

## **БОБИ ШАШУМ**

### **6. МАЙДОНИ МАГНИТИИ МОШИНИ ЭЛЕКТРӢ**

Майдони электромагнитии мошинҳои электрикӣ қувваи ҳаракати магнитнокунӣ (ҚҲМ)-и печаҳои статор ва роторро дар ҷӯякҳои ноқили магнитӣ ҷойгиранд. Тақсимои ноқилҳои печаи номунтазам дар ҳаҷми мошинҳо, ғайрихатти будани характеристикаи магнитӣ ва конфигуратсияи мураккаби ноқили магнитӣ, инчунин будани тарқиши ҳавоӣ байни статору ротор, ҳисоби аниқӣ майдони магнитии мошинро амалан номумкин мегардонанд ҳатто дар мавриди истифодабарии дастгоҳҳои ҳисобкунии замонавӣ. Бинобар ин дар мавриди лоиҳакашии мошина истифода бурда мешаванд якчанд ислохотҳои соддакунанда.

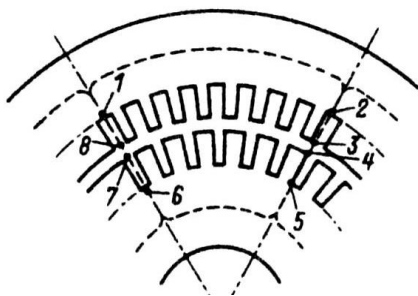
#### **6.1. Самтҳои асосии ҳисоби занҷири магнитӣ**

Майдон дар мошина тақсим мешавад ба майдони асосӣ ва майдони пароканиш. Дар майдони магнитии асосӣ он майдонро меноманд, ки хатҳои магнитии он пайвастанд бо ҳалқаҳои печаи якум ва инчунин бо печаи дуюм. Майдони пароканиш гуфта он майдонро меноманд, ки хатҳои он пайвастанд бо ҳалқаҳои яке аз печаҳо-статор ё ин ки ротор (мутобиқан майдони пароканиши статор ва майдони пароканиши ротор).

Хатҳои магнитии майдони асосӣ сарбастаанд бо ноқили магнитии статор ва ротор ва тарқиши ҳавоиро буррида мегузаранд. Элементҳои ноқили магнитӣ ва тарқиши ҳавоӣ аз кадом қисмҳо майдони магнитии асосӣ мегузарад ҳар як ҷуфти қутбҳои ташкил медиҳанд, занҷири магнитии мошина ном дорад. Ҳисоби занҷири магнитӣ дар муайян намудани ҳосили ҷамъи шиддати магнитии ҳамаи қисмҳои ӯро ташкил медиҳад, мутобиқ ба бузургии сели майдони магнитии муайяншуда мебошад [7].

Дар мошинаи идеалии симметрӣ, сели майдони магнитии ҳар як ҷуфти кутбҳо якхелаанд. Бинобар ин, дар вақти ҳисоб ғайрисимметрӣ будани сели майдони магнитии мошинаи ҳақиқиро безътино ҳисоб мекунанд ва ҳисоби майдони магнитии танҳо як ҷуфт кутбро мегузаронанд. Дар бурриши арнӣ ноқилҳои магнитӣ хатҳои магнитии сели майдони магнитии ҷуфти кутбҳо ҷойгиранд дар китъае, ки қисми  $1/2p$  хамаи бурришро ташкил медиҳанд.

Дар расми 6.1 китъаи бурриши арзии мошина бо тақсимшавии печаҳо дар статор ва ротор оварда шудааст. Дар ин расм бо хатҳои кандашаванда нишон дода шудааст хати миёнаи сели майдони магнитии кутбҳо.



Расми 6.1. Занҷири магнитии мошинаи электрикӣ  
бо печаи тақсимшуда

Бо мақсади содда кардани ҳисоби занҷири магнитии мошина онро тақсим мекунанд ба якчанд қисмҳои ҷойгиршавии пай дар пайи бо самти хатҳои куввагӣ, ҳар кадоме аз инҳо дорои нисбатан конфигуратсияи содда дорад ва иборат аз мавод бо характеристикаи магнитии муайяншуда, мебошанд. Инчунин, фарз менамоем, ки дар қисмҳо самти асосии хатҳои сели майдони магнитӣ муайян мебошанд. Барои мошинаи бо печаи тақсимшуда дар статор ва ротори он, масалан, асинхронӣ, ин гуна қисмҳо метавонанд бошанд: (нигар ба расми 6.1) ҷуғи статор (қисми 1-2), тарафи

дандонаҳои статор (қисми 2-3 ва 1-5) ва дандонаҳои ротор (4-5 ва 6-7), қисми ҳавоӣ (3-4, 11-12) юғи ротор (5-6).

Барои ҳисоби занҷири магнитӣ муодилаи чараёни пурра барои занҷири сарбаста истифода бурда мешавад

$$F_u = \oint H dl \quad (6.1)$$

Интеграл гирифта мешавад нисбат ба контури самти хати сели майдони магнитӣ. Қисми рости баробари мутобиқ ба тақсимкуни ба қисмҳо ба намуди ҳосили чамъ оварда мешаванд.

$$F_u = \sum_{i=1}^n H_i l_i$$

ки дар ин ҷо  $n$  — миқдори қисмҳо, ба кадомҳое тақсим шудааст занҷири магнитӣ;  $l_i$  — дарозии миёнаи хатҳои магнитӣ дар ҳудуди ҳар як қисмҳо;  $H_i$  — бузургии ҳисобии шиддатнокии майдони магнитӣ дар  $i$ -ӯм қисм.

Шиддати магнитӣ дар ҳар як қисмҳои занҷир тахминан муайян карда мешавад, қабул намуда шиддатнокии майдонро дар ҳудуди сарҳади қисмҳо бетағйир ва баробар ба ҳисоби барои қисми додашуда бузургии вай  $H_i$ . Он гоҳ ҳосили чамъи ҚМҲ-и занҷири магнитӣ

$$F_u = \sum_{i=1}^n H_i l_i = \sum_{i=1}^n F_i \quad (6.2)$$

Усули ҳисоби шиддати магнитии қисмҳои гунногуни занҷир дорои хусусиятҳо мебошанд, ин вобастаги ба нисбати андозаҳо, характери тақсимшавии сели майдони магнитӣ, зарурияти ба назар гирифтани таъсири сели майдони магнитии пароканиш ва дигар сабабҳо [7].

Умуман, барои ҳама намуди мошинҳои дидашаванда усули ҳисоби ҳоси қисмҳои занҷири магнитӣ дар поён оварда шудаанд.

## 6.2. Шиддати магнитии қисми ҳавойии мошини асинхронӣ

Дар тарқиши ҳавойии мошинаи электрикӣ индуксияи майдон дойимӣ нест. Дар мавриди тақсимшавии печа он тағйир меёбад бо хатти қач, наздик ба синусоида (расми 6.2, а), ва дар мавриди печаҳои чамъкардашуда дорои шакли наздик ба росткунҷа дорад (расми 6.2, б). Бузургии сели майдони магнитӣ дар тақсимоти қутбҳо баробар аст, ба

$$\Phi = I_{\delta} \int_0^{\tau} B_{\delta x} dx \quad (6.3)$$

ки дар ин ҷо  $I_{\delta}$  — дарозии ҳисобии ноқили магнитӣ;  $B_{\delta x}$  — индуксия дар тарқиш дар нуқтаи  $x$ .

Дар амал ҳисоби мошинаи электрикӣ гузаронидани интеграл ноқулай аст, хусусан ёфтани бузургии ҳисоби ҳақиқии тақсимоти индуксия дар самти қачии тақсимоти қутбҳо бисёр мушкул мебошад. Бинобар ин чори карда мешавад фаҳмиши ҳисобии қачии қутбҳо  $b_{\delta}$ , дар муддати кадоме индуксия дойимӣ қабул карда мешавад. Бузургии  $b_{\delta}$  муайян карда мешавад аз шароити баробарии селҳо дар тарқиши ҳавойӣ дар як дарозии ноқили магнитӣ:

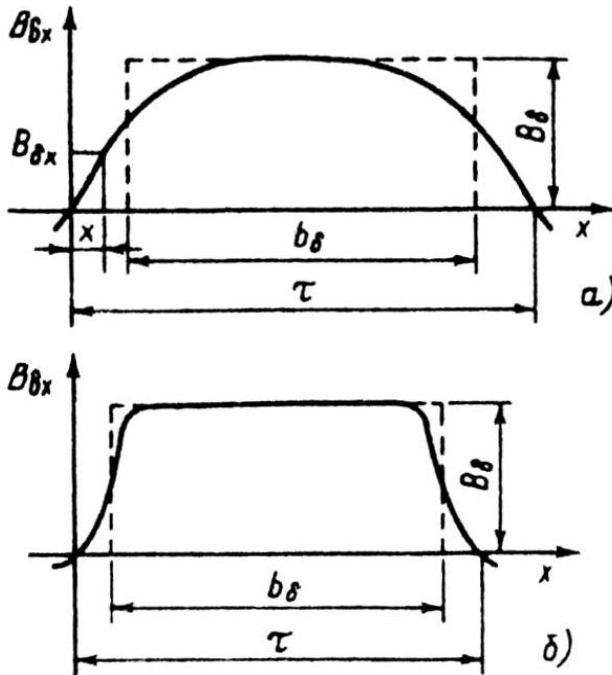
$$B_{\delta} b_{\delta} = \int_0^{\tau} B_{\delta x} dx \quad (6.4)$$

ки дар ин ҷо  $B_{\delta}$  — бузургии максималии индуксия дар тарқиши ҳавойӣ.

Бузургии  $b_{\delta}$  муайян карда мешавад ҳамчун қисми тақсимотии қутби мошина:

$$b_{\delta} = \alpha_{\delta} \tau \quad (6.5)$$

ки дар ин чо  $\alpha_\delta$  — коэффитсиенти пӯшонидани кутбҳо; бузургии он, чи тавре бармеояд аз муайянкунии  $b_\delta$ , вобаста аст аз намуди қачии майдон дар тарқиши ҳавойӣ.



Расми 6.2. Тақсимшафии индуксия дар тарқиши ҳавоӣ дар тақсимоти кутбии мошинаи электрикӣ бо печай тақсимшуда. б — бо печай якҷояшуда (бо ошкоро муайяншудаи кутбҳо)

Дар мавриди синусоидалӣ тағйир ёфтани индуксия дар дарозии тақсимоти кутбҳои мошинаи бекутбӣ

$$\alpha_\delta = 2/\pi \approx 0,64. \quad (6.6)$$

дар мавриди сершавии дандонаҳо хати қачи майдон ғафстар мегардад ва бузургии  $\alpha_\delta$  зиёд мешавад. Дар миёнасёршудаи мошинҳо бузургии  $\alpha_\delta$  дар меъёри 0,7 — 0,74 ҷойгир аст, вале дар мавриди бисёр сершавӣ метавонад зиёдтар аз 0,8 бошад.

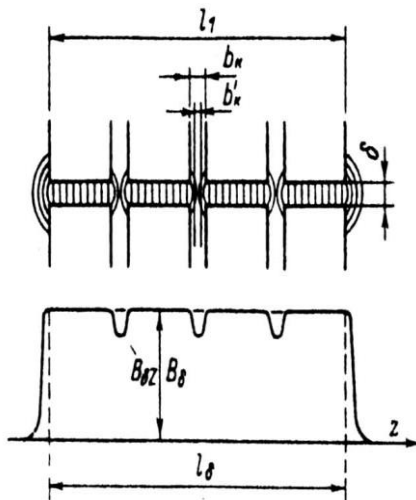
Намуди майдон дар тарқиши ҳавоӣ аз самти тири масоҳати (расми 6.3) нишон медиҳад, ки индуксия дар дарозии ҳавоӣ инчунин якхела нест. Муқобили каналҳои ҳаводиҳанда  $\bar{y}$  метавонад якчанд камтар, нисбат ба қисмҳои ки муқобили пекети дилакҳо ҷойгирад. Ба ғайр аз ин, қисми хатҳои сели майдони аз байни ёнҳои сатҳи дилак сарбаста шудаанд. Ҳамин тавр дар ҳисобҳои истифода меёбанд бузургии доимии  $B_\delta$ . Он гоҳ барои дуруст муайян намудани сели майдони магнитӣ дар тақиши ҳавоӣ ворид карда мешавад фаҳмиши дарозии ҳисобии ноқили магнитӣ  $l_\delta$ , дар мавриди муайян намудани кадоме ба назар гирифта мешавад тақсимшавии номунтазами  $B_\delta$  дар қад-қад тарқиши ҳавоӣ. Дарозии ҳисобиро мумкин аст муайян кардан бо ҳалли аналитики, бо сохтани графикҳо нисбат ба сохти майдон, ё ин ки мутобиқан муайян намудани  $b_\delta$ , яъне шартан

$$B_\delta l_\delta = \int_{-\infty}^{+\infty} B_{\delta z} dz \quad (6.7)$$

Кадоме, муайян менамояд баробарии масоҳати росткунҷаи дарозиаши  $l_\delta$  ва баландиаши  $B_\delta$  ва майдони фигураи хати қач, маҳдудияти хати ҳақиқии тақсимшавии индуксия дар тарқиши ҳавоӣ (нигар ба расми 6.3).

Тадқиқот нишон доданд, ки қисми сели тақсими қутбҳои хатҳои сарбастаанд бо ёни сатҳи дилак, вобаста аст асосан аз тарқиши ҳавоӣ. Дар мошинҳои дорои тарқиши хурд, масалан дар муҳаррикҳои асинхронӣ, ин қисми сели майдони магнитӣ камтарин аст ва дар ҳисоби онҳо ба назар гирифта намешавад. Тадқиқот нишон медиҳанд, ки миқдори сели майдони магнитии тақсими қутбӣ, хатҳои сарбастаанд бо сатҳи юғи дилак, вобастаанд асосан аз тарқиши ҳавоӣ. Дар мошинаҳо, кадоме тарқиши хурд дорад, масалан дар муҳаррикҳои асинхронӣ ин қисм сели майдони магнитӣ камтарин аст ва дар ҳисобҳои он аз назар соқит карда мешавад. Дар мошинаҳои бо тарқиши калонтар зиёдкунии

дарозии ҳисобии тарқиши ҳавоӣ нисбат ба ҳақиқӣ аз ҳисоби ин қисми сели майдони магнитӣ қабул мекунанд баробар ба  $2\delta$  аст.



Расми 6.3. Тақсимшавии индукция дар қабати ҳавоии мошини электрӣ

Ҳамин тариқ, ҳисоби дарозии ноқили магнитӣ дар намуди умум муайян карда мешавад бо формулаи зерин:

$$l_\delta = l_1 - n_k b'_k + 2\delta \quad (6.8)$$

ки дар ин ҷо  $l_1$  – дарозии конструктиви ноқили магнитӣ;  $n_k$  ва  $b'_k$  – мутаносибан миқдор ва бари ҳисобии каналҳои ҳавотияки радиалӣ.

Дар мавриди ҷӯякҳо танҳо дар статор (ё ин ки танҳо дар ротор) будан

$$b'_k = \frac{(b_k / \delta)^2}{5 + b_k / \delta} \quad (6.9)$$

Дар мавриди чўякҳо дар статор ва дар ротор

$$b'_k = \frac{(b_k / \delta)^2}{2,5 + b_k / \delta} \quad (6.10)$$

Чўякҳои ҳавотияки радиалӣ асосан иҷро карда мешаванд бо бари  $b_k = 10$  мм. Дар мошинҳои бо тарқиши ҳавойии хурд ( $\delta \ll b_k$ ) бари ҳисобии чўякҳо баробаранд ба  $b'_k \approx b_k$ .

Дар мошинҳои бо тарқиши ҳавойии калон зазором ( $\delta \gg b_k$ ) бари чўякҳои ҳисоби баробаранд ба  $b'_k \approx 0$ .

Бо назардошти дидани хусусиятҳои хоси тақсимшавии индуксия дар тарқиши ҳавойии мошинаи электрӣ, майдони ҳисобии тақсимои кутбӣ баробаранд:

$$S_\delta = a_\delta \tau l_\delta \quad (6.11)$$

Он гоҳ индуксия дар тарқиши ҳавойии баробар аст ба:

$$B_\delta = \frac{\Phi}{S_\delta} = \frac{\Phi}{a_\delta \tau l_\delta} \quad (6.12)$$

ҚМҲ-и тарқиши ҳавойии байни масоҳатҳои суфта баробаранд ба:

$$F_\delta = \frac{1}{\mu_0} B_\delta \delta \quad (6.13)$$

Дар аксари мошинҳо сатҳи статор ва ротор, ки бо тарқиши ҳавойӣ ҷудо шудаанд, суфта нестанд, ва дорои ҳаргуна носуфтагиҳо мебошанд: чўякҳо, чуқуриҳо барои ҷойгир кардани бандажҳо ва ғайра. Муқовимати магнитии қисмҳои ин гуна тарқишҳо дар бурриши арзӣ ҳархелаанд, бинобар ин тақсимшавии индуксия дар майдони тарқиши ҳавойии нобаробаранд. Калонтарин нобаробарӣ аз сабаби



будани дандонахо дар статор ва ротор пайдо мешавад. Дар болои ғилофаки дандонхо хатҳои магнитӣ ғафстар мешаванд, ва дар болои бурриши чӯякхо зичии хатҳо камтар мешаванд (расми 6.4). Дар хати қачи индуксия дар тарқиши ҳавоӣ пайдо мешаванд фуруравиҳо. Муқовимати магнитӣ ва шиддати магнитии тарқиши ҳавоӣ дар мавриди ғайримунтазам будани индуксия зиёд мешаванд.

Зиёдшавии шиддати магнитӣ ба назар гирифта мешавад бо бор дар натиҷаи ҳисоби майдонҳо дар тарқиш бо ҳаргуна нисбати бари дандона ва чӯяк, нишон медиҳад, чӣ қадар зиёд мегардад шиддати магнитии тарқиш дар мавриди дандонавӣ будани сатҳи статор ё ин ки ротор нисбат ба шиддати магнитии тарқиш байни масоҳатҳои ҳамвор.

Метавонем истифода барем фаҳмиши тарқиши ҳавоӣ ҳисобиро, кадоме баробар аст:

$$\delta' = \delta k_{\delta} \quad (6.13)$$

яъне тарқиши ҳавоӣ мунтазам, кадоме дорои гузаронандагии магнитӣ дорад, баробар ба гузаронандагии магнитии тарқиши ҳавоӣ ҳақиқи. Бо назардошти  $k_{\delta}$  ҚМХ-и тарқиш баробар аст ба:

$$F_{\delta} = \frac{1}{\mu_0} B_{\delta} \delta k_{\delta}. \quad (6.14)$$

Агар як сатҳи тарқиш суфта бошад ва дигаре дандонадор бошад, он гоҳ  $k_{\delta}$  бо саҳеҳии кофи муайян карда мешавад бо формулаи зерин:

$$k_{\delta} = tz / (tz - \gamma_{\delta}), \quad (6.15)$$

ки дар ин ҷо

$$\gamma = \frac{(b_{u1}/\delta)^2}{5 + b_{u1}/\delta}$$

ё ин ки бо формулаи

$$k_{\delta} = \frac{t_z + 10\delta}{t_z - b_{u1} + 10\delta} \quad (6.16)$$

Ишорати бузургиҳо, кадомҳое ба формулаҳо дахл доранд, аз расми 6.4 фаҳмост.

Формулаи (6.15) бештар истифода мешавад. Формулаи (6.16) асосан дар мавриди кушода будани чўякҳо истифода мегардад.

Коэффитсиенти тарқиши ҳавойи алоҳида барои статор ва барои ротор ҳисоб карда мешавад. Дар мавриди аввал фарз карда мешавад, ки сатҳи статор дандонавӣ буда, сатҳи ротор бошад суфта аст. Дар мавриди дигар сатҳи ротор дандонавӣ буда, сатҳи статор суфта мебошад.

Дар формулаҳои ҳисобии (6.14) — (6.16) гузошта мешаванд бузургии  $t_z$  ва  $b_{u1}$ , тавсифкунандаи дандонаҳо, таъсири кадоме ба назар гирифта мешавад бо коэффитсиентҳои  $k_{\delta 1}$  ва  $k_{\delta 2}$ . Инак, барои мошинае, ки дорои дандонаҳо дар статор ва дар ротор мебошанд, ҳисоб карда мешавад:

барои статор

$$\gamma_1 = \frac{(b_{u1}/\delta)^2}{5 + b_{u1}/\delta}; \quad k_{\delta 1} = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \delta} \quad (6.17)$$

барои ротор

$$\gamma_2 = \frac{(b_{u2}/\delta)^2}{5 + b_{u2}/\delta}; \quad k_{\delta 2} = \frac{t_{z2}}{t_{z2} - \gamma_2 \delta} \quad (6.18)$$

ки дар ин ҷо  $t_{z1}$ ,  $b_{ш1}$  ва  $t_{z2}$  ва  $b_{ш2}$  — мутаносибан тақсимоти дандонавӣ ва бари шлитси ҷӯякҳои статор ва ротор.

Бо ҳамин гуна формулаҳо муайян менамоянд дигар коэффитсиентҳои тарқиши ҳавоии нопурраро  $k_{\delta3}$ ,  $k_{\delta4}, \dots$ , кадомҳое ба назар мегиранд таъсири дигар нобаробарии тарқиши ҳавоиро, масалан ҷӯякҳо барои ҷойгир кардани бандажҳо дар якори мошинаи ҷараёни доимӣ.

Коэффитсиенти тарқиши ҳавоии натиҷавӣ баробар ба ҳосили зарби ҳамаи коэффитсиентҳои хусусӣ, кадомҳое ҳисоб карда мешаванд барои статор ва ротор:

$$k_{\delta} = k_{\delta1} k_{\delta2} k_{\delta3} \dots \quad (6.19)$$

Ҳамин тариқ, ҚМҲ-и тарқиши ҳавоии мошинаи электрӣ  $F_{\delta}$ , бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$F_{\delta} = \frac{1}{\mu_0} B_{\delta} \delta k_{\delta}, \quad (6.20)$$

ки дар ин ҷо  $k_{\delta}$  — коэффитсиенти тарқиши ҳавоӣ;  $B_{\delta}$  — индуксия дар тарқиши ҳавоӣ, Тл:

$$B_{\delta} = \Phi / (a_{\delta} \tau l_{\delta}),$$

$\alpha_{\delta}$  — коэффитсиенти пӯшонидани кутб;  $l_{\delta}$  — дарозии ҳисобии ноқили магнитӣ [6].

### 6.3. Шиддати магнитии қисми дандонавӣ

Дар мавриди ҳисоби шиддати магнитии қисми дандонавӣ гузориш менамоем, ки хатҳои баробарии потенциали магнитии қисми дандонавӣ дар бурриши арзии мошина қабул карда мешавад ҳамчун даврае, ки маркази он дар тире давзани ротор ҷойгир аст. Дар ин маврид қабул менамоем, ки шиддати магнитии қисми данодонавии статор  $F_{z1}$  ё ин ки  $F_{z2}$  муайян карда мешавад ҳамчун фарқияти потенциалҳои

магнитии байни масоҳати эквипотенциалӣ (дар бурриши арзӣ-давраҳо), кадомҳое мегузаранд аз таги чӯякҳо ва бо сатҳи сари дандонаҳо.

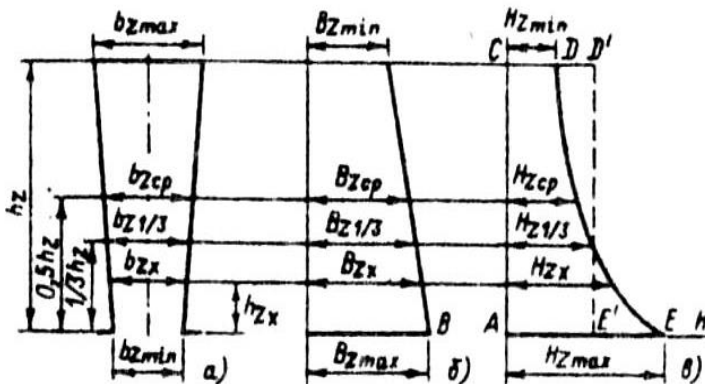
Асосан майдони дар як элементи қисми дандонавӣ-тақсимои дандонавӣ (чӯякӣ)  $t_z = \pi D / Z$  дида мешаванд.

Муқовимати магнитии чӯяк ва дандона дар занҷири магнитии мошина параллелӣ пайвастанд, бинобар ин сели майдони магнитӣ дар тақсимои дандонавӣ байни онҳо мутаносиб ба гузаронандагии трубкаҳои қуввагии магнитӣ, кадомҳое мегузаранд аз дандона ва чӯяк тақсим мешаванд. Чӯякҳо дар мошинаи электрӣ бо нокилҳо ва изолятсияи он, яъне бо маводе, ки гузаронандагии магнитии он якчанд маротиба хурд нисбат гузаронандагии пӯлоди дандона аст, пур мебошанд. Бинобар ин, сели майдони магнитӣ дар чӯяк қисми на он қадар калони сели майдони магнитии умумии тақсимои дандонавиро ташкил мекунад. Ин қисми сели майдони магнитӣ ба таври дигар гӯем “берун кардан” аз дандона ба чӯяк мебошад. Дар мавриди сершудани дандонаҳо  $\bar{u}$  бисёр кам аст ва дар ҳисобҳо вайро аз назар соқит кардан мумкин аст. Дар мавриди зиёдшавии сершавии дандонаҳо қисми сели майдони магнитӣ дар чӯяк зиёд мегардад ва таъсири онро дар шиддати магнитии қисми дандонавӣ  $F_z$  дидан мумкин аст.

Дар аввал дида мебароем ҳисоби шиддати магнитии қисми дандонавиро бе дар назар доштани баровардани қисми сели майдони магнитиро ба чӯяк. Дар ин мавриди қабул намудани фарзия оид ба конфигуратсияи хатҳои эквипотенциалӣ ва дар асоси симметрӣ будани қисми дандонавӣ хатҳои қуввагии магнитӣ мегузаранд аз байни миёнаи асоси дандонаҳо, мувофиқат мекунанд бо бурриши радиусҳо (нигар ба расми 6.1). Бинобар ин,

$$F_z = \int_0^{h_z} H_{zx} dx \quad (6.21)$$

дар ин чо  $H_{zx}$  — шадидияти майдони магнитӣ дар бурриши дандона, мутобиқат мекунад ба масофаи  $h_{zx}$  аз қисми борики он;  $h_z$  — баландии дандона (расми 6.5, а).



Расми 6.5. Барои ҳисоби шиддати магнитии қисми дандонавӣ

Дар мавриди дойимӣ будани бурриши арзии дандона ба ҳисоб мегиранд, ки шадидияти майдон дар вай  $H_z$  низ дойимӣ аст, он гоҳ

$$F_z = H_z h_z \quad (6.21)$$

Дар мавриди тағйирёбанда будани бурриши арзии дандона  $F_z$ -ро метавон чунин муайян намуд: дандоноро дар баландиаш ба  $n$  қисмҳои бисёр хурд бо баландии  $\Delta h$  тақсим намуда дар ҳудуди ҳар кадомҳое тағйирёбии  $H_z$  -ро аз назар соқит мекунанд. Барои ҳар қисмҳо индуксия, шадидияти майдони магнитӣ ва шиддати магнитиро муайян намуда, онҳоро ҳам карда шиддати магнитии дандоноро ҳосил мекунанд.

Сели майдони магнитӣ, аз як тақсимоти дандонавӣ, баробар аст, ба:

$$\Phi_{tz} = B_\delta t_z l_\delta. \quad (6.22)$$

Агар бо  $b_{zx}$  ишорат намоем бари дандонаро дар баландии  $h_{zx}$ , он гоҳ бурриши фаъоли дандона

$$S_{zx} = k_c l_{cm} b_{zx},$$

ки дар ин чо  $k_c$  — коэффитсиенти пуркунии дилак бо пӯлод;  $l_{ct}$  — дарозии ноқили магнитӣ бе каналҳои ҳаводиханда.

Индуксия дар бурриши дидаистодаи дандона (расми 6.5, б)

$$B_{zx} = \frac{\Phi_i z}{S_{zx}} = \frac{B_\delta t_z l_\delta}{k_c l_{ct} b_{zx}} \quad (6.23)$$

Шадиияти майдон муайян карда мешавад барои мутобиқан индуксия, бо хати қачи магнитнокунӣ барои маркаи оҳани интиҳобшуда.

Якчанд ҳамин хел ҳисобҳоро барои ҳар гуна бурриши дандона гузаронида, метавон барои сели майдони магнитии  $\Phi_{Lz}$  хати қачи тақсмоти шадиияти майдонро дар баландии дандона сохт (расми 6.5, в). Сатҳи, бо ин хати қач ихоташударо  $S_{ACDE}$ , дар андозаи шиддати магнитии дандона муайян кардан мумкин аст:

$$F_z = \int_0^{h_z} H_x dx$$

Дандонаҳо дар мошинаи электрӣ метавонанд дорои конфигурацияи мураккаб бошанд, бинобар ин ин гуна ҳисобҳоро дар мошинҳои ҳисоббарор иҷро кардан мумкин аст.

Дар ҳисоби амалӣ, ҳалли тақрибӣ истифода бурда мешавад, вақте ки  $F_z$  муайян шудааст бо формулаи (6.21). Барои як шадиияти ҳисобии миёна  $H_z$  ва баландии дандонаи ҳисоби  $h_z$ , аниқ аст

$$\int_0^{h_z} H_x dx = H_z h_z = F_z.$$

Дар мавриди мунтазам тағйирёбии бурриши арзии дандонаҳо, шадидияти ҳисобиро бисёр дуруст муайян кардан мумкин аст бо формулаи

$$H_z = \frac{1}{6} (H_{zmax} + 4H_{zcp} + H_{zmin}). \quad (6.24)$$

Дар ин ҷо  $H_{zmax}$ ,  $H_{zmin}$  и  $H_{zcp}$  — шадидияти майдон дар бурриши арзии дандона, муайян карда мешаванд нисбат ба индуксия дар ҳама кӯтоҳтарин  $S_{zmin}$ , аз ҳама васеътарин  $S_{zmax}$  ва дар баланидии миёнаи бурриши арзии дандона  $S_{zcp}$  бо формулаҳои зерин:

$$\begin{aligned} B_{Zmax} &= \frac{\Phi_{tZ}}{S_{Zmin}} = B_{\delta} \frac{t_z l_{\delta}}{b_{Zmin} l_{CT} K_C}; \\ B_{Zmin} &= \frac{\Phi_{tZ}}{S_{Zmax}} = B_{Zmax} \frac{b_{Zmin}}{b_{Zmax}}; \\ B_{Zcp} &= \frac{\Phi_{tZ}}{S_{Zcp}} = \frac{B_{Zmax} + B_{Zmin}}{2}; \end{aligned} \quad (4.25)$$

ки дар ин ҷо  $b_{zmin}$ ,  $b_{zmax}$  - калонтарин ва хурдтарин бари дандона (нигар ба расми 4.5).

Дар мавриди ҷўякҳо чоркунҷашакл будан ва  $V_{zmax} \leq 2,0$  Тл истифода мешавад. Усули ҳисоби  $F_z$  бо бузургии шадидияти  $H_{z1/3}$ , муайян карда мешавад нисбат ба индуксия дар бурриши баробар ба 1/3-и баландии дандона аз қисми тангтарини он (нигар ба расми 6.5):

$$F_z = H_{z1/3} h_z, \quad (6.26)$$

Хубтарин мувофиқат бо ҳисоби аниққардашуда дар мавриди камтарин фарқияти калонтарин ва хурдтарини бурриши дандонаҳо мебошад. Дар ин маврид масоҳати росткунҷаи ACDE бо тарафҳои  $H_{z1/3}$  ва  $h_z$  баробар калон аз масоҳати фигураи ACDE мебошад. (нигар ба расми 6.5, в).

Дар мавридҳои алоҳида, бештар аниқтар дар вақти фарқияти калон доштани  $b_{z\max}$  ва  $b_{z\min}$  ва калонтарин сершавӣ ҳисоб гузаронида мешавад. Дандона тақсим мешавад бо баландиаш ба ду қисм, ва барои ҳар қисм ва барои ҳар як қисме аз онҳо муайян карда мешавад шадидияти миёнаи майдон усули муайяншуда. Дар ин ҳолат бурриши ҳисоби гирифта мешавад дар баландии

$$\frac{1}{3} \frac{h_z}{2} \approx 0,2 h_z \quad \text{ва} \quad \frac{1}{3} \frac{h_z}{2} + \frac{h_z}{2} = \frac{2}{3} h_z \approx 0,7 h_z$$

аз ҳама бурриши борики дандона.

Дар мавриди ҳисоби шиддати магнитии дандонаҳо бо тез тағйирёбӣ бо баландии бурриш, масалан дандонаҳои дукатакдори ротори муҳаррики асинхронӣ ва ротори сарбаста бо чӯякҳои фигуравӣ, дандонаҳо низ тақсим мешаванд дар баланди ба ду қисми бо мунтазам тағйирёбии масоҳат, дар ин маврид шиддати магнитии дандонаҳо баробар ба ҳосили ҷамъи шиддати магнитии қисмҳо.

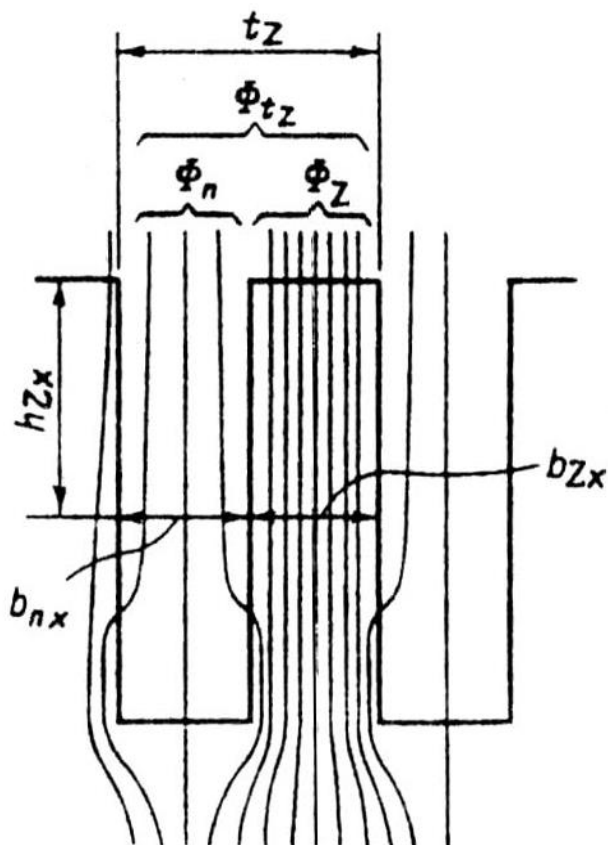
Таъсири хусусии тағйирёбии бурриши дандона ба тағйирёбии шиддати магнитӣ, қисмҳои нисбат ба баланди (чуқурӣ дар деворҳои чӯякҳо барои маҳкам кардани фонаи чӯякӣ, васеъ кардан дар коронкаи дандонаҳо ва ҳамин тарик), дар амал ҳисоб намудан, асосан ба назар гирифта намешавад.

Дар қисми дандонавии сершуда қисме аз сели майдони магнитӣ дар чӯяк зиёд мегардад. Онро метавон, бе ҳисоби пурраи майдон дар тақсимоти дандонавӣ, бо тарзи зерин ба назар гирифт.

Ишорат мекунем сели майдони магнитиро дар дандона бо  $\Phi_z$  ва сели майдони магнитиро дар чӯяк  $\Phi_n$  (расми 6.6), он гоҳ сели майдони магнитӣ дар тақсимоти дандонавӣ дар баландии дандона  $h_{zx}$  баробар мегардад ба

$$\Phi_{Iz} = \Phi_{zx} + \Phi_{nx} \quad (6.27)$$





Расми 6.6. Сели майдони магнитӣ дар тақсимоти дандонавӣ дар мавриди сершавии пӯлоди дандонаҳо

Тақсим карда (6.27)-ро ба  $S_{zx}$  ва қисми дуёми тарафи рости чамъшавандаро ба  $S_{nx} = b_{nx} l_{\delta}$  тақсим намуда ҳосил менамоем

$$\frac{\Phi_{tz}}{S_{zx}} = \frac{\Phi_{zx}}{S_{zx}} + \frac{\Phi_{nx}}{S_{zx}} \frac{S_{nx}}{S_{nx}} \quad (6.28)$$

ё ин ки

$$B'_{zx} = B_{zx} + B_{nx} \frac{S_{nx}}{S_{zx}} \quad (6.29)$$

ки дар ин чо  $B'_{zx}$  — индуксияи ҳисоби, муайян мешавад бо сели майдони магнитии пурра дар масоҳати дандона  $S_{zx}$  дар тахмин кардани, он ки сели майдони магнитӣ дар чӯякҳо мавҷуд нестанд;  $b_{zx}$  — индуксияи ҳақиқӣ дар бурриши дандона  $S_{zx}$ , яъне индуксия, муайян шудааст бо назардошти он ки қисми сели майдони магнитӣ аз дандона ба чӯяк бароварда мешавад;  $B_{nx}$  — индуксия дар бурриши чӯяк  $S_{nx}$ , ҳосил мешавад аз ҳисоби баровардани қисми сели майдони магнитӣ ба чӯяк.

Аз сабаи он, ки чӯяк пур аст аз маводи бо гузаронандагии магнитии  $\mu_0$  (дойимии магнитӣ), он гоҳ

$$B_{nx} = \mu_0 H_{nx}. \quad (6.30)$$

Дар асоси қабулшудаи ислоҳот оид ба конфигурацияи хатҳои эквипотенсиалӣ дар қисми дандонавӣ ва дар чӯяк дар як баландии  $h_{zx}$  бояд яххела бошанд, яъне

$$H_{nx} = H_{zx}.$$

Он гоҳ аз (6.29) ва (6.30) ҳосил мекунем

$$B'_{zx} = B_{zx} + \mu_0 H_{zx} \frac{S_{nx}}{S_{zx}} \quad (6.31)$$

ё ин ки

$$B'_{zx} = B_{zx} + \mu_0 H_{zx} k_{nx}, \quad (6.32)$$

ки дар ин чо  $k_{nx}$  — коэффициент, кадоме ҳамчун нисбати масоҳатҳои арзии бурриши чӯяк ва дандона дар баландии  $h_{zx}$  муайян карда мешавад:

$$k_{\text{пк}} = \frac{S_{\text{пк}}}{S_{\text{зх}}} = \frac{b_{\text{пк}} l_{\delta}}{b_{\text{зх}} l_{\text{СТ}} k_c} \quad (6.33)$$

Дар мошинҳои нормали иҷрошуда  $k_{\text{п}}$  барои ҳаргуна баландии дандона бурриш асосан дар ҳудуди  $k_{\text{п}} = 0,5 - 2,0$  муайян карда мешавад.

Барои муайян намудани индуксияи ҳақиқи дар ҳар бурриши дандона дар аввал муайян карда мешавад бузургии индуксияи ҳисобӣ нисбат ба сели майдони магнитии пурраи тақсимои дандонавӣ:

$$B'_{\text{зх}} = \frac{\Phi_t}{S_{\text{зх}}} = \frac{B_{\delta} l_{\delta} t}{k_c l_{\text{СТ}} b_{\text{зх}}} \quad (6.34)$$

Баъди ин, бузургии  $b_{\text{зх}}$ -ро каме камтар гузошта, нисбат ба  $B'_{\text{зх}}$  интиҳоб карда меёбанд бузургии индуксияи ҳақиқиро  $B_{\text{зх}}$  ва мутаносибан ба вай бузургии  $H_{\text{зх}}$ , дар кадомҳое баробари мувофиқат мекунад ба (6.32). Барои сабук кардани ҳисоб дар эзоҳи 2 оварда шудаанд хатҳои қач, кадоме имкон медиҳад муайян намудани  $h_{\text{зх}}$  бевосита бо индуксияи ҳисоби  $b'_{\text{зх}}$  бо назардошти бузургии қайдкардашудаи коэффитсиенти  $k_{\text{п}}$ .

Баъди ин, бузургии  $b_{\text{зх}}$ -ро каме хурдтар дода нисбат ба  $B'_{\text{зх}}$ , интиҳоб карда муайян мекунанд индуксияи ҳақиқиро  $B_{\text{зх}}$  ва мутаносиб ба вай бузургии  $H_{\text{зх}}$ , дар кадомиҳо қонё кардани баробарии (6.32) барои осон кардани ҳисоб дар эзоҳи 2 оварда шудаанд хатҳои қач, кадомҳое имконият медиҳанд муайян кардани  $h_{\text{зх}}$  бевосита бо бузургии индуксияи ҳисоби  $b'_{\text{зх}}$  бо дарназардошти бузургии қимати коэффитсиенти  $k_{\text{п}}$  мутаваҷҷеҳ шудан.

Бузургии рақами  $k_{\text{п}}$  ва  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м дар (6.32) имконият медиҳад оиди бузургии индуксия фикррони намоем. Бояд ба назар гирифта шавад ҷудокунии сели майдони магнитӣ дар ҷӯяк. Барои ҳама пӯлодҳои электротехникии замонави дар индуксияи  $B_z \leq 1,8$  Тл

шадидияти майдони магнитӣ калон нест аз  $H \leq 16000$  А/м, бинобар ин дар ин маврид сатҳи сершавии индуксияи ҳақиқи дар дандонаҳо камтар мегардад нисбат ба ҳисобӣ, танҳо ба на 2—3 % ҳатто дар мавриди бузургии калони  $k_p$ , бинобар ин дар ҳисобҳо ин тағйирёбиро метавон аз назар соқит намудан.

Дар мавриди индуксия  $B_z \geq 1,8$  Тл будан ҳисобро бояд гузаронид бо назардошти ҷудошавии сели майдони магнитӣ дар ҷӯякҳо. Ҳақиқатан, савол оиди ин гуна ҳисобро ба назар гирифтани дар мавриди муайян намудани индуксия дар ҳар як ҳисоби бурриши дандона дар алоҳидаги гузаронида шавад [6].

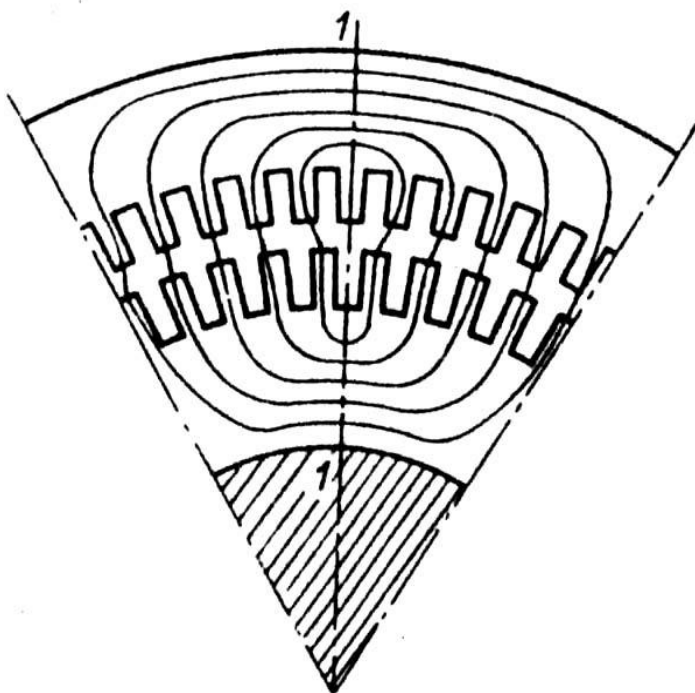
#### **6.4. Шиддати магнитии юғи статор ва ротор**

Тақсимшавии сели майдони магнитӣ дар юғҳои статор ва ротор аз конструкцияи мошинаҳо, нисбати андозаҳои ноқили магнитӣ ва сатҳи сершавии пӯлод вобаста аст. Бузургии сели майдони магнитӣ дар ҳаргуна бурриши арзӣ дар самти хати миёнаи юғ ғайридоимӣ мебошад. Дар мавриди печаҳо тақсимшуда будан, масалан, дар мошинҳои асинхронӣ, сели майдони магнитии калонтарин дар юғҳои статор ва ротор ҷойдоранд, дар бурриши 1—1 (расми 6.7). Чунки дар ин қисми юғ сели майдони магнитии дандонаҳои, кадомҳое дар нисфи тақсимои қутби ҷойгирбуда, чамъ карда мешаванд.

Дар ҳисобҳои амалӣ асосан қачии ноқили магнитиро аз назар соқит намоянд, яъне дида мебароянд бурриши арзии юғро ҳамчун росткунҷа бо дарозии баробар ба дарозии миёнаи хатҳои қуввагии сели майдони магнитӣ дар юғ.

Нобаробарии тақсимои сели майдони магнитиро дар бурриши арзии юғ ба назар гирифта мешавад, ё барои ҳисоб истифода бурда мешавад хатҳои қачи махсуси магнитноккуниро кадомҳое сохта шудаанд барои пӯлоди юғи мошинаи бо печаҳои тақсимшуда, ё ин ки бо ворид кардан дар ҳисоби формулаҳо коэффитсиенти  $\xi$ -ро [6].

Хисоб гузаронида мешавад нисбат ба индуксия дар миёнаи бурриши арзии юғ. Формулаҳои ҳисобӣ барои муайян намудани қувваи магнитноккунии юғ вобаста аст аз хусусиятҳои конструксияи мошина ва оварда шудаанд дар бобҳои ин китобе, ки дар он масъалаҳои лоиҳакашии мошина дида баромада мешаванд. Дар он ҷой усулҳои ба назар гирифтани ҷудошавии сели майдони магнитии юғи ротор аз наварди мошина дар мавриди шинонидани дилаки ротор бевосита ба навард бе втулка гузаронида мешавад.



Расми 6.7. Хатҳои қуввагии сели майдони магнитӣ дар ноқили магнитии мошини электрии бо печай тақсимшуда

## 6.5. Хarakterистикаи гашти холӣ

Дар ҳисоби мошини электрӣ бояд муайян карда шавад хarakterистикаи гашти холӣ, яъне вобастагии ҚЭХ дар печаҳои он аз қувваи магнитноккунӣ ё ин ки аз чараёни печай ангезонанда:  $E = f(F_B)$ .

Дар муҳаррикҳои асинхронӣ чараёне, ки қувваи магнитноккунӣ ангезонандаро (чараёни магнитноккунӣ), аз манбаи чараён гирифта мешаванд. Он инчунин вобаста аст аз ҚМ-и занҷири магнитӣ, вале дар доимӣ будани ҚЭХ-и печай статор чараёни магнитноккунӣ тағйир намеёбад. Бинобар ин, барои муайян намудани  $I_\mu$  кифоя мебошад ҳисоби ҚМ-и занҷири магнитиро барои як бузургии сели магнитӣ, ки мутобиқат менамояд ба речаи гашти холи дар мошина, муайян намоем.

Усулҳои ҳисоби ҚМ ва хarakterистикаи гашти холи оварда шудаанд дар бобҳои алоҳидаи китобе, ки ба лоихакашии мошинҳои гунногун бахшида шудаанд.

## 6.6. Таъсири борбаст ба майдони мошина

Дар ҳисоб бояд ба назар гирифта шаванд инчунин тағйирёбии ҚЭХ-и печаҳо дар мавриди борбаст намудани мошина нисбат ба речаи гашти холӣ, кадоме аз сабаби афтиши шиддат дар муқовимати дохила аз сабаби зиёдшавии чараён пайдо мешаванд.

Дар муҳаррикҳои асинхронӣ сели майдони магнитӣ ба вучуд оварда мешавад бо воситаи чараёни статор, кадоме муайян карда мешавад бо муқовимати занҷири магнитӣ ва ҚЭХ-и печаҳо. Дар ҳисобҳо тақрибан қабул карда мешавад, ки тағйирёбии чараёни магнитноккунӣ дар мавриди ҳаргуна будани борбаст сабабгори танҳо аз тағйирёбии ҚЭХ, вобаста аст бо афтиши шиддат дар муқовимати печай статор. Дар ҳар гуна намуди мошинаҳо амали якор ҳархела мебошад. ҚЭХ-а дар мавриди гузариш аз речаи гашти холи ба речаи

борбасти номиналӣ ба намуди просентҳо кам тағйир меёбад, бинобар ин речаи номиналии муҳаррики асинхронӣ бисёр вақт ҳисоб карда мешаванд бо бузургии занҷири магнитӣ, кадоме муайян карда шудааст дар речаи гашти холӣ. Дар мавриди бо саҳеҳии баланд ҳисоб намудан қабул карда мешавад, ки чараёни магнитнокунӣ тағйир меёбанд вобаста ба ҚЭХ. Чунин амал менамоянд дар ҳисоби характеристикаҳои бакордарорӣ ва дар он мавридҳои кадом вақт зиёдшавии афтиши шиддат дар муқовимати печайи статор дар мавриди гузаштан аз речаи гашти холӣ ба речаи борбасти номиналӣ таъсири муайян мерасонад ба ҚЭХ. Дар машинаҳои асинхронӣ сели майдони магнитӣ ба вучуд меояд аз ҳисоби чараёни магнитноккунии статор, муайян карда мешавад бо муқовимати занҷири магнитӣ ва ҚЭХ-и печаҳо. Дар ҳисобҳо қабул карда мешавад, ки тағйирёбии чараёни магнитноккунӣ дар мавриди ҳаргуна борбаст ба вучуд меояд танҳо аз ҳисоби тағйирёбии ҚЭХ, кадоме вобаста аст ба афтиши шиддат дар муқовимати печайи статор. ҚЭХ дар гузариш аз речаи гашти холи бо речаи борбасти номиналӣ дар намуди фисатҳо кам тағйир меёбад, бинобар ин речаи кории номиналии муҳаррики асинхронӣ бештар ҳисоб карда мешавад бо бузургиҳои занҷири магнитӣ, кадоме муайян карда мешавад аз речаи гашти холи.

Ҳамин тавр, иҷро менамоянд дар мавриди ҳисоби характеристикаҳои бакордарорӣ ва дар он маврид, ки зиёдшавии афтиши шиддат дар муқовимати печайи статор, дар мавриди гузаштан аз речаи гашти холӣ ба речаи борбасти номиналӣ, хеле таъсир мекунад ба ҚЭХ.

### Саволҳои санҷишӣ

1. Барои ҳисоби майдони электромагнитӣ мошинаи асинхрониро ба чанд қисм тақсим кардан мумкин мебошад?
2. Сели майдони магнитӣ сарбаста аст ва ё кушода?
3. Қонуни Омро барои майдони магнитӣ нависед ва онро фаҳмонида диҳед.
4. Барои чӣ тарқиши ҳавоӣ дар мошинаи асинхронӣ бисёр кам аст ва бузургии он чанд буда метавонад?
5. Ҳаракати даврзанандаи ротор аз кадом ҳисоб ҳосил мешавад, қонуни Омро барои қитъаи зарҷири магнитӣ нависед ва онро фаҳмонида диҳед?
6. Хатҳои қувваи майдони магнитӣ чи тавр сарбаста мешаванд ва онҳо дар печаҳои статор чи намудро доранд?
7. Сели майдони пароканиш чист ва он дар кадом қисми мошина пайдо мешаванд?
8. Шиддати магнитӣ чи маъно дорад ва он чи тавр муайян карда мешавад?
9. Барои чи барои дилак маводҳои ферромагнитӣ истифода бурда мешаванд?
10. Талафи сели майдони магнитӣ дар мошинаи асинхронӣ пайдо мешаванд ё ки не?
11. Хусусиятҳои моддаҳои ферромагнитиро шарҳ диҳед.
12. Кадом қисми ҷӯякҳои статори мошинаи асинхронӣ бештар гарм мешаванд ва барои чӣ?