муқовимати магнитӣ  $R_{\mu a}$  барои майдони магнитии ҳар ду печа низ якандоза мебошад ва дар ифодаҳои (2.17), (2.19) ва (2.20) қимати онҳо:

$$L_{x2} \frac{w_1^2}{w_2^2} = M_x \frac{w_1}{w_2} = L_{x1} \quad (2.21)$$

мебошад.

Ба ғайр аз сели майдони магнитии асосӣ  $\Phi_a$ , чараёни печаи аввал  $i_1$  инчунин сели майдони магнитии пароканишро- $\Phi_{n1}$  ҳосил менамояд, ки хатҳои қуввагии онҳо қисман бо ҳаво ё рағван ва танаи трансформатор сарбаста мебошанд. Пайвастагии сели майдони магнитӣ бо печаҳои воридотӣ  $\psi_{n1}$  ва содиротӣ  $\psi_{n12}$  мувофиқ ба индуктивияти ҳусусии печаи воридотӣ ва индуктивияти мутақобилаи печаҳои воридотию содиротӣ чунин мебошад:

$$L_{n1} = \frac{\psi_{n1}}{i_1} \quad \text{ва} \quad M_{n12} = \frac{\psi_{n12}}{i_1}.$$

Ҳамин тавр, тавассути ҷараёни печай содиротӣ низ сели майдони магнитии пароканиш  $\Phi_{п2}$  ҳосил мегардад, ки хатҳои қуввагии он қисман бо ҳаво ё равшан ва танай трансформатор сарбаста мебошад. Пайвастагии сели майдони магнитӣ бо печаҳои содиротӣ  $\psi_{п21}$  ва воридотӣ  $\psi_{п2}$  мувофиқан ба индуктивияти хусусии печай содиротӣ ва индуктивияти мутақобили печаҳои содиротию воридотӣ чунин мебошад:

$$L_{п1} = \frac{\psi_{п2}}{i_2} \quad \text{ва} \quad M_{п21} = \frac{\psi_{п21}}{i_2},$$

ки дар ин ҷо

$$M_{п12} = M_{п21} = M_{п}$$

аст.

Майдони магнитии селҳои пароканиш  $\Phi_{п1}$  ва  $\Phi_{п2}$  назар ба майдони магнитии сели асосӣ табиати мураккабтар доранд. Хатҳои магнитии алоҳидаи онҳо бо қисми печаҳо ва миқдоран ҳархелаи печаҳои воридотӣ ва содиротӣ пайвастагӣ доранд. Аз ин рӯ фарқият дар ифодаи (2.16) вучуд дорад ва

$$L_{п2} \frac{w_1^2}{w_2^2} \neq M_{п} \frac{w_1}{w_2} \neq L_{п1} \quad (2.22)$$

мебошад.

Индуктивияти пурраи хусусӣ ва индуктивияти пурраи мутақобилаи печаҳои содиротӣ ва воридотӣ чунин муайян карда мешаванд:

$$L_{11} = L_{x1} + L_{п1}; \quad L_{22} = L_{x2} + L_{п2}; \quad M = M_x + M_{п}. \quad (2.23)$$

Бояд қайд намуд, ки индуктивияти хусусӣ ва мутақобилаи печаҳо, ки аз майдони магнитии асосӣ ҳосил мешаванд, назар ба индуктивияти хусуси ва мутақобилаи аз ҳисоби майдони магнитии пароканиш ҳосилмешуда, якчанд маротиба калон аст.

**Пароканиши электромагнитӣ.** Алоқаи пурраи электромагнитии ду печаҳои пайвастагии индуктивӣ дошта бо воситаи коэффитсиенти алоқаи ин ду занҷир муайян карда мешавад:

$$c = \frac{M}{\sqrt{L_{11}L_{22}}}. \quad (2.24)$$

Аз электротехника маълум аст, ки дар шароитҳои воқеӣ ҳамавақт  $c < 1$  мебошад. Агар дар трансформаторҳо сели майдони магнитии пароканишҳо  $\Phi_{п1}$  ва  $\Phi_{п2}$ , ки қисман бо ҳаво сарбаста шудаанд, ҳосил нагарданд пас  $L_{11} = L_{x1}$ ,  $L_{22} = L_{x2}$ ,  $M = M_x$  ва дар ин маврид мутобиқ ба (2.18), (2.19), (2.20) ва (2.24) баробарии зерин ҷой дорад:

$$c = \frac{M}{\sqrt{L_{11}L_{22}}} = 1$$

Аз ин рӯ, алокаи нопурраи электромагнитӣ дар трансформаторҳо бо нобаробарии  $c < 1$  ифода меёбад ва он нишондиҳандаи ҳосил шудани сели майдони магнитии пароканишҳои  $\Phi_{п1}$  ва  $\Phi_{п2}$  ё саҳеҳтар, нобаробарии алокаи онҳо бо печаҳои ҳамдигарро нишон медиҳад. Шарти  $c = 1$  танҳо дар ҳолати печаҳои ҳар ду ғалтак якҷоя будан, ки ин амалан ғайриимкон мебошад, қобили қабул шуда метавонад.

Ҳодисаи алокаи нопурраи электромагнитӣ (яъне ҳодисаи аз тарафи печаи якум печаи дуюмро пурра бурида нагузаштани сели вектори индуксияи майдони магнитӣ) пароканиши электромагнитӣ номида мешавад.

Ба туфайли ворид намудани коэффитсиенти пароканиши электромагнитӣ мувофиқи мақсад мебошад, аз ин рӯ

$$\sigma = 1 - c^2 = 1 - \frac{M^2}{L_{11}L_{22}} \quad (2.25)$$

сабт кардан равост.

Тазаккур бояд дод, ки ҳар қадар коэффитсиенти алоқа кам гардад коэффитсиенти пароканиши ҳамон миқдор меафзояд. Азбаски пароканиши электромагнитӣ бо сабаби нобаробарӣ ё нопурра буридани сели майдони магнитӣ дар ҳар ду печаҳо ҷой дорад, онро сели майдони магнитии пароканиш низ меноманд, вале ин тарзи номгузорӣ то як дараҷа шартӣ мебошад, чунки селҳои майдонҳои пароканишҳои  $\Phi_{п1}$  ва  $\Phi_{п2}$  дар навбати худ боз сабабгори пайдоиши индуксияи мутақобила низ мешаванд, чунки  $M_{п} \neq 0$  аст.

Дар трансформаторҳое, ки дилакашон аз пӯлоди ферромагнитӣ сохта мешаванд, сели майдони магнитии пароканишҳо  $\Phi_{п1}$  ва  $\Phi_{п2}$  нисбатан кам аст, чунки алокаи электромагнитӣ дар ин трансформаторҳо бисёр баланду пароканиш кам мебошад. Масалан, дар трансформаторҳои қуввагӣ  $c = 0,998 \div 0,9995$  ва мутаносибан  $\sigma = 0,001 \div 0,004$  аст.

Бо сабаби он, ки бузургии  $\sigma$  фарқияти ду адади бисёр хурди ба ҳам наздик мебошад, муайян намудани он аз ифодаи (2.25) ба хатоии зиёд оварда метавонад, чунки  $L_{11}$ ,  $L_{22}$  ва  $M$ -ро дар амал бо саҳеҳии зарурӣ ҳисоб кардан ё аз таҷриба муайян намудан имконнопазир мебошад. Ин водор менамояд, ки дар мавридҳои зарурӣ, аз усулҳои бевосита ёфтани тавсифоти пароканиши электромагнитӣ истифода бурда шавад.

### Саволҳои рейтингӣ

1. Сели майдони магнитӣ дар трансформатор дойимӣ аст ё тағйирёбанда?
2. Сели майдони магнитии пароканиш дар трансформатори қуввагӣ то чанд фоизро ташкил дода метавонад?
3. Барои чӣ дар трансформаторҳо лаппишҳои карати сеюм пайдо мешаванд ва кадом пайвастагиҳо онҳо камтаринанд?
4. Майдони магнитии трансформаторро чӣ тавр ҳисоб мекунанд?
5. Қонуни чараёни пурра чӣ мегӯяд ва онро барои ҳисоби трансформатор чӣ тавр истифода мебаранд?
6. Қонуни Омро барои занҷири магнитӣ нависед ва фаҳмонида диҳед.
7. Занҷири магнитии трансформатор сарбаста бошад ё кушода, фарқияти онҳо дар чист?
8. Усулҳои ҳисоб кардани майдони магнитии трансформаторро номбар кунед ва онро фаҳмонед.
9. Чараёни гашти холии трансформатор ба чӣ баробар аст ва кадом намуд чараён истифода меёбанд?
10. Муқовимати ғаёли печаҳои трансформатор ба чӣ баробаранд, формулаи онро нависед ва фаҳмонида диҳед.
11. Муқовимати индуктивии трансформаторро чӣ тавр муайян кардан мумкин аст?
12. Муқовимати индуктивии байниҳамдигарии печаҳои трансформаторро фаҳмонида диҳед.
13. Пароканиши электромагнитӣ гуфта чиро дар трансформатор меноманд?
14. Бузургии пароканиши электромагнитӣ чӣ тавр муайян карда мешавад.