



**Х.З. Темирханова, О.Б. Сабитбек**

## **ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫ**

**Костанай, 2022**



А. Айтмұхамбетов атындағы инженерлік-техникалық институты

Электрэнергетика кафедрасы

**Х.З. Темирханова, О.Б. Сабитбек**

# **ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫ**

Оқу құралы

Қостанай, 2022

**ӘОЖ 621.31(075.8)**  
**ББК 31.26я73**

**Авторлар:**

Темирханова Хадиша Запиевна – А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университетінің, А. Айтмұхамбетов атындағы инженерлік-техникалық институтының электр энергетика кафедрасының аға оқытушысы  
 Сабитбек Олжас Батырбекулы – М.Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университетінің, инженерлік-технологиялық факультетінің, энергетика және машина жасау кафедрасының аға оқытушысы

**Рецензенттер:**

Курманов Аяп Конлямжанович – т.ғ.д., А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университетінің, машина жасау кафедрасының қауымдастырылған профессор  
 Салыков Болат Рахимжанович – т.ғ.к., А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университетінің, машина, трактор және автокөлік кафедрасының қауымдастырылған профессор  
 Есимханов Саят Бакитович – т.ғ.к., Академик Зұлқарнай Алдамжар атындағы Қостанай әлеуметтік-техникалық университетінің доценті

Темирханова Х.З, Сабитбек О.Б.

Т 33 Электр машиналары. Оқу құралы. Қостанай: А. Байтұрсынов атындағы ҚӨУ, 2022.- 95 бет.

ISBN 978-601-356-132-5

Оқу құралы электр машиналары пәнінің оқу жұмыс бағдарламасына сәйкес келеді. Оқу құралында «Электр машиналары» пәнінің барлық тақырыптары бойынша тапсырмалар мен оларды шешу мысалдары келтірілген. Тапсырмалар он немесе одан да көп нұсқада ұсынылған, бұл оларды бақылау жұмыстары мен үй тапсырмаларын орындау кезінде қолдануды жеңілдетеді. Әр тапсырмада нұсқалардың бірінің толық шешімі берілген. Оқу құралында студенттердің өзіндік жұмысына қажетті анықтамалық материалдар бар.

Оқу құралы электроэнергетика мамандығы бойынша оқитын білім алушыларына арналған.

**ББК 31.26я73**

Т 33

А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеттің оқу-әдістемелік кеңесімен бекітілген және баспаға ұсынылды 30.03.2022 ж. хаттама № 2

ISBN 978-601-356-132-5

© А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университет

## Мазмұны

<b>Кіріспе .....</b>	<b>6</b>
<b>Тақырып 1 Трансформатордағы электромагниттік үрдістер... ..</b>	<b>7</b>
1.1 Трансформаторларының арналымы және пайдалану саласы.....	7
1.2 Трансформатордың номинал режимде параметрлерін есептеу.....	8
1.3 Трансформатордың номинал емес режимде параметрлерін есептеу.....	10
1.4 Трансформатордың активті, бос жүріс, қысқа тұйықталу режимде параметрлерін есептеу.....	11
1.5 Автотрансформаторлар.....	20
1.6 Шешімдері бар мысалдар.....	22
1.7 Өздігінен шешуге арналған есептер.....	27
1.8 Жеке тапсырмалар.....	29
1.9 Бақылау сұрақтары.....	33
<b>Тақырып 2 Асинхронды машинаның әр түрлі жұмыс режимдегі электромагниттік үрдістер.....</b>	<b>35</b>
2.1 Теориялық түсініктеме.....	35
2.2 Асинхронды машинаның электр параметрлерді тәжірибе жүзінде анықтау.....	37
2.3 Ротордың электр қозғаушы күші мен тоғының теңдеулері.....	40
2.4 Асинхрондық қозғалтқыштың электр желісінен тұтынатын активтік қуаты.....	42
2.5 Шешімдері бар мысалдар.....	46
2.6 Өздігінен шешуге арналған есептер.....	51
2.7 Жеке тапсырмалар.....	54
2.8 Бақылау сұрақтары.....	59
<b>Тақырып 3 Синхронды машинаның әр түрлі жұмыс режимдегі электромагниттік үрдістер.....</b>	<b>61</b>
3.1 Қысқаша мәліметтер .....	61
3.2 Синхронды машинасының электр параметрлерін анықтау.....	62
3.3 Шешімдері бар мысалдар.....	64
3.4 Өздігінен шешуге арналған есептер.....	68
3.5 Жеке тапсырмалар.....	69
3.6 Бақылау сұрақтары.....	73
<b>Тақырып 4 Тұрақты ток машинаның электромагниттік үрдістер.....</b>	<b>75</b>
4.1 Тұрақты ток қозғалтқыштар таралы теоретикалық мәліметтер.....	75
4.2 Тұрақты ток электрлік қозғалтқыштарын желіге қосу сызбалары.....	76
4.3 Шешімдері бар мысалдар.....	82
4.4 Өздігінен шешуге арналған есептер.....	87
4.5 Жеке тапсырмалар.....	88
4.6 Бақылау сұрақтары.....	94
<b>Пайдаланған әдебиеттер тізімі.....</b>	<b>95</b>

## Кіріспе

Қазақстан Республикасының әлеуметтік - экономикалық бағдарламаны табысты орындау үшін электрлендіру және электр энергияны қолдануының тиімділігі және дамуы қажет. Электрлік емес энергия түрлерін электрлік энергия арқылы қолдану. Жаңғырмалы энергия көздерін қолдануы - кәсіптің тиімділігін көтеру, өндірістік үрдістерді автоматтандыру, еңбек жағдайын жақсарту.

Ғылыми-техникалық даму жағдайында өндірілетін электр машиналары мен трансформаторлардың сапасын арттыруға байланысты жұмыстар үлкен маңызға ие болады. Қазіргі әлемде электр машиналары электр станцияларында, өндірісте, транспортта, авиацияда, автоматты басқару және реттеу жүйелерінде тұрмыста кеңінен қолданылады.

Электрлік машиналарын жобалау, есептеу кезінде келесі мәселелер қарастырылуы қажет:

- технологиялық және инженерлік жабдықтардың жүйесіне негізделіп жасалған жаңа технологияларды қолдану;
- материалдар мен шикізаттарды үлемді пайдалану;
- инженерлік коммуникациялардың үнемді пайдалана алуы және оған жобалынатын объектіні сәйкестелдіру;
- жерді үнемді пайдалану, экологияны бүлдірмеу;
- өндірістің басқарылуын және ұйымдастырылуын дұрыс орындау;
- қабылдалатын техникалық есептердің оптималды болуы;
- жарылыс - өрттің болмауын, қауіпсіз құрылысты қамтамасыз ету;
- объектінің даму перспективасы (7-10 жыл);
- типтік жобаларды пайдалану.

Электротехникалық қондырғыларды экономикалық тиімді пайдаланып және олармен қауіпсіз жұмыс істеу тәртібін қамтамасыз болу, зертеу, жобалау жұмыстарында және электр машиналарды пайдалу кезінде әр түрлі есептерді шешу үшін ғылыми-техникалық мәліметтерді оқып, пайдалана білу.

Пәнді оқу процесінде мәселелерді дербес шешу үшін теориялық материалды тереңірек игерудің тиімді құралы екені белгілі. Осыған сүйене отырып, оқу құралында курстың бөлімдері бойынша дербес шешуге арналған тапсырмалар бар. Бұл тапсырмаларды студенттерге үй тапсырмасы ретінде де, оқу жоспарларында қарастырылған міндетті бақылау жұмыстарын орындау кезінде де қолдануға болады.

## Тақырып 1 Трансформатордағы электрмагниттік үрдістер

**Мақсаты:** Трансформатордың әр түрлі жұмыс кезіндегі параметрлерді тәжірибе жүзінде анықтау

**Жоспар:**

- 1.1 Трансформаторларының арналымы және пайдалану саласы
- 1.2 Трансформатордың номинал режимде параметрлерін есептеу
- 1.3 Трансформатордың номинал емес режимде параметрлерін есептеу
- 1.4 Трансформатордың активті, бос жүріс, қысқа тұйықталу режимде параметрлерін есептеу
- 1.5 Шешімдері бар мысалдар
- 1.6 Өздігінен шешуге арналған есептер
- 1.7 Жеке тапсырмалар
- 1.8 Бақылау сұрақтары

### 1.1 Трансформаторларының арналымы және пайдалану саласы

Трансформатор электр машинасы емес, өйткені оның жұмысы электр энергиясын механикалық және керісінше түрлендірумен байланысты емес; ол тек электр энергиясының кернеуін түрлендіреді. Сонымен қатар, трансформатор - бұл статикалық құрылғы және оның қозғалмалы бөліктері жоқ. Бірақ, трансформаторларда жүретін электромагниттік процестер электр машиналары жұмыс істеген кездегі процестерге ұқсас. Сонымен қатар, электр машиналары мен трансформаторлар магнит өрісі мен өткізгіштің токпен әрекеттесуі кезінде пайда болатын электромагниттік және энергетикалық процестердің бірыңғай сипатына ие.

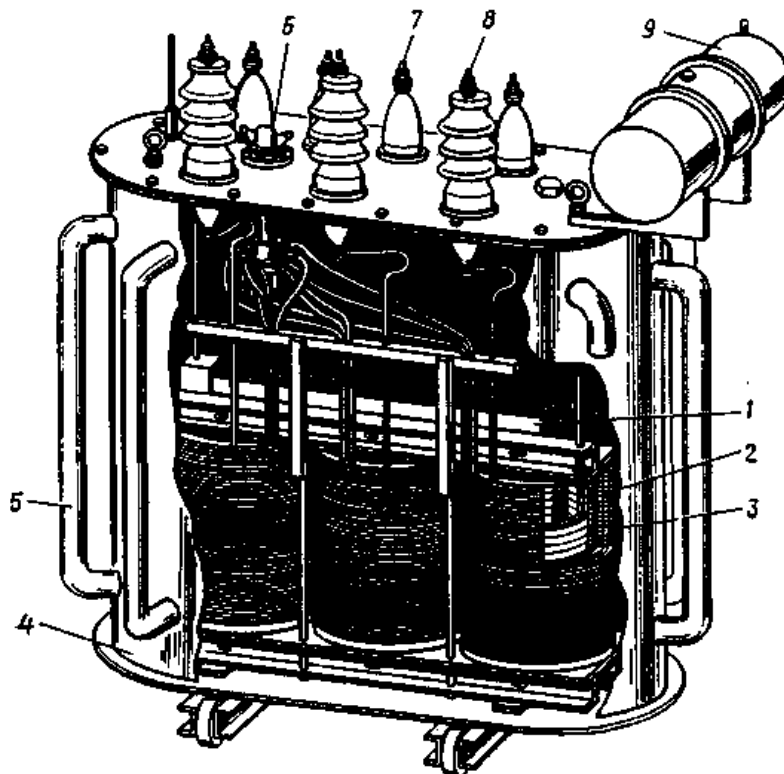
Трансформатор бұл айнымалы ток аппараты. Егер кірмелік орамалар тұрақты ток көзіне қосылса, онда трансформатордың магниттік тізбегіндегі магниттік ағыны мәні және бағыты бойынша тұрақты болады, трансформатор орамаларында ЭҚК тудырмайды, сондықтан кірмелік тізбектегі электр энергиясы шықпалық тізбекке энергияға берілмейді.

Трансформаторлар электр энергиясын беру және тарату жүйелерінде кеңінен қолданылады. Электр энергиясын жоғары кернеуде (500 кв және одан жоғары) алыс қашықтықтарға беру жүзеге асырылатыны белгілі, соның арқасында электр жеткізу желісіндегі электр шығындары айтарлықтай азаяды. Генераторда мұндай жоғары кернеуді алу мүмкін емес, сондықтан генератордан кейінгі электр энергияны кернеу бойынша, қажетті мәнге дейін өсетін трансформаторға беріледі. Электр станцияларында кернеуді жоғарылатқыш күштік трансформаторлар қойылса, электр қабылдағыштар қасында төмендеткіш күштік трансформаторлар қойылады. Осылайша, электр станциясынан тұтынушыларға беру процесінде айнымалы ток қуаты үш, кейде төрт есе қайта құруға ұшырайды. Осы негізгі қолданудан басқа, трансформаторлар әртүрлі электр қондырғыларында ( қыздыру, дәнекерлеу және т. б.), автоматика, байланыс құрылғыларында және т. б. қолданылады.

### ***Трансформатордың құрылымдық бөліктері***

Қуштік трансформаторының негізгі түрі – май трансформаторы болады.

Майлы трансформаторда оның алынатын бөлігі, ол трансформатор болып табылады да және май ыдысына баққа батырылады.



1 сурет – Үш фазалы майлы трансформатордың құрылысы

- 1 – шихталанған магнит өткізгіш
- 2 – ТК (төмен кернеу) орама
- 3 – ЖК (жоғары кернеу) орама
- 4 – қабырғы бак
- 5 – радиатор құбыры
- 6 – ЖК орамасының ауыстырғыш
- 7 – ТК орамды енгізу қосқышы
- 8 – ЖК орамды енгізу қосқышы
- 9 – Кеңейткіш

### **1.2 Трансформатордың номинал режимде параметрлерін есептеу**

Есептерді есептеу үшін, дәрістерді оқу керек, яғни бір фазалық трансформатордың құрылысы мен әрекеттік паркы мен таңысу. Осы тақырып бойынша трансформатордың номинал және номинал емес режимдерде электрлік мәндерді техникалық сипаттамалардан анықтау (паспорттық берілгені).

*Номиналдық режимі*



Трансформатордың қасиеттері оның номиналды параметрлерімен анықталады:

- 1) номиналды кірмелік желілік кернеу  $U_{1\text{НОМ}}$ , В немесе кВ;
- 2) номиналды шықпалық желілік кернеу  $U_{2\text{НОМ}}$ , В немесе кВ;
- 3) номиналды желілік тоқтар: - кірмелік орамадағы  $I_{1\text{НОМ}}$ , - шықпалық орамадағы  $I_{2\text{НОМ}}$ , А немесе кА;
- 4) номиналды (толық) қуат  $S_{\text{НОМ}}$ , кВА

Осы режимде трансформатор номиналды кірмелік кернеу  $U_{1\text{НОМ}}$  және шықпалық кернеу  $U_{2\text{НОМ}}$  орамалары мен номиналды (толық) қуат пен жүктелген.

$$S_{\text{НОМ}} = S_{1\text{НОМ}} = S_{2\text{НОМ}}. \quad (1)$$

Қуат формуладан екінші орамда ток анықталады :

$$S_{2\text{НОМ}} = U_{2\text{НОМ}} \cdot I_{2\text{НОМ}} \quad (2)$$

$$I_{2\text{НОМ}} = S_{2\text{НОМ}} / U_{2\text{НОМ}} = S_{\text{НОМ}} / U_{2\text{НОМ}} \quad (3)$$

Бірінші орамдағы ток осыған сәйкес анықталады:

$$S_{1\text{НОМ}} = U_{1\text{НОМ}} \cdot I_{1\text{НОМ}} \quad (4)$$

$$I_{1\text{НОМ}} = S_{1\text{НОМ}} / U_{1\text{НОМ}} = S_{\text{НОМ}} / U_{1\text{НОМ}} \quad (5)$$

Трансформатордың екінші орамасы қабылдағышқа берілетін активті энергиясы негізгі қабылдағыштың қуат коэффициенттен  $\cos\varphi_{2\text{НОМ}}$  және мына формула мен анықталады

$$P_{2\text{НОМ}} = S_{2\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{2\text{НОМ}} \quad (6)$$

Активті жүктемеде, яғни шоқтану шамы болғанда:

$$\cos\varphi_{2\text{НОМ}} = 1 \quad (7)$$

$$P_{2\text{НОМ}} = S_{2\text{НОМ}} \quad (8)$$

Желіден трансформатор көректенетін активтік қуат:

$$P_{1\text{НОМ}} = U_{1\text{НОМ}} I_{1\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{1\text{НОМ}} \quad (9)$$

Онда пайдалы әрекет коэффициентті:

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{P_{1\text{НОМ}}} \quad (10)$$

Трансформатордағы қуат шығындары:

$$\Sigma P = P_{1ном} - P_{2ном} \quad (11)$$

Трансформация коэффициенті  $k$  орам санын  $\omega_1$  және  $\omega_2$  немесе ЭҚК өздік индукцияның  $E_1$  және  $E_2$  қатынасын айтады :

$$k = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{E_1}{E_2} \quad (12)$$

Бос жүрісте (жүктеме ажыратылған) осы ЭҚК –тер орамдардың кернеулерге тең  $U_{1x}$  және  $U_{2x}$ . Сондықтан, трансформатордың трансформация коэффициентін формуласы:

$$k = U_{1x} / U_{2x} \quad (13)$$

Негізгі трансформация коэффициенті кез келген режимдерде:

$$k = U_{1ном} / U_{2ном}, \quad (14)$$

$$k = U_1 / U_2 \quad (15)$$

Рұқсат берілетін қателігі үлкен емес, яғни трансформатордың жүктелген кернеуі бос жүрістегі тәртіп мәнінен, яғни айырмашылығы үлкен емес.

$$U_{2ном} \cdot I_{2ном} = U_{1ном} \cdot I_{1ном} \quad (16)$$

Есепке ала

$$U_{1ном} / U_{2ном} = I_{2ном} / I_{1ном} = k \quad (17)$$

Трансформация коэффициентін токтар қатынасы арқылы анықтауға болады

### 1.3 Трансформатордың номинал емес режимде параметрлерін есептеу

#### Трансформатордың номиналдық емес режимі

Трансформатордың шықпалық орамаға қосылатын қабылдағыштың қуаты  $S_2$ , оның номиналдық қуатынан  $S_{ном}$  аз болады.

$$S_2 / S_{ном} = k_{нг} \quad (18)$$

қатынасы жүктелу коэффициенті деп аталады.

Осындай режимде:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 \quad (19)$$

$$I_2 = S_2 / U_2, \quad (20)$$

$$S_1 = S_2 = U_1 \cdot I_1 \quad (21)$$

$$I_1 = S_2 / U_1 \quad (22)$$

Басқа формулар мен белгілері номиналдық режиміне сәйкесті, бірақ «ном» индексы жоқ.

Электрлік шамаларды есептеу тәсілдер мен келесе келтірілген мысалдар бойынша анықтаймыз.

#### 1.4 Трансформатордың активті, бос жүріс, қысқа тұйықталу режимде параметрлерін есептеу

Трансформатордың магниттік тізбегіндегі негізгі айнымалы магнит ағыны  $\Phi$  орамалармен  $\omega_1$  және  $\omega_2$  қабаттасқан кезде ЭҚК тудырады.

Орамаларда пайда болатын ЭҚК токтың жиілігінен ораманың орам санынан және магнит ағынының амплитудасынан тәуелді.

$$E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_M \quad (23)$$

$$E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_M \quad (24)$$

мұндағы  $f$  - айнымалы ток жиілігі

$\omega_1$ ;  $\omega_2$  - кірмелік және шықпалық орамалардың орамдарының саны

Негізгі магнит ағынының максималды мәні

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot Q_{cm} \cdot k_c \quad (25)$$

мұндағы  $B_{max}$  - магниттік тізбектің өзегіндегі магниттік индукцияның

максималды мәні, Тл

$Q_{cm}$  - трансформатор өзегінің көлденең қимасының ауданы,

$k_c$  - электртехникалық болат табақшалардың арасындағы оқшаулағыш қабаттардың қалыңдығын ескеретін магниттік тізбекті болатпен толтыру коэффициенті, қалыңдығы 0,5 мм, әдетте  $k_c = 0,95$  қабылданады

Магнит өрісінің күш сызықтары түгелдей өзек арқылы тұйықталмайды – оның 3 .. 4% - тей бөлігі өзек және ауа арқылы шашырап тұйықталады.

Магнит ағынының бұл бөлігін шашыранды магнит ағыны деп, ал шашыранды магнит ағыны тудыратын ЭҚК – ті шашыранды ЭҚК деп атайды. Шашыранды ЭҚК- те , негізгі ЭҚК – те токпен бағыттас деп алынады.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша кірмелік және шықпалық орамалардың онбойларында

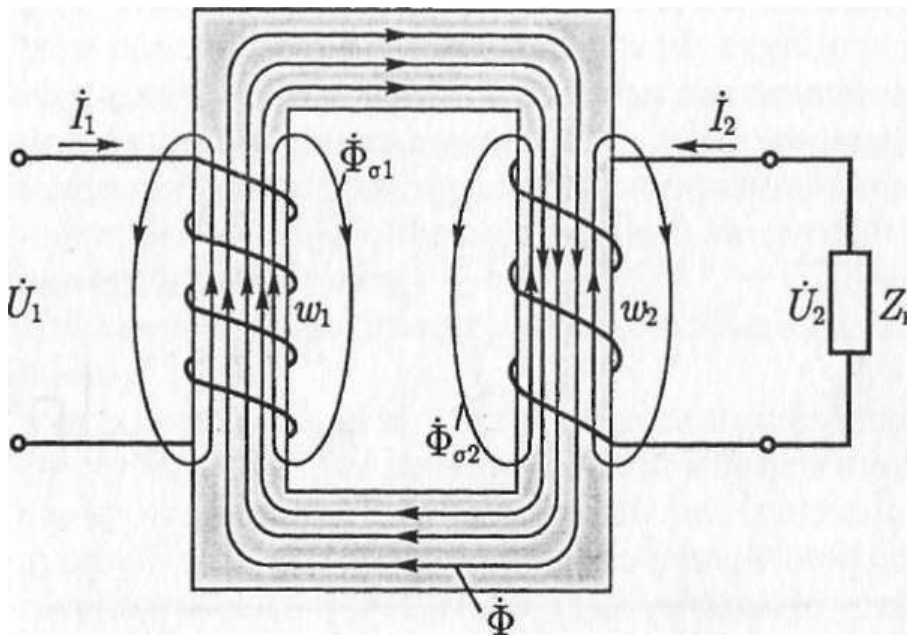
$$\dot{U}_1 - R_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{ш1} \quad (26)$$

$$\dot{U}_2 + R_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 + \dot{E}_{ш2} \quad (27)$$

мұнда  $R_1, R_2$  - кірмелік және шықпалық орамалардың активті кедергілері;

$E_{ш1}, E_{ш2}$  - кірмелік және шықпалық орамалардың шашыранды электр қозғауыш күштері

Екінші суретте трансформатордың кірмелік және шықпалық орамадағы негізгі магнит ағыны және екі орамадағы өзіндік магниттік ағындар көрсетілген.



2 сурет – Бір фазалы екі орамды трансформатор

Шашыранды ЭҚК шашыранды магнит ағынына байланысты индуктивтік кедергідегі кернеудің түсуімен теңдістіріледі, яғни формула бойынша

$$E_{1u} = -j X_1 \dot{I}_1 \quad (28)$$

$$E_{2u} = -j X_2 \dot{I}_2 \quad (29)$$

мұндағы  $X_1, X_2$  - кірмелік және шықпалық орамалардың шашыранды индуктивтік кедергілері

Егер шашыранды ЭҚК – тердің мәндерін алдыңғы теңдіктерге қойса,  
онда

$$\dot{U}_1 - R_1 \dot{I}_1 - j X_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 \quad (30)$$

$$\dot{U}_2 + R_2 \dot{I}_2 + j X_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_2 \quad (31)$$

Немесе

$$\dot{U}_1 - \underline{Z}_1 \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 \quad (32)$$

$$\dot{U}_2 + \underline{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_2 \quad (33)$$

мұнда  $\underline{Z}_1 = R_1 + j X_1$  - кірмелік ораманың кедергі  
 $\underline{Z}_2 = R_2 + j X_2$  - шықпалық ораманың кедергі

Трансформатордың бос (жүксіз) жүрісі кезінде кірмелік ораманың тоғы күштік трансформаторларда оның номинал тоғының 1,5 ... 3 % болады

$$I_\delta = (0,015 \dots 0,03) I_{\text{н}} \quad (34)$$

Соңдықтан кірмелік орамадағы кернеудің түсуі аз шама болады да  $(Z_1 I_1 \ll E_1)$  ал шықпалық орамадағы кернеудің түсуі

$$Z_2 I_2 = 0 \quad (35)$$

Олай болса, бос жүріс кезінде кернеу ЭҚК теңестіруге болады

$$U_1 \approx |E_1| \quad (36)$$

$$U_2 \approx |E_2| \quad (37)$$

Мұндай трансформаторды идеал, яғни энергия шығындамайтын, трансформатор деп атайды.

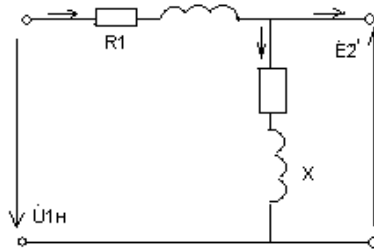
Егер теңдігіне өрнегінен ЭҚК – тің мәнін қойса, онда

$$U_1 = 4,44f W_1 \Phi_m = C_1 \Phi_m \quad (38)$$

мұнда  $C_1 = 4,44f W_1$  - тұрақты коэффициент, трансформаторға берілген кернеудің жиілігі және ораманың орам саны тұрақты шамалар

Соңғы теңдіктен трансформатордың магнит ағыны тұрақты шама болады деген қорытынды туады, яғни  $\Phi = const$ , өйткені  $u_1 = const$

Трансформатордың бос жүріс режимі сәйкесті алмастыру сұлбасы 3 – суретте көрсетілген. Осы схема бойынша келесі белгілері еңгізілген: активті кедергі, реактивті, яғни индуктивті кедергі.



3 сурет – Трансформатордың бос жүріс режимі сәйкесті алмастыру сұлбасы

Осы сұлба бойынша трансформатордың бос жүріс режимдегі активті және индуктивтік кедергілері

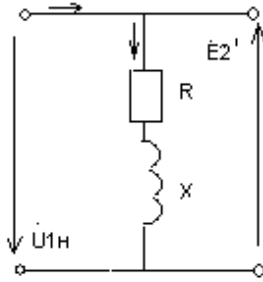
$$R_\delta = R_1 + R_\theta \quad (39)$$

$$X_\delta = X_1 + X_\theta \quad (40)$$

мұнда  $R_\theta$  - өзектегі энергияның шығынына сәйкесті кедергі;

$X_\theta$  - негізгі индуктивтік тудыратын кедергі

Бірақ бос жүріс режимде  $R_1 \ll R_\theta$  де , ал әрдайым  $X_1 \ll X_\theta$  болғанымен  $R_\delta = R_\theta$ ,  $X_\delta = X_\theta$  деп алуға болады (4 – сурет).



4 сурет – Трансформатордың бос жүріс режимі сәйкес алмастыру сұлбасы

Олай болса

$$Z_{\theta} = \frac{U_{1H}}{I_{\delta}}, \quad (41)$$

$$R_{\theta} = \frac{P_{\delta}}{I_{\delta}^2}, \quad X \quad (42)$$

$$X_{\theta} = \sqrt{Z_{\theta}^2 - R_{\theta}^2} \quad (43)$$

Қуатты коэффициент

$$\cos \varphi_{\delta} = \frac{P_{\delta}}{S_{\delta}} = \frac{P_{\delta}}{U_{1H} I_{\delta}} \quad (44)$$

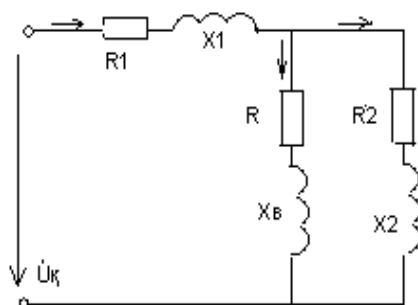
Алмастыру сұлбадан және жоғарыда келтірілген теңдеулерден трансформатор өзегіндегі қуаттың шығынының оның бос жүріс режиміндегі қуатына тең яғни  $P_0 = P_{\delta}$

Ендеше күштік трансформатордың өзекке байланысты туындайтын параметрлері мен қуаттың шығыны бос жүріс тәжірибесі арқылы анықталады деген қортынды жасаймыз

Трансформатордың жүктемелі жұмысында орамалар қызып, энергия шығындалды. Орамалардағы энергияның шығынын анықтау үшін қысқа тұйықтау (қ.т.) тәжірибесі деп аталатын тәжірибе қойылады

Қысқа тұйықтау тәжірибесінде шықпалы орамаға амперметр арқылы қысқа тұйықталады да, кірмелік орамаға оның нонимал тоғы жүретіндей кенеу беріледі. Бұл кенеуді қысқа тұйықтау кернеуі деп атайды. Трансформатордың

қысқа тұйықтау тәжірибесіне сәйкесті алмастыру схемасы 5 – суретте көрсетілген.



5 сурет – Трансформатордың қысқа тұйықталу тәжірибесінде алмастыру сұлбасы

Қысқа тұйықтау кернеуі күштік трансформаторларда оның номинал кернеуінің 4,5 ... 5,5 % - дей болады, яғни

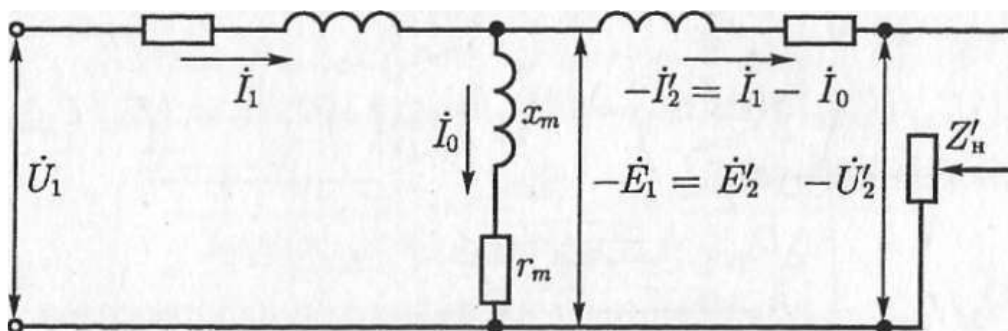
$$U_K = (0,045 \dots 0,055) U_{\text{ИН}} \quad (45)$$

Сондықтан өзектегі магнит ағыны да және осы магнит ағыны тудыратын қуаттың шығыны да аз болады, яғни

$$\Phi_K \ll \Phi_H, P_\theta \ll P_\delta \quad (46)$$

$$I_\delta \ll I_{\text{ИН}} \approx I_{2\text{H}} \quad (47)$$

болатындықтан орынбасарлық сұлбаның өзектік тармағын алып тастауға болады ( 6– сурет).



6 сурет – Трансформатордың орынбасарлық сұлба



$$Z_{\text{к}} = \frac{U_{\text{к}}}{I_{\text{IH}}}, \quad (48)$$

$$R_{\text{к}} = \frac{R_{\text{к}}}{I_{\text{IH}}^2}, \quad (49)$$

$$X_{\text{к}} = \sqrt{Z_{\text{к}}^2 - R_{\text{к}}^2} \quad (50)$$

мұнда  $R_{\text{к}} = R_1 + R_2'$ ,  $X_{\text{к}} = X_1 + X_2'$  - қысқа тұйықталу активті және реактивті кедергілер

Келтіру өрнектері бойынша

$$R_1 = R_2' = k^2 R_2 \quad (51)$$

Ендеше

$$R_1 = R_2' = \frac{P_{\text{к}}}{2} \quad (52)$$

$$R_2 = \frac{P_{\text{к}}}{2k^2} \quad (53)$$

Қуат коэффициенті анықталады

$$\cos \varphi_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}}}{S_{\text{к}}} = \frac{P_{\text{к}}}{U_{\text{к}} I_{\text{IH}}} \quad (54)$$

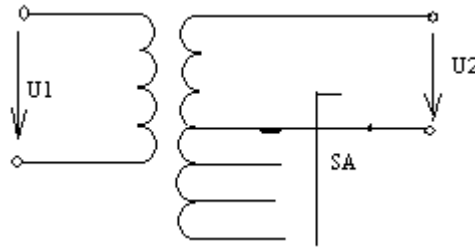
Алмастыру сұлбадан және жоғарыда келтірілген өрнектерден трансформатор орамаларындағы қуаттың шығыны қысқа тұйықтау қуатына тең

$$P_0 = P_{\text{к}} \quad (55)$$

Ендеше қысқа тұйықталу тәжірибесінде орамалардың параметрлері мен орамалардағы қуаттың шығынын анықтау үшін жүргізіледі.

*Шықпалық ораманың кернеуінің оның тогынан тәуелділігін, яғни  $U_2 = f(I_2)$  тәуелділігін, трансформатордың шықпалық сипаттамасы деп атайды.* Трансформатордың жүгі өскен кезде кернеуі азаяды. Кернеудің кемуі электр қабылдағыштың жұмысына жағымсыз әсер ететіндіктен, әдетте шықпалық орама кернеуі реттелмелі етілін жасалады (7–сурет).

Мұндай трансформаторларда ауыстырып қосқыштың көмегімен шықпалық ораманың орам санын өзгерте отырып, оның ЭҚК –ін көбейтіп не азайтуға болады.



7 сурет - Трансформаторлар ауыстырып қосқышты бар сұлбасы

Электр қабылдағыштың кернеуінің оның номинал мәнінен салыстырмалы айырмашылығын кернеудің ауытқуы деп атайды. Мемлекеттік стандарт бойынша кернеудің ауытқуы  $\pm 10\%$  аралығында болуы керек деп белгіленген.

Трансформатордың шықпалық кернеуінің оның бос жүрістік мәнінен салыстырмалы ауытқуы

$$\Delta U_2 = \frac{U_{2\delta} - U_2}{U_{2\delta}} = \frac{Z_2 I_2}{U_{2\delta}}, \quad (56)$$

мұндағы  $Z_2 I_2$  - шықпалық орамадағы кернеудің түсуі

Трансформатордың жүгін жүктелу коэффициенті арқылы көрсету қабылданған формуласы:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}, \quad (57)$$

мұндағы  $I_2, I_{2H}$  - шықпалық ораманың қарастырып отырған жүктегі тогы мен номинал тогы

Ендеше шықпалық кернеудің бос жүріс мәнінен ауытқуы формуласы

$$\Delta U_2 = \beta \frac{Z_2 I_{2H}}{U_{2\delta}}. \quad (58)$$

Қысқа тұйықтау тәжірибесінен анықталған

$$Z_2 I_{2H} = \frac{U_K}{K} \quad (59)$$

Ал бос жүріс тәжірибесінен анықталған

$$U_{2\delta} = \frac{U_{IH}}{K} \quad (60)$$

Егер кернеулердің осы мәндерін теңдігіне қойса, онда болады

$$\Delta U_2 = \beta \frac{U_K}{U_{IH}} \quad (61)$$

Ендеше шықпалық ораманың кернеуі тең

$$U_2 = U_{2\delta} (1 - \Delta U_2) = U_{2\delta} \left( 1 - \beta \frac{U_K}{U_{IH}} \right) \quad (62)$$

Бұл өрнек шықпалық ораманың кернеуінің жүктелу коэффициентінен ғана тәуелді екенін көрсетеді. Әдетте трансформатордың шықпалық сипаттамасы осы теңдік бойынша тұрғызылады.

*Күштік трансформатордың пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК) оның электр қабылдағышқа берген қуатының, шықпалық ораманың қуатының, желіден қабылдаған қуатына, кірмелік ораманың қуатына қатынасын айтады келесі формула бойынша анықталады*

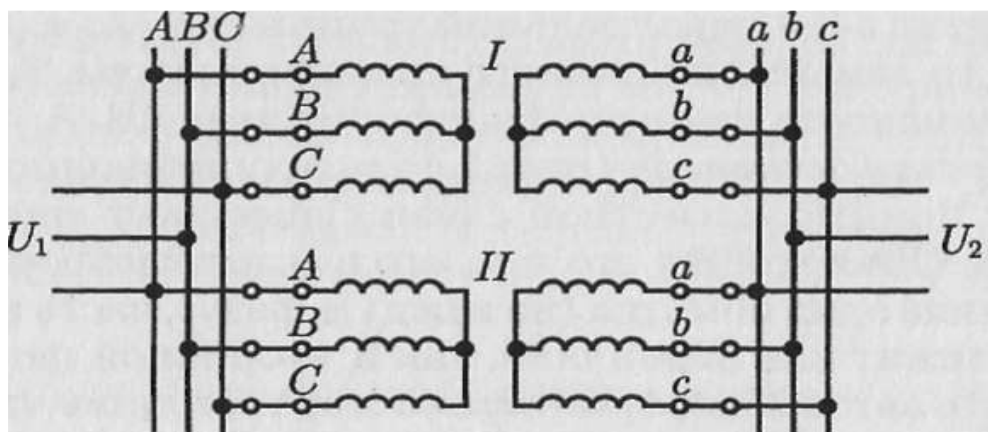
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_\theta + P_0} = \frac{\beta S_{2H} \cos \varphi_2}{\beta S_{2H} \cos \varphi_2 + P_\delta + \beta^2 P_K} \quad (63)$$

Трансформатордың пайдалы әрекет коэффициенті ПӘК жүктеме өскен кезде өсіп, қуаттың өзектегі шығыны мен орамалардағы шығыны теңескен кезде өзінің максималдық мәнін қабылдайды. Кейін жүгі одан әрі өскенде орамалардағы шығын тез өсетіндіктен ПӘК пайдалы әрекет коэффициенті азая бастайды. Күштік трансформаторларда қуаттары жоғары бар трансформаторларда 98 – 99 % - ке дейін жетеді.

**Параллельді жұмысқа** бірнеше трансформаторларды қосу үшін келесі шарттарды сақтау ұсынылады ( 8 – сурет )

- *трансформаторлардың трансформация коэффициенттері бірдей болуы керек*
- *трансформаторлар бір қосылу тобына жатуы тиіс*
- *трансформаторлар бірдей қысқа тұйықталу кернеулері болуы керек*

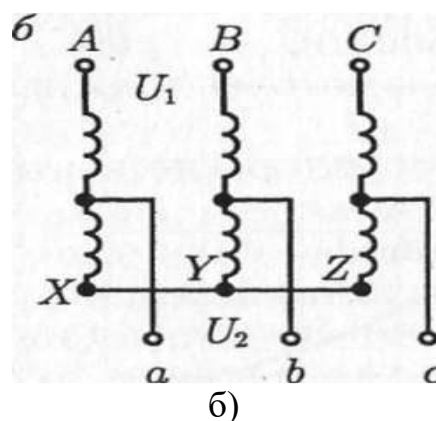
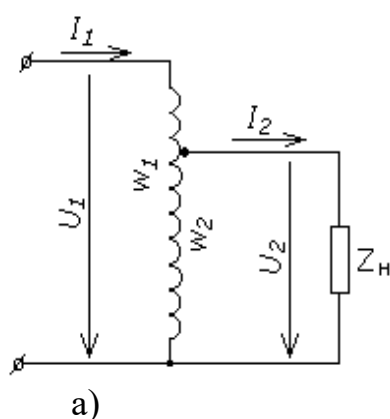
- трансформаторлардың номиналды қуаты өз мәндері бойынша үш еседен артық ажыратылмауы тиіс



8 сурет – Трансформаторларды параллель қосу схемасы

### 1.5 Автотрансформаторлар

Автотрансформаторда (9 – сурет) магниттік байланыстан басқа кірмелік және шықпалық тізбектер арасында электр байланысы да бар. Бұл автотрансформаторда катушкалардың бір бөлігі кірмелік және шықпалық тізбектерге жататын бір ғана орам (әр фаза үшін) бар екендігімен түсіндіріледі. Автотрансформатордың есептік қуаты автотрансформатор тізбектері арасындағы электр байланысы есебінен магниттік өрісінің қатысуынсыз бастапқы тізбектен екінші тізбекке берілетін өту қуатының бір бөлігін ғана құрайды



9 сурет – Бір фазалы (а) және үшфазалы (б) автотрансформаторлар

Осылайша, есептелген қуат кірмелік автотрансформатор тізбегінен екінші шықпалық тізбекке берілетін барлық қуаттың бір бөлігін ғана құрайды.

Бұл автотрансформаторды жасау үшін бірдей қуатты трансформаторға қарағанда кішірек қиманың магниттік өткізгішті пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, өзек қимасының азаюына байланысты ораманың катушкасының орташа ұзындығы да кішірейеді, сондықтан автотрансформатордың орамасын орындау үшін мыс шығыны азаяды. Сонымен қатар, магниттік және электрлік шығындар азаяды, ал бірдей қуатты екі орамалы трансформаторлармен салыстырғанда автотрансформатордың пайдалы әрекет коэффициентті ПӘК артады.

Осылайша, автотрансформаторлар трансформаторлармен салыстырғанда келесі артықшылықтарға ие:

- белсенді материалдардың аз шығынымен (мыс және электротехникалық болат)

- жоғары ПӘК-і

- аз көлемімен

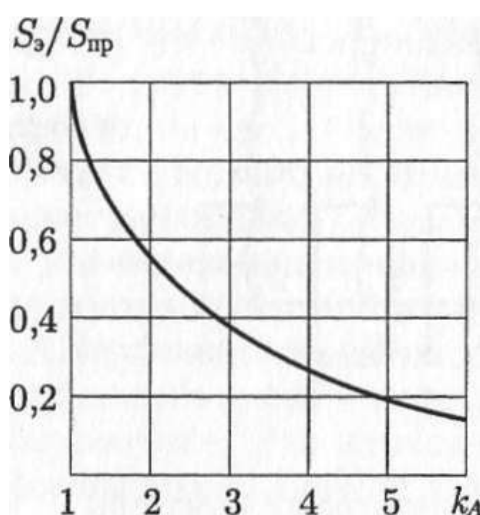
- төмен құны

Осы тізбектер арасындағы электр байланысы есебінен біріншіден екінші тізбекке берілетін қуат  $S_э$  келесі өрнекпен анықталады:

$$S_э = U_2 \cdot I_2 = U_2 \cdot I_2 / k_A = S_{np} / k_A$$

Графиктен 10–сурет бойынша автотрансформаторларды қолдану екі орамалы трансформатормен салыстырғанда трансформация коэффициентінің аз ғана мәндерімен айтарлықтай артықшылықтар беретіндігін көруге болады  $k_A < 2$

Егер  $k_A = 1$  теі болса автотрансформаторының барлық қуаты екінші тізбекке беріледі электр байланыс арқылы, яғни ( $S_э / S_{np} = 1$ )



10 сурет – Трансформатордың трансформация коэффициентіне тәуелділігі  $S_э / S_{np}$

Трансформацияның жоғары коэффициенттерімен автотрансформаторлардың аталған артықшылықтары оның кемшіліктеріне айналады. Бұлардан неғұрлым елеулі болып табылады

- қысқа тұйықталу кедергісінің төмен мәні
- кірмелік және шықпалық тізбектер арасындағы электр байланысының болуы

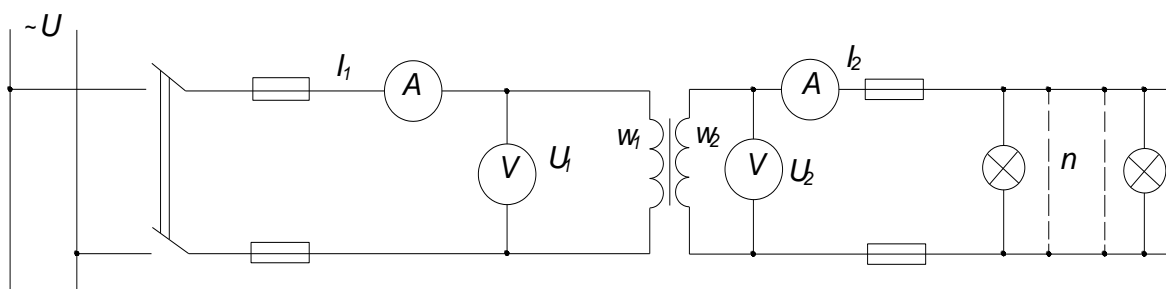
## 1.6 Шешімдері бар мысалдар

### Мысал 1

Бір фазалық трансформатор шоқтану шамдарды төмендетілген кернеу мен қоректендіреді. Номиналдық емес режимі. Трансформатордың кірмелік орамасы желі кернеуге қосылған  $U_1 = 220$  В, ал шықпалық орама 20 шоқтану шамдар мен 50 Вт қуаты мен жүктелген (11 – сурет). Трансформаторының шықпалық ораманың кернеуі  $U_2 = 12$  В. Трансформаторының пайдалы әрекет коэффициенті  $\eta = 0,9$ . Кірмелік ораманың орам саны  $w_1=400$ .

*Анықтау:*

- 1) трансформаторының трансформация коэффициентін  $k$ ;
- 2) трансформаторының шықпалық орама беретін активті қуаты  $P_2$  ;
- 3) трансформаторының желіден қоректенетін активті қуатты  $P_1$ ;
- 4) трансформаторының кірмелік ораманың токтарды  $I_1$  және  $I_2$ ;
- 5) трансформаторының шықпалық ораманың орам санын  $w_2$ .



11 сурет – Трансформатордың кірмелік және шықпалық ораманың электр сұлбасы

*Шешуі:*

1. Трансформатордың трансформация коэффициентті анықтаймыз:

$$k = U_1 / U_2 = 220 / 12 = 18,33$$

2. Әр шамның қуатын біліп  $P_{\text{лампа}}$  және шамның санын біліп  $n_{\text{лампа}}$  трансформатордың шықпалық орамамен берілетін қуатын  $P_2$ , анықтайық.

$$P_2 = n_{\text{лампа}} P_{\text{лампа}} = 20 \cdot 50 = 1000 \text{ Вт}$$

3. Трансформатордың ПӘК біліп желіден көректенетін активті қуатын анықтаймыз:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1000}{0,9} = 1111 \text{ Вт}$$

4. Қуат формула бойынша және активті жүктемеде  $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = 1$  есебімен, трансформатор ораманың кірмелік  $I_1$  және шықпалық  $I_2$  токтарын анықтаймыз:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \rightarrow I_1 = \frac{P_1}{(U_1 \cos \varphi_1)} = 1111 / (220 \cdot 1) = 5,05 \text{ А.}$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \rightarrow I_2 = \frac{P_2}{(U_2 \cos \varphi_2)} = 1000 / (12 \cdot 1) = 83,3 \text{ А.}$$

5. Формула бойынша трансформатордың шықпалық орауыштың ораманың санын  $\omega_2$  анықтаймыз және оны нақты санға келтіреміз:

$$k = \frac{\omega_1}{\omega_2} \rightarrow \omega_2 = \frac{\omega_1}{k} = \frac{400}{18,33} = 22$$

### Мысал 2

Бір фазалы трансформатордың өзегінде максималдық магниттік ағыны 0,002 Вб тең. Бос жүріс кезінде шықпалық орамада кернеуі өлшенген ол 127 В тең. Кірмелік ораманың орам саны  $\omega_1=495$ . Желі жиілігі 50 Гц.

*Анықтау:*

Трансформатордың трансформация коэффициентін және желіден қоректенетін кернеуні анықтау.

*Шешуі:*

Бос жүріс кезінде шықпалық ораманың ЭҚК  $E_2$  өлшенген кернеуге 127 В тең.

Трансформатордың шықпалақ ораманың орам саны

$$\omega_2 = \frac{E_2}{4,44 f \Phi_m} = \frac{127}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,002} = 286$$

Трансформатордың трансформация коэффициенті

$$k = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{286}{495} = 0,578$$

Кірмелік ораманың ЭҚК

$$E_1 = E_2 / k = 127 / 0,578 = 220 \text{ В}$$

Бос жүріс кезінде желіден қоректенетін кернеуні кірмелік ораманың ЭҚК-нан шамалы ерекшеленеді сондықтан

$$U_1 \approx E_1 = 220 \text{ В}$$

### Мысал 3

Бір фазалы трансформатордың бос жүріс кезінде кірмелік ораманың кернеуі өлшенген  $U_1 = 6 \text{ кВ}$  және шықпалық ораманың кернеуі  $U_2 = 400 \text{ В}$ .

Трансформатор номиналдық жүктемеде желіден толық қуаттын қоректенетін мәні  $S_1 = 25 \text{ кВА}$

*Анықтау:*

Трансформатордың шықпалық тізбегінде жүктеме тогын анықтау  $I_2$   
Трансформатордағы шығындарды ескермеу.

*Шешуі:*

Трансформатордың трансформация коэффициентті бос жүрісте

$$k = U_2 / U_1 = 400 / 6000 = 0,0667$$

Трансформатордың кірмелік ораманың тогы

$$I_1 = S_1 / U_1 = 25000 / 6000 = 4,167$$

Трансформатордың шықпалық ораманың тогы

$$I_2 = I_1 / k = 4,167 / 0,0667 = 62,474$$

*Тексеру*

Трансформатордың шықпалық тізбегінің толық қуатты

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 = 400 \cdot 62,474 = 24,99 \text{ кВА}$$

Трансформатордағы шығындар ескермелген

### Мысал 4

Бір фазалы трансформатор активті жүктемеде желіден қоректенетін қуаты  $P_1 = 16 \text{ кВт}$ . Трансформаторының пайдалы әрекет коэффициенті  $\eta = 0,95$ .



Кірімелік ораманың тогы  $I_1 = 1,6$  А. Трансформатордың трансформация коэффициенті  $k=0,0411$ .

*Анықтау:*

Трансформатордың кірімелік және шықпалық тізбегінде кернеулерді анықтау?

*Шешуі:*

Кірімелік тізбегінде кернеу

$$U_1 = P_1 / I_1 = 16000 / 1,6 = 10 \text{ кВ}$$

Трансформатордың шықпалық тізбегінің қуатты

$$P_2 = P_1 \cdot \eta = 16000 \cdot 0,95 = 15200 \text{ Вт}$$

Жүктеме тогы

$$I_2 = I_1 / k = 1,6 / 0,0411 = 38,93$$

Шықпалық тізбегінде кернеу

$$U_2 = P_2 / I_2 = 15200 / 38,93 = 390,4 \text{ кВ}$$

### Мысал 5

Бір фазалы трансформатор кірімелік ораманың кернеумен 3300 В бос жүріс және қысқа тұйықталу тәжірибеде зерттелген.

Бос жүріс кезінде ( $I_2 = 0$ ) өлшенген шықпалық кернеу 220 В тең болған, кірімелік орамадағы ток 0,18 А желіден қуаттын қоректенетін мәні 70 Вт

Қысқа тұйықталу тәжірибеде ( $U_2 = 0$ ) кірімелік орамаға жүргізілген кернеуі 188 В кірімелік және шықпалық орамалар тогы 3,127 А және 45,45 А желіден тұтынылатын қуат 250 Вт.

*Анықтау:*

Трансформатордың активті жүктемеде ( $\cos \varphi = 1$ ) номиналдық қуатты, орамалардың активті, индуктивті және толық кедергілерді анықтау.

Кірімелік және шықпалық орамаларда мыс шығындар өзара тең және қысқа тұйықталу кернеуі әр орамада оның номиналды кернеуінің 2,8 % құрайды.

Трансформаторының номиналдық жүктемеде және орамалар индуктивтілік пен пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК анықтау. Трансформатор жиіліктік желеге қосылған  $f=50$  Гц.

*Шешуі:*

Бос жүріс тәжірибе номиналдық кернеуде жасалады, ал қысқа тұйықталу тәжірибе номиналдық ток кезінде жасалады сондықтан трансформатордың активті жүктемеде номиналдық қуатты:

$$P_{ном} = U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 45,45 \cdot 1 = 10000 \text{ Вт}$$

Сондай-ақ толық номиналды (есептік) қуат болады

$$S_{ном} = 10 \text{ кВА}$$

Реактивті қуаттың болуы активті номиналды қуаттың азаюына әкеледі  
мысалы  $\cos \varphi = 0,85$

$$P_{ном} = S_{ном} \cdot \cos \varphi = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт}$$

Кірмелік және шықпалық орамаларда мыс шығындар өзара тең болғандықтан әрбір орамның мыстағы шығындар

$$P_{\text{ә1}} = P_{\text{ә2}} = \frac{P_{\kappa}}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ Вт}$$

Орамалардың активті кедергілерді анықтау  
Кірмелік орамада

$$R_1 = \frac{P_{\text{ә1}}}{I_{1\kappa}^2} = \frac{125}{3,127^2} = 12,78 \text{ Ом}$$

Шықпалық орамаларда

$$R_2 = \frac{P_{\text{ә2}}}{I_{2\kappa}^2} = \frac{125}{45,45^2} = 0,0605 \text{ Ом}$$

Есептің шарты бойынша қысқа тұйықталу кернеу әр орамада оның номиналды кернеуінің 2,8 % құрайды.

Кірмелік орамада кернеудің төмендеуі

$$U_{\kappa 1} = 0,028 \cdot 3300 = 92,4 \text{ В}$$

Шықпалық орамада кернеудің төмендеуі

$$U_{\kappa 2} = 0,028 \cdot 220 = 6,16 \text{ В}$$

Орамалардың толық кедергілерді анықтау  
Кірмелік

$$Z_1 = \frac{U_{k1}}{I_{1к}} = \frac{92,4}{3,127} = 29,55$$

Шықпалық

$$Z_2 = \frac{U_{k2}}{I_{2к}} = \frac{6,16}{45,45} = 0,136$$

Орамдардың шашырауының индуктивті кедергісі  
Кірмелік

$$X_{1} = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} = \sqrt{29,55^2 - 12,78^2} = 26,64 \text{ Ом}$$

Шықпалық

$$X_{2} = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} = \sqrt{0,136^2 - 0,0605^2} = 0,122 \text{ Ом}$$

Орамдардың индуктивтілігі  
Кірмелік

$$L_1 = \frac{x_1}{2\pi f} = \frac{26,64}{2\pi \cdot 50} = 0,085 \text{ Гн} = 85 \text{ мГн}$$

Шықпалық

$$L_2 = \frac{x_2}{2\pi f} = \frac{0,122}{2\pi \cdot 50} = 0,39 \text{ мГн}$$

Трансформаторының номиналдық жүктемеде пайдалы әрекет коэффициентін ПЭК анықтау

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_n}{P_n + P_{\text{э}} + P_m} = \frac{10000}{10000 + 250 + 70} = 96,9 \%$$

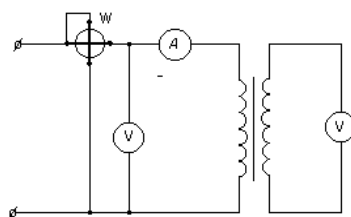
мұнда  $P_{\text{э}}$  - қысқа тұйықталу тәжірибеде кірмелік және шықпалық орамаларда мыс шығындары;  
 $P_m$  - бос жүріс кезінде магнитөткізгіштегі шығындар

## 1.7 Өздігінен шешуге арналған есептер

### Мысал 6

Бір фазалы трансформатор номиналдық қуатымен  $S_{\text{ном}} = 300 \text{ ВА}$  қысқа тұйықталу шығындарына бос жүрістің жоғалуына қатысы бар

$\frac{P_x}{P_k} = 0,3$  Бос жүріс тәжірибеде ( 12 – сурет ) аспаптардың көрсеткіштері есептелді:  $U_1 = 100 \text{ В}$ ;  $U_2 = 1000 \text{ В}$ ;  $I = 0,1 \text{ А}$ ;  $P_x = 10 \text{ Вт}$ .



12 сурет – Бос жүріс тәжірибенің электр сұлбасы

*Анықтау:*

Бос жүрістің тогы оның номиналды тогынан қандай үлес құрайды. Трансформаторының номиналды жүктемеде пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК анықтау

*Жауабы:*  $\frac{I_x}{I_n} = 3\% \quad \eta = 0,874.$

### Мысал 7

Үш фазалы май трансформаторы ТМ-100/10 типті бос жүрістің жоғалуы бар 0,36 кВт, қысқа тұйықталу шығыны бар 1,97 кВт

*Анықтау:*

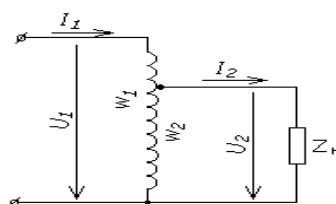
Трансформаторының номиналды жүктемеде пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК анықтау  $\cos \varphi = 1$  кезінде

Трансформаторының номиналды жүктемеде пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК анықтау  $\cos \varphi = 0,6$  кезінде

*Жауабы:*  $\eta = 0,977. \quad \eta = 0,963.$

### Мысал 8

13 – суретте көрсетілген автотрансформатор желіге қосылған  $U_1 = 220 \text{ В}$  кернеумен. Екінші қысқыштардағы кернеу  $U_2 = 180 \text{ В}$ ; жүктеме тогы  $I_2 = 10 \text{ А}$ . Орамда 500 орам бар  $\omega = 500$ .



13 сурет – Автотрансформаторың желіге қосу сұлбасы

*Анықтау:*

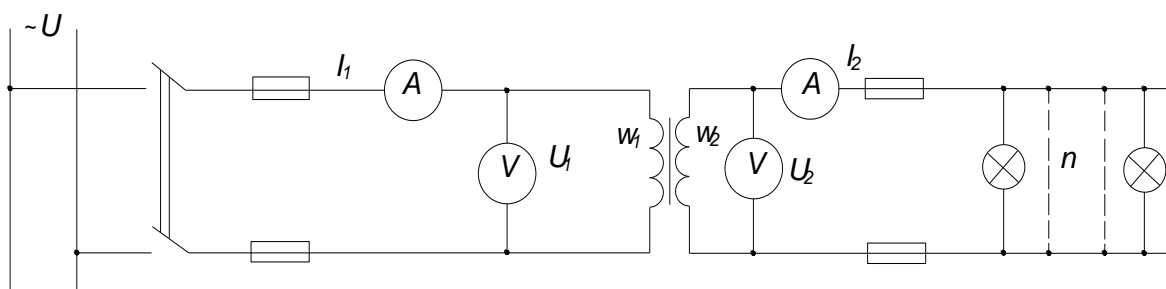
Егер токтың максималдық рұқсат етілген тоқтың тығыздығы  $2,5 \text{ A/мм}^2$  тең болса сымның көлденең қимасының ауданын анықта

Жауабы:  $s=0,728 \text{ A/мм}^2$

### 1.8 Жеке тапсырмалар

#### Мысал 9 (01-10 нұсқалар)

Екі орамдық бір фазалы трансформатор медициналық аппаратураны жоғарғы кернеуімен қоректену үшін қолдану жасалған. Трансформатордың кірмелік орамасы желі кернеуге қосылған  $U_1 = 220 \text{ В}$ . Шықпалық орамаға реостатты датчик жүктелген (активті жүктемеде  $\cos \varphi_2 = 1$ ),  $\eta = 0,9$  (14 – сурет ).



14 сурет – Трансформатордың кірмелік және шықпалық ораманың электр сұлбасы

*Анықтау:*

Тапсырмада берілмеген мәндерді анықтау:

- 1) трансформаторының шықпалық ораманың кернеуі  $U_2$ ;
  - 2) трансформаторының трансформация коэффициентін  $k$ ;
  - 3) трансформаторының кірмелік  $\omega_1$  және шықпалық ораманың орам санын  $\omega_2$ .
  - 4) трансформаторының шықпалық ораманың ораманың ток  $I_2$ ;
  - 5) трансформаторының шықпалық орама беретін активті қуаты  $P_2$  ;
- Трансформатордың номиналдық емес режимі.

Өз нұсқасына арналған деректерді 1 кестеден алу

1 кесте – Өз нұсқасына арналған деректер

Нұсқа нөмірі	$U$ ; $k$ ; $\omega$ ; $I$ ; $P$	Нұсқа нөмірі	$U$ ; $k$ ; $\omega$ ; $I$ ; $P$
1	2	3	4
01	$k=0,1$ ; $\omega_2 = 5000$ ; $I_2 = 1 \text{ А}$	06	$\omega_1 = 500$ ; $\omega_2 = 5000$ ; $P_2 = 2200 \text{ Вт}$

## 1 кестенің жалғасы

1	2	3	4
02	$k=0,1; \omega_2 =5000;$ $P_2 =2200 \text{ Вт}$	07	$\omega_1 =500; k=0,1;$ $I_2 =1 \text{ А}$
03	$U_2 = 2200 \text{ В};$ $\omega_2 =5000; I_2 =1 \text{ А}$	08	$\omega_1 =500; k=0,1;$ $P_2 =2200 \text{ Вт}$
04	$U_2 = 2200 \text{ В};$ $\omega_2 =5000;$ $P_2 =2200 \text{ Вт}$	09	$U_2 = 2200 \text{ В};$ $\omega_1 =500;$ $P_2 =2200 \text{ Вт}$
05	$\omega_1 =500;$ $\omega_2 =5000; I_2 =1 \text{ А}$	10	$U_2 = 2200 \text{ В};$ $\omega_1 =500;$ $I_2 =1 \text{ А}$

**Мысал 10** (11-20 нұсқалар)

Екі орамдық бір фазалы трансформатор кәсіпорынның қойма бөлменің жарықтандыру аппаратурасын төменгі кернеуімен қоректену үшін пайдаланылады. Трансформатордың кірмелік орамасы желі кернеуге қосылған  $U_1 = 220 \text{ В}$ . Шықпалық орамаға қуаты бірдей электр шамдар жүктелген (14 – сурет). Трансформатордың номиналдық емес режимі.

*Анықтау:*

Тапсырмада берілмеген мәндерді анықтау:

- 1) трансформаторының шықпалық ораманың кернеуі  $U_2$ ;
  - 2) трансформаторының трансформация коэффициентін  $k$ ;
  - 3) трансформаторының кірмелік  $\omega_1$  және шықпалық ораманың орам санын  $\omega_2$ .
  - 4) трансформаторының шықпалық ораманың ораманың ток  $I_2$ ;
  - 5) трансформаторының шықпалық орама беретін активті қуаты  $P_2$  ;
- Трансформатордың номиналдық емес режимі.

Өз нұсқасына арналған деректерді 2 кестеден алу

## 2 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Нұсқа нөмірі	$\omega ; k; U ; I; P$	Нұсқа нөмірі	$\omega ; k; U ; I; P$
1	2	3	4
11	$k=10; \omega_2 =600;$ $I_2 =10 \text{ А}$	16	$\omega_1 =6000;$ $\omega_2 =600;$ $P_2 =220 \text{ Вт}$
12	$U_2 = 22 \text{ В};$ $\omega_2 =600;$ $P_2 =220 \text{ Вт}$	17	$\omega_1 =6000; k=10;$ $I_2 =10 \text{ А}$

## 2 кестенің жалғасы

1	2	3	4
13	$k=10; \omega_2 =600;$ $I_2 =10 \text{ A}$	18	$\omega_1 =6000; k=10;$ $P_2 =220 \text{ Вт}$
14	$U_2 = 22 \text{ В};$ $\omega_2 =600;$ $P_2 =220 \text{ Вт}$	19	$U_2 = 22 \text{ В};$ $\omega_1 =6000;$ $P_2 =220 \text{ Вт}$
15	$\omega_1 =6000;$ $\omega_2 =600; I_2 =10 \text{ A}$	20	$U_2 = 22 \text{ В};$ $\omega_1 =6000;$ $I_2 =10 \text{ A}$

**Мысал 11** (21-40 нұсқалар)

Екі орамдық бір фазалы трансформатор кәсіпорынның жұмыстық орындарды электр жарықтандыру аппаратурасын төменгі кернеуімен қоректену үшін пайдаланылады.

Трансформатордың кірмелік орамасы желі кернеуге қосылған  $U_1 = 240 \text{ В}$ . Шықпалық орамаға қуаты бірдей электр шамдар жүктелген (14 – сурет).

Трансформатордың номиналдық емес режимі.

*Анықтау:*

Тапсырмада берілмеген мәндерді анықтау:

- 1) трансформаторының шықпалық ораманың кернеуі  $U_2$ ;
- 2) трансформаторының трансформация коэффициентін  $k$ ;
- 3) трансформаторының шықпалық ораманың ораманың ток  $I_2$ ;
- 4) бір электр шамның тогын  $I_{\text{шам}}$ ;
- 5) электр шамның саны  $n_{\text{шам}}$ ;
- 6) әрбір шамның қуатын  $P_{\text{шам}}$ ;
- 7) трансформаторының шықпалық орама беретін активті қуаты  $P_2$ ;

Трансформатордың номиналдық емес режимі.

Өз нұсқасына арналған деректерді 3 кестеден алу

## 3 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Нұсқа нөмірі	$k; n_{\text{шам}}; P; U; I$	Нұсқа нөмірі	$k; n_{\text{шам}}; P; U; I$
1	2	3	4
21	$k=10; n_{\text{шам}} =10;$ $P_2 =240 \text{ Вт}$	31	$U_2=24\text{В}; I_{\text{шам}}=0,5\text{А};$ $P_2 =240 \text{ Вт}$
22	$U_2 = 24 \text{ В}; I_2 =10 \text{ A}$ $n_{\text{шам}} =10$	32	$k=10; I_{\text{шам}}=0,5\text{А};$ $P_{\text{шам}} =24 \text{ Вт}$
23	$k=10; I_2 =10 \text{ A};$ $n_{\text{шам}} =10;$	33	$U_2 = 24 \text{ В};$ $I_{\text{шам}}=0,5\text{А};$ $n_{\text{шам}} =20$

## 3 кестенің жалғасы

1	2	3	4
24	$U_2 = 24 \text{ В}; I_2 = 10 \text{ А};$ $P_{\text{шам}} = 24 \text{ Вт}$	34	$k=10; I_{\text{шам}}=0,5\text{А};$ $n_{\text{шам}} = 20;$
25	$k=10; P_{\text{шам}} = 24 \text{ Вт}$ $P_2 = 240 \text{ Вт}$	35	$U_2 = 24 \text{ В};$ $I_2 = 10 \text{ А}; n_{\text{шам}} = 20$
26	$U_2 = 24 \text{ В}; I_2 = 10 \text{ А};$ $n_{\text{шам}} = 10$	36	$k=10; P_{\text{шам}} = 12 \text{ Вт}$ $P_2 = 240 \text{ Вт}$
27	$k=10; I_{\text{шам}}=1 \text{ А};$ $n_{\text{шам}} = 10;$	37	$U_2 = 24 \text{ В}; I_2 = 10 \text{ А};$ $P_{\text{шам}} = 12 \text{ Вт}$
28	$U_2 = 24 \text{ В}; I_{\text{шам}}=1 \text{ А};$ $n_{\text{шам}} = 10;$	38	$k=10; I_2 = 10 \text{ А};$ $n_{\text{шам}} = 20;$
29	$k=10; I_{\text{шам}}=1 \text{ А};$ $P_{\text{шам}} = 24 \text{ Вт}$	39	$U_2 = 24 \text{ В}; I_2 = 10 \text{ А};$ $n_{\text{шам}} = 20$
30	$U_2 = 24 \text{ В}; I_{\text{шам}}=1 \text{ А};$ $P_2 = 240 \text{ Вт}$	40	$k=10; n_{\text{шам}} = 20;$ $P_2 = 240 \text{ Вт}$

**Мысал 12**

4-кестеде келтірілген ТМ сериялы үш фазалы майлы трансформаторларының параметрлерінің мәндерін қолдана отырып ( белгілеу бөлгіште үстінгі кВА – да трансформатордың номиналды қуаты көрсетілген, ал төменгі бөлгіш-кВ-да жоғары кернеу), әр нұсқа үшін осы кестеде көрсетілмеген параметрлердің мәнін анықтаңыз. Орамалар Y/Y схема бойынша қосылған Желідегі ток жиілігі  $f=50 \text{ Гц}$ .  $k_c=0,95$ .

## 4 кесте – Өз нұсқасына арналған деректер

Параметр	Трансформатор түрі								
	ТМ-1000/35	ТМ-50/6	ТМ-100/6	ТМ-180/6	ТМ-320/6	ТМ-560/35	ТМ-750/35	ТМ-1000/6	ТМ-10/6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Негізгі магнит ағыны $\Phi_{\text{мах}}$ , Вб	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Орамдар саны $\omega_1$	1600	1190	—	—	522	2000	—	—	—
Орамдар саны $\omega_2$	—	—	72	—	—	—	146	—	—
Магнит өткізгіштің өзегінің қимасы $Q_{\text{ст}}$ , м <sup>2</sup> , егер $B_{\text{мах}}=1,5 \text{ Тл}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Кернеу $U_{1\text{ном}}$ , кВ	35	6	6	6	6	35	35	6	6



## 3 кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кернеу U <sub>2ном</sub> , кВ	—	0,4	0,5	0,5	0,4	—	3,15	0,4	0,4
Трансформация коэффициент k	5,56	—	—	—	—	5,55	—	—	—

ТМ 1000/35 трансформатор маркасымен нұсқа шешімі

1 НН қысқыштар орамасының кернеу

$$U_{2ном} = U_{1ном}/k = 35 / 5,56 = 6,3 \text{ кВ}$$

2 НН фазалық орамасының орамдар саны

$$\omega_2 = \omega_1/k = 1600/5,56 = 288 \text{ орам}$$

3 Негізгі магнит ағының максималдық мәні

$$\Phi_{max} = U_{2ном}/(\sqrt{3} \cdot 4,44 \cdot f \cdot \omega_2) = 6300 / (1,73 \cdot 4,44 \cdot 50 \cdot 288) = 0,057 \text{ Вб}$$

4 Магнит өткізгіштің өзегінің көлденең қима ауданы

$$Q_{ст} = \Phi_{max}/(B_{max} \cdot k_c) = 0,057 / (1,5 \cdot 0,95) = 0,04 \text{ м}^2$$

### 1.9 Бақылау сұрақтары

- 1 Арнайы қызметке арналған трансформаторларды ата?
- 2 Кернеу трансформаторлардың бірінші және екінші орамаларының қызметті.
- 3 Трансформатор майының қызметі.
- 4 Кернеу трансформаторындағы электрлік және магниттік шығындардың физикалық мәні.
- 5 Кернеу трансформаторының трансформациялау коэффициентті деген не ?
- 6 Кернеу трансформаторының бірінші және екінші ЭҚК- терінің әрекеттегі мәндері неге тең?
- 7 Трансформатор қабылдаған электр қуатын неге жұмсайды?
- 8 Трансформатордың қандай қуат шығындарын білесін ?
- 9 Кернеу трансформаторы не мақсатта қолданылады?
- 10 Трансформатордың электромагниттік шашылуы деп нені айтады?
- 11 Трансформатор не үшін керек құрылғы? Қандай жерлерде қолданылады?
- 12 Трансформаторларда ферромагнит өзек не үшін керек?
- 13 Не себепті трансформатордың өзегі магнитті- жұмсақ электротехникалық болат табақшалардан жинастырылып, бір- бірінен лакпен оқшауланады?

- 14 Трансформатордың әрекеттік парқын түсіндіріңіз.
- 15 Бос жүріс және қысқа тұйықтау тәжірибелер қандай мақсатпен жүргізіледі және қалай орындалады?
- 16 Жүктелу коэффициентті деген не және ол нені көрсетеді?
- 17 Трансформатордың пайдалы әрекет коэффициенті деген не және ол қандай өрнекпен анықталады?
- 18 Трансформаторға қарағанда автотрансформатордың артықшылығы қандай?
- 19 Трансформатордың қандай қуат шығындарын білесін ?
- 20 Трансформатордың бос жүріс тәжірибесі қандай мақсатпен орындалады?
- 21 Ток трансформаторы қандай мақсатпен қолданылады ?
- 22 Трансформатордың қуат шығындарының қандай түрлері болады?
- 23 Кернеу трансформаторы не мақсатта қолданылады?
- 24 Трансформатордың электромагниттік шашылуы деп нені айтады?
- 25 Трансформатордың болат өткізгішіндегі шығындар неге байланысты?
- 26 Параллель жұмыс кезіндегі трансформаторлардан дұрыс нәтеже алу үшін не керек?
- 27 Зигзаг сұлба бойынша қосылған трансформатор қайда қолданылады:
- 28 Трансформатор кернеуін реттеу үшін қандай тәсіл қолданылады?
- 29 Өлшеуіш ток трансформаторы қандай режимде жұмыс істеуге жасалынған?
- 30 Үш фазды трансформатордың пайдалы қуаты қалай табылады?

## Тақырып 2 Асинхронды машинаның әр түрлі жұмыс режимдегі электрмагниттік үрдістер

**Мақсаты:** Асинхронды машинаның әр түрлі жұмыс кезіндегі электр параметрлерді тәжірибе жүзінде анықтау

### Жоспар:

- 2.1 Теориялық түсініктеме
- 2.2 Асинхронды қозғалтқыштың сырғанау, ЭҚК-тің жиілігі және ротор ораманың кедергілер теңдеулері
- 2.3 Ротордың электр қозғаушы күші мен тоғының теңдеулері
- 2.4 Асинхрондық қозғалтқыштың электр желісінен тұтынатын активтік қуаты
- 2.5 Шешімдері бар мысалдар
- 2.6 Өздігінен шешуге арналған есептер
- 2.7 Жеке тапсырмалар
- 2.8 Бақылау сұрақтар

### 2.1 Теориялық түсініктеме

Электр машиналары тұрақты токта жұмыс істейтін машиналарға (коллекторлы) және айнымалы токтағы жұмыс істейтін машиналарға (асинхронды, синхронды) машиналар деп бөлінеді. Айнымалы токтағы электр машиналарда айналатын магнит өрісі пайда болады, айналу жиілігі желідегі токтың жиілігіне байланысты.

Орыстың белгілі электртехнигі М.О. Доливо-Добровольский 1889 ж. айнымалы токтағы үш фазалы жүйе үшін орындады, бірінші болып үш фазалық асинхронды қозғалтқышты және де бірінші болып үш фазалық трансформаторды құрастырды.

Механикалық энергияны электрлік энергияға түрлендіретін электр машинасын генератор деп аталады. Барлық электрлік энергия электрлік станцияларда орнатылған айнымалы токтағы (синхронды) генераторлармен өндіріледі. Электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіру қозғалтқыштар арқылы орындалады. Кез келген электрлік машинаны екі түрде қолдануға болады: генератор негізінде немесе электрлік қозғалтқыш негізінде. Электрлік машиналардың түрлендіретін энергияның бағытын өзгерту қасиетін қайтымдылық деп аталады.

Электр машиналарда жүретін электрмагниттік процестер, яғни жұмыс істеген кездегі процестер электрмагниттік индукция заны бойынша орындалады. Егер тұрақты магниттердің полюстердің магниттік өрісіне немесе электрлік магниттердің (15 – сурет )  $N$  және  $S$  өткізгіш орнатсақ және оған сыртқы қандай да бір күшпен  $F_1$  оны айналдырсақ, онда электр қозғауыш (ЭҚК) пайда болады.

$$e = Blv \sin \alpha = Blv, \quad (64)$$

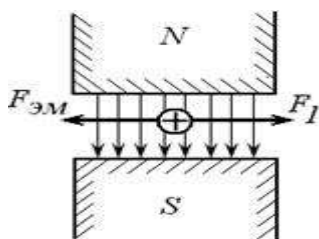
мұндағы  $B$  - өткізгіштің магниттік индукциясы;

$l$  - өткізгіштің ұзындығы;  
 $V$  - өткізгіштің магнит өрісіндегі ығысу жылдамдығы;  
 $\alpha$  - магниттік индукция және өткізгіштің ығысу жылдамдығы арасындағы векторлар бұрышы

Қарастырылған өткізгіште индукцияланатын ЭҚК бағыты, оң қол ережесімен анықталады. Егер өткізгіш қандай да бір энергияны тұтыну кедергіге тұйықталса, онда пайда болған электр тізбекте ЭҚК әсерінен  $I$  ток жүреді, оның бағыты ЭҚК бағытына сәйкес келеді. Нәтижесінде өткізгіш тогымен полюстердің магниттік өрісімен өзара әрекетінен электромагниттік күш болады оның бағыты сол қол ережесімен анықталады

$$F_{эм} = lBI, \quad (65)$$

Бұл күш  $F_1$  күшіне қарсы бағытталған және  $F_{эм} = F_1$  болғанда өткізгіш тұрақты жылдамдықпен ығысады. Сонымен өткізгішті ығыстыруға жұмсалатын механикалық энергия, сыртқы тұтынушылардың кедергісіне берілетін түрленген электр энергиясында, машина генераторлық режимде жұмыс істейтін болады.



15 сурет – Электр машинасының әрекет ету принципі

Айнымалы токта жұмыс істейтін электр машиналары бір фазалы және үш фазалы болу мүмкін, әрекет ету парқына синхронды және асинхронды боп табылады.

Генераторлар негізінде электр станцияларда синхронды машиналар кеңінен қолданылады және барлық өндірілетін электр энергиясы осы генераторлармен шығарылады. Асинхронды типті электр машиналарда энергияны түрлендіру үрдісі магнит өрісінің айналу жиілігіне тең емес, яғни ротордың айналу жиілігіндегі синхронды емес (асинхронды) жиілікте өзгереді.

Бірқатар маңызды ерекшеліктеріне қарай, асинхронды типті электр машиналарды электр қозғалтқыштар бойынша қолданады. Өндірісте ең көп таралған шамамен 45%-50% электр энергияны желіден көректенетін асинхронды электр қозғалтқыштар.

## 2.2 Асинхронды қозғалтқыштың сырғанау, ЭҚК-тің жиілігі және ротор ораманың кедергілер теңдеулері

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс істеу принцип бойынша ротордың айналу жиілігі  $n_2$  статор өрісінің айналу жиілігінен  $n_1$  кем екендігін анық. Егер айналу жиіліктері, яғни ротордың және статордың  $n_2=n_1$  болса, онда орамасының орамдары статордың айналып тұрған магнит өрісін қыйылып өтпеген болар еді, демек, ротордың орамасында ЭҚК индукцияланбас еді. Сол себептен ротордың орамасында  $I_2$  тоғы болмайды да айналдырушы иінкүште болмайды.

Электр машиналардың ротордың статор айналушы магнит өрісінен артта қалу дәрежесі сырғанау  $S$  арқылы анықталады. Сырғанау  $S$  шамасы  $n_1$  мен  $n_2$  айырымының статор өріс жиілігіне қарағанда сылыстырмалы мәнімен анықталады:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (66)$$

Бұдан

$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{f_1}{p}(1 - S). \quad (67)$$

Ротордың орамасында индукцияланған  $E$  ЭҚК-інің жиілігі келесі өрнектен анықтауға болады:

$$f_2 = p(n_1 - n_2) = pn_1 \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 S \quad (68)$$

Яғни, осы өрнектен желедегі жиілігі  $f_1$  ЭҚК-і сырғанауға тура пропорционал өзгереді (сырғанау жиілігі деп аталады).

Қозғалтқыш тоқтап тұрған кезде яғни  $n=0$ ,  $s=1$  де, ал  $n=n_c$  болса, осы жұмыс режимде сырғанау нольге тең  $s=0$ . Жүктемелік асинхрондық қозғалтқыштардың номинал сырғанау әдетте 0,015... 0,08 шамасында болады.

Роторды магнит өрісі  $n_c$  -  $n$  жылдамдықпен қиып өтіп отыратындықтан, ротордың ЭҚК-і мен тоғының жиілігі келесі өрнекпен анықталады

$$f_2 = \frac{(n_c - n)p}{60} = \frac{n_c - n}{n_c} f_1 = s f_1. \quad (69)$$

Ротор тоқтап тұрған кезде  $f_1=f_2$ , өйткені  $s=1$

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (70)$$

мұндағы  $n_2$  - ротордың жылдамдығы (айн/мин);  
 $f_1$  - ток жиілігі (50 Гц-өндiрiстiк);  
 $p$  – ротордың жұп полюстер саны

Электр желiдегi белгiлi жиiлiгi ( $f=50$  Гц) синхрондық машинаның айналу жылдамдығын жұп полюстер саны берiлген кезде анықтайды. Егер де үлкен қуатты электр машинаның жұп полюстер саны  $p=1$  және  $p=2$  болса, онда айналу жылдамдығы  $n=3000$  ай/мин және  $n=1500$  ай/мин болады яғни мұндай үлкен қуатты электр машиналардың айналу жылдамдығы да өте үлкен болады (5 кесте).

5 кесте – Синхрондық жылдамдықтың жұп полюс саннан тәуелдiлiгi

Полюс саны, р	1	2	3	4	5	6
Айналу жылдамдығы $n_1$ , айн/мин	3000	1500	1000	750	600	500

Асинхронды электр қозғалтқыш трансформатор сияқты жұмыс iстейдi, яғни электромагниттік индукция заңы бойынша, осында трансформаторлық ЭҚК-тер мен магниттеушi токтар теңдеуi асинхронды қозғалтқыш үшін де орынды. Мұнда статордың ЭҚК-i анықтау формуласы

$$E_1 = 4,44w_1f_1\phi_M \quad (71)$$

ротордың ЭҚК-i анықтау формуласы

$$E_1 = 4,44w_2f_2\phi_M = 4,44w_2sf_1\phi_M = sE_{2T} \quad (72)$$

мұндағы  $E_{2T} = 4,44w_2f_1\phi_M$  - тоқтап тұрған ротордың ЭҚК-i

Ротордың индуктивтік кедергісі анықталады келесі теңдеумен

$$X_2 = 2\pi f_2L_2 = 2\pi sf_1L_1 = sX_{2T} \quad (73)$$

мұндағы  $X_{2T} = 2\pi f_1L_2$  - тоқтап тұрған ротордың индуктивтік кедергісі

Статордың тогы анықталу формуласы

$$i_1 = i_6 + i_2' \quad (74)$$

мұндағы  $i_6$  - статордың бос жүріс ток;  
 $i'_2$  — ротордың келтірілген ток.

Ротордың тогы келесі теңдеумен аны

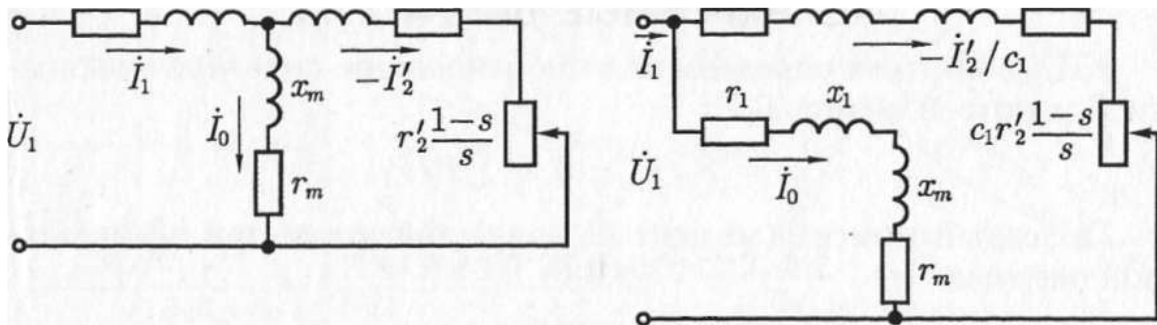
$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{sE_{2T}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{2T})^2}} \quad (75)$$

Бұл теңдеу ден ротор орамасының тогы ротор тоқтап тұрған кезде өзінің максимал мәніне жетеді. Ротордың тоқтап тұрған күйі қозғалтқышты жүргізіп жіберу мезетіне сәйкес келетіндіктен, сырғанау  $s=1$  кездегі статордың тогын іске жүргізіп жіберу тогы деп атайды.

Асинхронды қозғалтқыштардың жіберу тогы оның номинал тогынан 5...7 есе шамасында артық болады, яғни  $I_{ж}=(5...7)I_n$  тең.

Фазалық роторлы қозғалтқыштың роторына жалғанатын жіберу реостаты негізі осы жіберу тогын азайтуға арналған. Әдетте ол тек іске жүргізіп жіберу мезетіне ғана қосылады.

Асинхронды қозғалтқышқа электрлік алмастыру сұлбасы (16 – суретте ) тиісті келтірілген және ЭҚК пен токтардың жүйе теңдеулер анықталған.



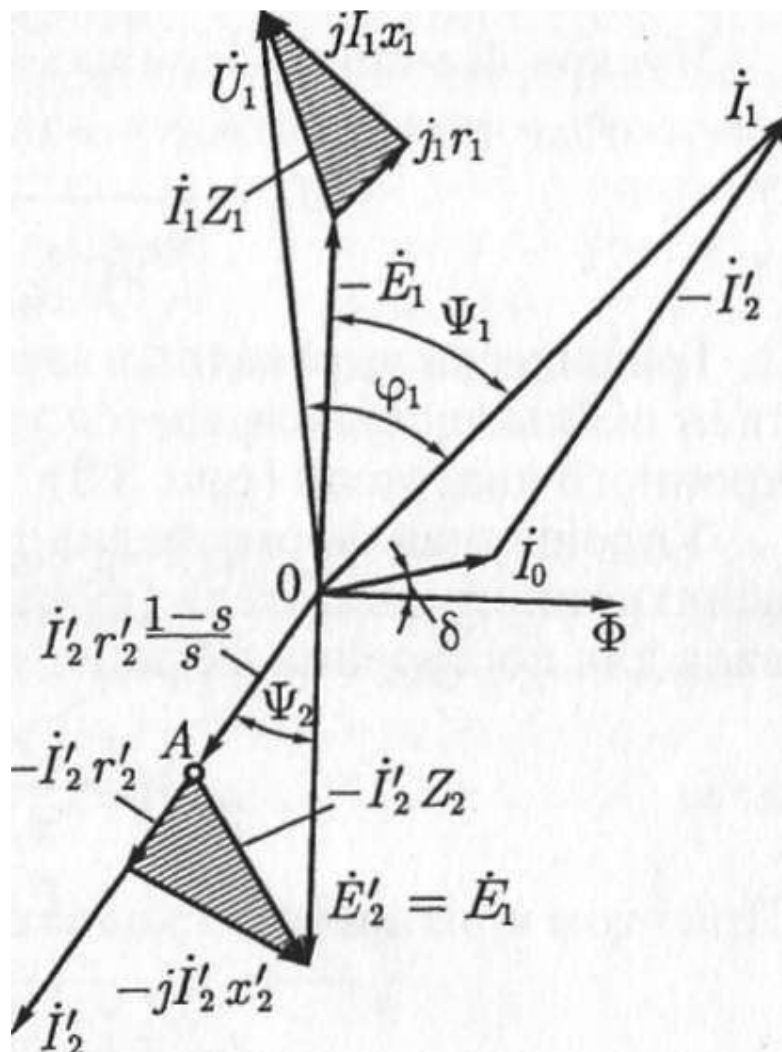
16 сурет – Асинхронды қозғалтқышқа электрлік алмастыру сұлбасы

Асинхронды қозғалтқыштың негізгі теңдеулер бойынша векторлық диаграмма тұғызылады 16 – сурет.

$$U_1' = \left( -\dot{E}_1 \right) + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \quad (76)$$

$$E_2' = j \dot{I}_2 x_2' + \dot{I}_2 r_2' + \dot{I}_2 r_2' (1-s) \setminus s \quad (77)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \left( -\dot{I}_2 \right) \quad (78)$$



17 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграмма

### 2.3 Ротордың электр қозғаушы күші мен тоғының теңдеулері Асинхронды қозғалтқыштың айналдырушы моменті

$$M = C\Phi\cos\alpha \tag{79}$$

Теңдеуді түрлендіру бойынша

$$M = C_M U_1^2 \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_{2T})^2} \tag{80}$$

Максималдық момент

$$M_T = C_M \frac{U_1^2}{2X_{2T}} \tag{81}$$



Іске жүргізіп жіберу иінкүш

$$M_{жс} = C_M U_1^2 \frac{R_2}{R_2^2 + X_{2T}^2} \quad (82)$$

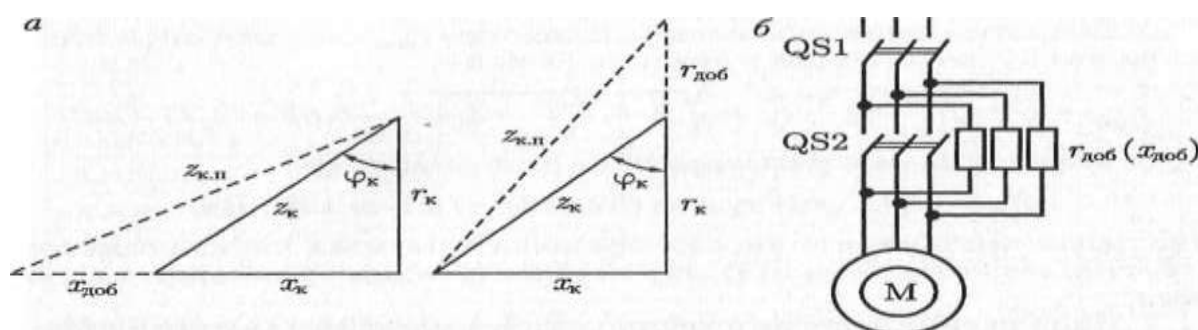
мұндағы  $C$ ,  $C_M$  — тұрақты коэффициенттері;

$\alpha$  — ротордың тогы мен магниттік индукциясының фазалығы бұрышы

Роторға жіберу реостаты қосылған болса, онда жіберу моменті

$$M_{жс} = C_M U_1^2 \frac{R_2 + R_{жс}}{(R_2 + R_{жс})^2 + X_{2T}^2} \quad (83)$$

Мұнда егер жіберу реостатының кедергісін өзгерте отырып, қозғалтқыштың айналдырушы моментін және одан тәуелді шамасын — айналу жиілігін реттеуге болады деп тұжырым болады (18 – сурет)



18 сурет – Қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың іске қосу тогының төмендеуі сұлбасы

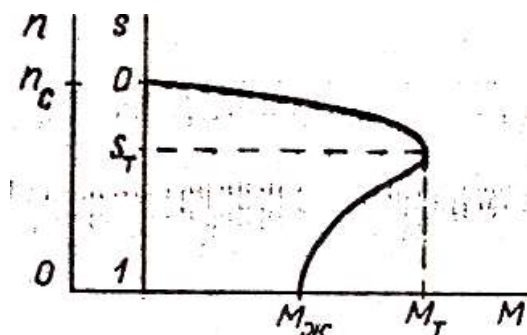
- а) векторлық диаграммалар
- б) қосымша кедергілерді қосу электрлік сұлбасы

Егерде екі өрнекті (82) және (83) бір біріне бөлсек, онда біз қолданымда кен тараған Клосс өрнегін табамыз:

$$M = \frac{2M_T}{\frac{s_T}{s} + \frac{s}{s_T}} \quad (84)$$

мұндағы  $s_T$  — төңкерме моментке сәйкесті жікайналым

Асинхронды қозғалтқыштың айналу жылдамдығының айналдырушы иінкүштен тәуелділігін, яғни  $n=f(M)$  графигін, механикалық сипаттама деп атайды (19 – сурет )



19 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттама

Жүктеме өскен кезде жіқайналымның 0-ден  $s_T$  - ға дейінгі мәндерінде момент 0-ден төңкерме  $M_T$  мәніне дейін өседі және жіқайналымның  $s_T$ -дан 1-ге дейінгі мәндерінде  $M_T$  -дан жіберу мәнен  $M_ж$  дейін азаяды. Мұны басталқыда токтың өсуі моменттің өсуін тудырса, кейін индуктивтік кедергінің өсуі салдарынан  $\cos \alpha$ -нің азаюы моменттің азаюына әкеліп соғады деп түсіну болады.

Төңкерме моменттің номинал моменттіңе қатынасын келесі өрнектен анықталады

$$\lambda_T = \frac{M_T}{M_H} \quad (85)$$

төңкерме моменттің еселігі немесе электр қозғалтқыштың асқын жүктемелуі қабілеттілігі, ал жіберу моментінің номинал иінкүшке қатынасын жіберу моментінің еселігі деп атайды.

$$\lambda_ж = \frac{M_ж}{M_H} \quad (86)$$

Төңкермелі және іске жіберу моменттер еселігі электр қозғалтқышты қандай максимал және жіберу кезіндегі кедергі моментер үшін қолдануға болатындығын анықтауға мүмкіндік береді.

#### 2.4 Асинхрондық қозғалтқыштың электр желісінен тұтынатын активтік қуаты

Асинхрондық электр қозғалтқыштың электр желіден тұтынатын активтік қуаты келесі өрнектен анықталады

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = m_1 E_1 I_1 \cos \psi_1 + m_1 I_1^2 R_1. \quad (87)$$

Статорға беретін активті қуаттың түпкілікті өрнек

$$P_1 = m_1 I_1^2 R_1 + m_1 E_1 I_0 \sin \delta + m_1 E_1 I_2' \cos \psi_2 = P_{\Sigma 1} + P_{M1} + P_{\Sigma M}, \quad (88)$$

мұндағы  $P_{\Sigma 1}$ - статор орамасындағы электрлік шығындары;  
 $P_{M1}$ - статор өзекшесіндегі магниттік шығындар;  
 $P_{\Sigma M}$ - айналдыру магнит өрісі арқылы ротор тізбегіне берілетін электрмагниттік қуат.

Электр қозғалтқыштың тұтынатын реактивті қуат үшін

$$Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 = m_1 E_1 I_1 \sin \psi_1 + m_1 I_1^2 X_1 \quad (89)$$

Жоғарыда көрсетілген өрнектің аналитикалық терленуіден кейін анықтаймыз келесі өрнек

$$Q_1 = m_1 E_1 I_2' \sin \psi_2 = m_1 I_1^2 X_1 + m_1 E_1 I_0 \cos \delta. \quad (90)$$

Яғни электр қозғалтқыштың электр желінен реактивті қуаты статор магниттік өрісін тудыруға, статордың және ротордың өзекшелерінің магниттеуге, сонымен бірге роторға оның орамасының магнитті сейілу өісін тудыруға қажетті реактивті қуатты беру үшін жұмсалады.

Энергияның асинхрондық қозғалтқыштағы түрленуін және оның ішіндегі шығындарды анықтайтын энергетикалық диаграмма 20 – суретте көрсетілген.

Айналмалы магнит өрісінің электр магниттік қуаты

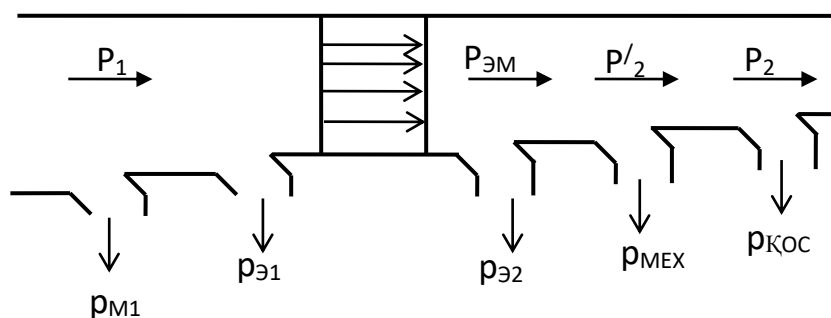
$$P_{\Sigma M} = P_1 - (P_{\Sigma 1} + P_{M1}) \quad (91)$$

Статордан ротор білігіне берілетін қуаты

$$P_2' = P_{\Sigma M} - P_{\Sigma 2} \quad (92)$$

Ротордың білігіндегі пайдалы механикалық қуаты

$$P_2 = P_2' - P_{\text{MEK}} - P_{\text{KOC}} \quad (93)$$



20 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың энергетикалық диаграммасы

$p_{Э2}$  – статор орамасындағы электр шығындар;  
 $p_{МЕХ}$  – роторда болған механикалық шығындар;  
 $p_{КОС}$  – басқа қосымша шығындар

Статор өрісінің бұрыштық жылдамдығын арқылы, ал роторды арқылы белгілесек болатыны

$$p_{Э2} = \Omega M; \quad P'_2 = \Omega_2 M. \quad (94)$$

Осында  $P_{ЭМ} = P_{ЭМ} - P'_2 = (\Omega_1 - \Omega_2)M$  бірақ сырғанама формула бойынша  $S = (n_1 - n_2)/n_1 = (\Omega_1 - \Omega_2)/\Omega_1$  болғандықтан

$$p_{Э2} = \Omega_1 S M = P_{ЭМ} S \quad (95)$$

Сонымен, ротор тізбегінің орамаларындағы шығындар айналмалы магнит өрісінің қуатын сырғанау көбейткенге тең

(95) – теңдеуден асинхронды қозғалтқыштың айналдыру моменттің өрнегі болып табылады.

Толық айналдырушы момент

$$M = \frac{P_{ЭМ}}{\Omega_1} = \frac{P'_2}{\Omega_2}. \quad (96)$$

Асинхрондық электр қозғалтқыштың нақтылы (номинал) моменті  
 Асинхрондық қозғалтқыштың нақтылы (номинал) моменті нақтылы (номинал) сырғанау кезінде және біліктегі жүктеме нақтылы (номинал) мәніне тең болғанда пайда болады.

Нақтылы (номинал) момент келесі формуламен табылады:

$$M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_{2H}} \quad (97)$$

мұндағы  $P_H$ -қозғалтқыштың нақты (номинал) қуаты, Вт;  
 $n_{2H}$ -ротордың нақты (номинал) айналу жиілігі

Номиналдық режимде негізгі параметрлерінің белгісі:

$$M_{\text{НОМ}}, P_{\text{НОМ}}=P_{2\text{НОМ}}, n_{\text{НОМ}}= n_{2\text{НОМ}}.$$

*Қозғалтқыштың пайдалы әрекет коэффициентін анықтау*  
 Қозғалтқышының биліктегі пайдалы қуат

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi, \quad (98)$$

мұндағы  $U_{\text{л}}, I_{\text{л}}$  – ток және кернеунің желілік мәндері;  
 $\eta$  – қозғалтқышының ПӘК;  
 $\cos \varphi$  – қозғалтқышының қуат коэффициенті

Осы формуладан желілік тогы

$$I_{\text{л}} = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \quad (99)$$

Асинхрондық қозғалтқыштың ПӘК-і пайдалы қуаттың  $P_2$  қозғалтқышқа берілген қуатқа  $P_1$  қатынасына тең, яғни

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (100)$$

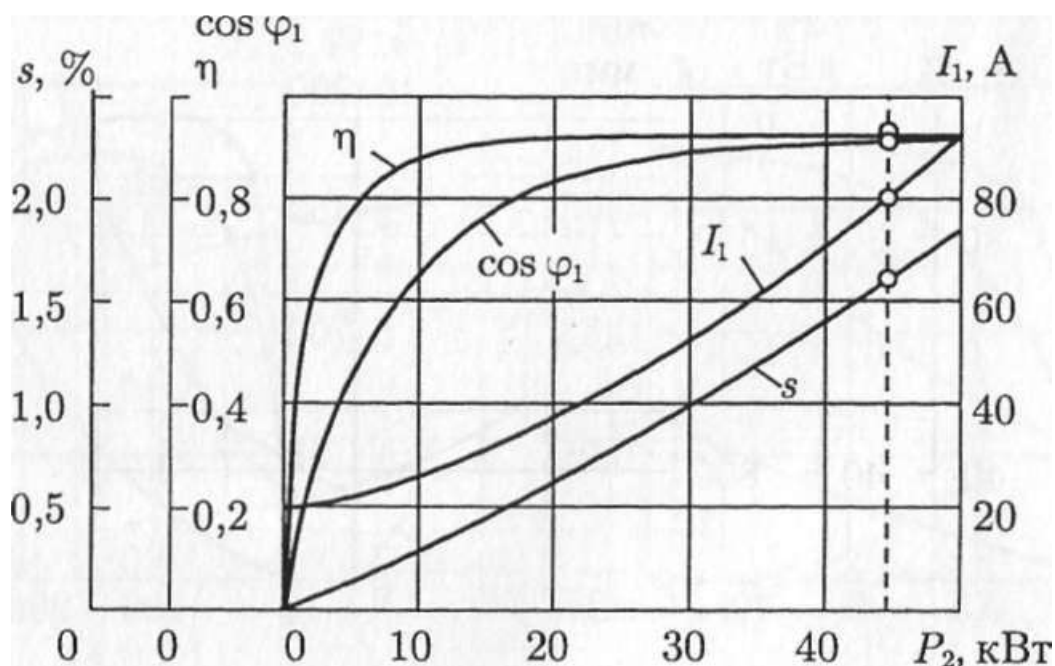
мұндағы  $p_1$  - желіден көректенетін активті қуат

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi \quad (101)$$

*Асинхронды қозғалтқыштың жұмыстық сипаттамалары*

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыстық сипаттамалары деп айналу жиілігінің  $n_2$ , тудырылатын айналдырушы моменттің  $M$ , қуат коэффициентінің  $\cos \varphi_1$ , және пайдалы әрекет коэффициентінің  $\eta$  қозғалтқыштық білігіндегі пайдалы активтік қуатқа  $P_2$  тәуелділіктерін айтады.

21 – суретте Асинхронды қозғалтқыштың жұмыстық сипаттамалары.



20 сурет – Асинхронды қозғалтқыштың жұмыстық сипаттамалары

## 2.5 Шешімдері бар мысалдар

### Мысал 13

Үшфазалық қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыш сырғанауы  $s=4\%$  тең жұмыс істейді. Белгілі параметрлері: қозғалтқыш қысқыштағы кернеу жілігі  $f=50$  Гц, айналу магнит ағынының саны  $\Phi=0,01$  Вб, статордың бір фазаның орама саны  $\omega_1=100$ , ротордың бір фазаның орама саны  $\omega_2=1$ , статордың орама коэффициенті  $k_1=0,95$ , ротордың орама коэффициенті  $k_2=1$ .

*Анықтау:*

Қозғалтқыштың ротор және статор фазасының индукцияланатын ЭҚК-ін анықтау. Қозғалтқыштың ротор фазасында ЭҚК-і  $E_2$  табу сырғанау  $s=1$  жағдайда және электр қозғалтқыш бос жүріс жұмыста айналғанда

*Шешуі:*

Қоректену кернеуі қозғалтқыштың статор орамасына жүргізілген, сондықтан статордағы ток жілігі  $f_1=f=50$  Гц, ал ротордағы ток жілігі  $f_2=sf_1=0,04 \cdot 50$  Гц = 2 Гц

Фазалық ЭҚК

Статорда

$$E_1 = 4,44w_1f_1\phi_M = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,95 \cdot 100 \cdot 0,01 = 211 \text{ В}$$

Роторда

$$E_1 = 4,44w_1f_1\phi_M = 4,44 \cdot 0,4 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,01 = 0,0888 \text{ В}$$

ЭҚК әрекеттік мәні  $E_2$  қозғалтқыштың ротор фазасында сырғанаудан тәуелді. Сырғанау өскен сайын ЭҚК  $E_2$  өседі. Ротор жүктелуі кезінде сырғанау өсе бастайды. Егер ротор толық тоқталса, онда сырғанау  $s=1$ , ал ЭҚК оның фазасында

$$E_{2\text{ном}} = 4,44 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,01 = 2,22 \text{ В}$$

Егер қозғалтқыш толық жүктелмеген болса ( бос жүріс режимінде жұмыс атқарса) онда қозғалтқыштың тоқтауы тек қана үйкеліс есебінен пайда болады (ауа және мойынтіректерде), осында ротордың айналу жылдамдығы магниттік өрісінің айналу жылдамдыққа жақындау болады, ал сырғанау  $s \approx 0$

Бос жүрістегі ротордың фазалық ЭҚК  $E_{2x} \approx 0$

### Мысал 14

Үшфазалық қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыш А2 бірыңғай белгілі параметрлерімен сипатталады: Көректену кернеуі  $U = 380/220 \text{ В}$ , қуат тогының жиілігі  $f = 50 \text{ Гц}$ , Полюс саны  $2p = 6$ , номиналдық қуаты  $P_{\text{ном}} = 10 \text{ кВт}$ , номиналды айналу жылдамдығы  $n_2 = 965 \text{ айн/мин}$ , қозғалтқыштың номиналдық жүктемедегі пайдалы әрекет коэффициенті  $\eta = 87\%$ , номиналдық жүктемедегі қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,86$ , іске қосу тогының қатынасы  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 7$ , іске қосу моменттің қатынасы  $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}} = 1,2$ , қозғалтқыштың аса жүктелу қабілеті  $M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}} = 1,8$ . Қозғалтқыш білікке дамыта алатын максималды қуат  $P_{\text{мах}} = 16 \text{ кВт}$

*Анықтау:*

- А) номиналдық, максималдық және іске қосу айналу моменттерін;
- Б) білікке номиналды жүктеме кезінде сырғанау, максималдық жүктемеде және іске қосу кезінде;
- В) қозғалтқыштың номиналдық және максималдық токтарын;
- Г) қозғалтқышты желілік кернеуге  $220 \text{ В}$  қосқан кезде іске қосу тогын табу, егер қозғалтқыштың орамалары жұлдызша жалғанған жағдайда.

*Шешуі:*

Қозғалтқышының номиналдық жүктемедегі айналу моменті

$$M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_{2H}} = 9,55 \cdot 10000 / 965 = 98,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Асинхронды қозғалтқыштың аса жүктелуі қабілетінің сипаттайтын максималдық (төңкерме) момент

$$M_{\text{мах}} = 1,8 \cdot M_{\text{ном}} = 1,8 \cdot 98,96 = 178,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Қозғалтқышының іске қосу моменті

$$M_{\text{пус}} = 1,2 \cdot M_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 98,96 = 118,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Асинхронды қозғалтқыштың магниттік өрісінің айналу жылдамдығы

$$n_1 = \frac{60f}{p} = 60 \cdot 50 / 3 = 1000 \text{ айн} \backslash \text{мин}$$

Номиналдық жүктемеде сырғанау

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 965}{1000} = 0,035 = 3,5\%$$

Асинхронды қозғалтқыш ротороның айналу жылдамдығы  
максималдық жүктеде

$$n_2' = 9,55 \frac{P_{max}}{M_{max}} = \frac{9,55 \cdot 16000}{178,1} = 858 \text{ айн} / \text{мин}$$

Максималдық жүктемеде сырғанау

$$s' = \frac{n_1 - n_2''}{n_1} = \frac{1000 - 858}{1000} = 14,2\%$$

Асинхронды қозғалтқыш іске қосқанда кезеінде сырғанау ( $n_2=0$ )

$$s_{пуск} = \frac{n_1 - n_2''}{n_1} = \frac{n_1}{n_1} = 1$$

Асинхронды қозғалтқыш желіден көректенетін активтік қуаты  
номиналдық жүктемеде

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta} = \frac{10}{0,87} = 11,5 \text{ кВт}$$

Асинхронды қозғалтқыш желіден көректенетін толық қуаты  
номиналдық жүктемеде

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi} = \frac{11,5}{0,87} = 13,365 \text{ кВА}$$

Асинхронды қозғалтқыштың сипаттамасында көректену кернеуі  $U = 380/220$  В көрсетілген кейін, яғни қозғалтқыштың орамалары 220 В кернеуіне есептелген. Егер қозғалтқыш үш фазалы жүйеге желілік кернеуімен 220 В қосылған болса,



онда қозғалтқыштың орамалары үшбұрышша жалғанады. Егер қозғалтқыш үш фазалы жүйеге желілік кернеуімен 380 В қосылған болса, онда қозғалтқыштың орамалары жұлдызша жалғанады. Әр орамаға  $380/\sqrt{3} = 220$  В тура келетінеді. Бұл жағдайда орамалар қызып кетпейді.

Егер қозғалтқыш үш фазалы жүйеге желілік кернеуімен 220 В қосылған болса, іске қосу реостаттарын қолданбай іске қосу тогын азайтуға болады. Ол үшін қозғалтқыштың орамалары іске қосылған кезде жұлдызша қосылады, ал қозғалтқыш жылдамдықты алған кезде олар үшбұрышқа ауысады.

Қозғалтқышты іске қосу жүктеме ажыратылған кезде жүргізіледі

Қозғалтқыш желілік кернеуімен  $U_{ж} = 380$  В номиналдық жүктемеде көректенетін ток

$$I_{л} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{13365}{\sqrt{3} \cdot 380} = 20,3 \text{ А}$$

Бұл ретте іске қосу тогы

$$I_{пус} = 7 I_{л} = 7 \cdot 20,3 = 142,3 \text{ А}$$

Қозғалтқыш желілік кернеуімен  $U_{ж} = 220$  В номиналдық жүктемеде көректенетін ток

$$I_{л} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{13365}{\sqrt{3} \cdot 220} = 35,12 \text{ А}$$

Бұл ретте іске қосу тогы

$$I_{пус} = 7 I_{л} = 7 \cdot 35,12 = 246 \text{ А}$$

Мұндай ток, егер оның қуаты жеткіліксіз болса, желінің қуат көзінің шамадан тыс жүктелуіне, сондай-ақ басқа да жағымсыз салдарға әкелуі мүмкін

Іске қосу тогын азайту үшін қозғалтқышты 220 В желілік кернеуі бар желіге қосамыз. Бұл жағдайда іске қосу токты табыңыз.

Кәдімгі іске қосу кезінде, орамалар үшбұрышша байланысқан кезде, әр катушка желілік кернеуде болады, ал ол арқылы өтетін ток  $\sqrt{3}$  есе желілік токтан аз. Катушканың толық кедергісін Ом заңы бойынша табуға болады.

$$z = \frac{U_{ж} \cdot \sqrt{3}}{I_{пус}} = \frac{220 \cdot \sqrt{3}}{246} = 1,546 \text{ Ом}$$

Егер қозғалтқыштың орамалары жұлдызша қосылған кезде іске қосылса, онда әрбір орам фазалық кернеуде болады

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{ж}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}$$

Қедергі  $z$  токқа тәуелді емес деп есептейміз, онда катушкадағы ток желілік токқа тең болады

$$I'_{\text{пуск}} = \frac{U_{\phi}}{Z} = \frac{127}{1,546} = 82 \text{ А}$$

Осылайша, қозғалтқыштын үшбұрыштан жұлдызға іске қосу үшін ораманы ауыстыру бастапқы токты үш есе азайтады. Шынында да.

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I'_{\text{пуск}}} = \frac{246}{82} = 3$$

### **Мысал 15**

Асинхронды қозғалтқыш түйіспелі сақиналарымен АОК2 сериялы мен белгілі параметрлерімен сипатталады: желіден көректенетін қуаты  $P_{1\text{ном}}=8,9$  кВт,  $U = 380/220$  В, көректену кернеуі  $U_{\text{ж}} = 380/220$  В, қуат коэффициенті  $\cos \varphi_{\text{н}}=0,82$ , ротор фазасындағы ток  $I_{2\text{ном}}=35$  А, ротор фазасының кедергісі  $R_2=0,095$  Ом, статор фазасының кедергісі  $R_1=0,65$  Ом, болаттағы шығындар  $P_{\text{ст}}=170$  Вт, механикалық шығындар,  $P_{\text{мех}}=90$  Вт, қосымша шығындар  $P_{\text{доб}}=40$  Вт

*Анықтау:*

Қозғалтқышының номиналдық жүктемедегі пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК  $\eta$  анықтау

*Шешуі:*

Білікке номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыштың желіден тұтынатын жалпы қуаты

$$S_1 = \frac{P_{\text{ном1}}}{\cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{8,9}{0,82} = 10,85 \text{ кВА}$$

380 В желілік кернеуімен қозғалтқышты желіден қуаттандыру кезінде оның орамалары жұлдызша жалғану тиіс, егер 220 В желілік кернеуімен қозғалтқышты желіден қуаттандыру кезінде оның орамалары үшбұрышша жалғану тиіс.

Қозғалтқыш орамаларын қосу кезінде

- *жұлдызша*

$$I_{\text{л}} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{10850}{\sqrt{3} \cdot 380} = 16,5 \text{ А}$$

- үшбұрышша

$$I_L = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{10850}{\sqrt{3} \cdot 220} = 28,5 \text{ А}$$

Бірінші жағдайда

$$I_\phi = I_L = 16,5 \text{ А}$$

Екінші жағдайда

$$I_\phi = I_L / \sqrt{3} = 28,5 / 1,73 = 16,5 \text{ А}$$

Осылайша, қозғалтқыштың үш фазасының әрқайсысы үшін қосу схемасына қарамастан, білікке номиналды жүктеме кезінде 16,5 А ток өтеді  
Номиналды жүктеме кезінде *мыс статор шығындар*

$$P_{M1} = 3I_\phi^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 16,5^2 \cdot 0,65 = 530 \text{ Вт}$$

Номиналды жүктеме кезінде *мыс ротор шығындар*

$$P_{M2} = 3I_{2ном}^2 \cdot R_2 = 3 \cdot 35^2 \cdot 0,095 = 350 \text{ Вт}$$

Қозғалтқышының номиналды жүктемедегі пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК  $\eta$  анықтаймыз

$$\eta_{ном} = \frac{P_{1ном} - P_{\text{эл}} - P_{\text{эл2}} - P_M - P_{\text{мех}} - P_{\text{добр}}}{P_{1ном}} = \frac{8900 - 530 - 350 - 250 - 230 - 40}{8900} = 0,84$$

## 2.6 Өздігінен шешуге арналған есептер

### Мысал 16

Асинхронды қысқа тұйықтанған қозғалтқыштың роторы  $n_2=2880$  айн/мин жылдамдықпен айналады. Сырғанауы  $s=4\%$ . Статордың бір фазаның орама саны  $\omega_1=100$ . Айналу магнит ағынының саны  $\Phi=0,01$  Вб. Статордың орама коэффициенті  $k=0,95$ . Полюс саны  $2p=4$ . Статордың бір ораманың ЭҚК-ін анықтау.

*Жауабы:  $E=421,8 \text{ В}$*

### Мысал 17

Үш фазалық қозғалтқыш желіден толық қуаты  $S_1=45$  кВ·А пайдаланады. Қуат коэффициенті  $\cos \varphi=0,89$ . Қозғалтқыштың есептік қуат шығындары  $\sum P = 4$  кВт. Қозғалтқыштың ПӘК-ін анықтау.

*Жауабы:*  $\eta=90\%$

### Мысал 18

Асинхронды үш фазалық қозғалтқыштың статорында магниттік ағыны  $n_1=3000$  айн/мин жылдамдықпен айналады. Полюс саны  $2p=4$ . Сырғанауы  $s=4\%$ . Ротор орамасындағы мен желідегі токтың жиілігін анықтау

*Жауабы:*  $f=100$  Гц,  $f=4$  Гц

### Мысал 19

Үш фазалық қозғалтқыш желіге қосылған, кернеуі  $U_{ж}=220$  В, тогы  $I_{ж}=30$  А, қуат коэффициенті  $\cos \varphi=0,8$ . Қозғалтқыштың суммалық қуат шығындары  $\sum P = 1000$  Вт. Қозғалтқыштың ПӘК-ін анықтау.

*Жауабы:*  $\eta=0,89$

### Мысал 20

Асинхронды үш фазалы қозғалтқыштың роторы  $n_2=1440$  айн/мин номиналды жылдамдықпен айналады. Қозғалтқыш қысқыштағы кернеу жиілігі  $f=50$  Гц. Полюс саны 4-ке тең. Осы жағдайда қозғалтқыштың ротор фазасында ЭҚК пайда болады, ол  $E_2=0,15$  В. Іске қосу моментінде қозғалтқыштың ротор фазасының ЭҚК-ін анықтау ( $n_1=0$ )

*Жауабы:*  $E_{2H}=3,75$  В

### Мысал 21

Үшфазалық қозғалтқыш желіге қосылған, кернеуі  $U_{ж}=660$  В, тогы  $I_{ж}=50$  А, қуат коэффициенті  $\cos \varphi=0,8$ . Қозғалтқыштың ПӘК-і  $\eta=0,9$ . Қозғалтқыштың суммалық қуат шығындарын анықтау.

*Жауабы:*  $\sum P = 4,57$  кВт

### Мысал 22

Асинхронды үш фазалы қозғалтқыштың роторы  $n_2=950$  айн/мин номиналды жылдамдықпен айналады. Қозғалтқыш қысқыштағы кернеу жиілігі  $f=50$  Гц. Полюс саны 6-ға тең. Іске қосу моментінде ( $n_2=0$ ) қозғалтқыштың ротор фазасының ЭҚК-і  $E_{2H}=3$  В-қа тең. Қозғалтқыштың ротор фазасында ЭҚК-і табу, қозғалтқыш номиналды жылдамдықпен айналғанда

*Жауабы:*  $E_2=0,15$  В

### Мысал 23

Үш фазалық қозғалтқыштың валдағы қуаты  $P_2=5$  кВт, ПӘК  $\eta = 0.91$  Қозғалтқыштың суммалық қуат шығындарын анықтау.

*Жауабы:*  $\sum P = 4.95$  кВт

**Мысал 24**

Асинхронды үш фазалы қозғалтқыш кернеуі  $U_{ж}=220$  В желіге қосылған. Валдағы қуаты  $P_2=17$  кВт, ПӘК-ті  $\eta = 88\%$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,88$ . Қозғалтқыш орамалары үшбұрышша қосылған. Бір фаза статор орамасының активті кедергісі  $R_1=0,25$  Ом. Статор мысының жылу шығындарын анықтау

*Жауабы:*  $P_m=0,83$  кВт

**Мысал 25**

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш түйіспелі сақиналарымен келесі сипаттамаға ие: полюс саны  $2p=4$ , ротор айналуының номиналды жылдамдығы  $n_2=1440$  айн/мин, ротор фазасының активті кедергісі  $R_2=0,1$  Ом. Қозғалтқыш өндірістік жиілікпен желеге қосылған  $f=50$  Гц. Қосымша активтік кедергісін анықтау, оны ротордың әр фазасына қосқанда, ол номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыштың валдағы жылдамдықты 1200 айн/мин-қа дейін азайту үшін

*Жауабы:*  $R_{доб}=0,4$  Ом.

**Мысал 26**

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш келесі номиналды сипаттамаларға ие: қоректену кернеуі  $U_{ном}=380/220$  В, валдағы қуаты  $P_{ном}=22$  кВт, ПӘК  $\eta_n = 89\%$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,88$ . Іске қосу тоқтың еселігі  $I_{пуск}/I_{ном}=7$ . Статор фазалардың орамалары жұлдызша қосылған, іске қосу тоғын анықтау

*Жауабы:*  $I_{пус} = 299$  А

**Мысал 27**

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың роторы түйіспелі сақиналарымен, номиналды жүктемеде  $n_2=2880$  айн/мин жылдамдықпен айналады. Қозғалтқышта магнит өрісінің айналу жылдамдығы  $n_1=3000$  айн/мин. Ротор фазасының активті кедергісі  $R_2=0,5$  Ом. Қосымша актив кедергісін анықтау, оны ротордың әр фазасына қосқанда, ол номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыштың валдағы жылдамдықты 2700 об/мин-қа дейін азайту үшін

*Жауабы:*  $R_{доб}=0,225$  Ом.

**Мысал 28**

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш келесі номиналды сипаттамаларға ие: қоректену кернеуі  $U_{ном}=380/220$  В, валдағы қуаты  $P_{ном}=22$  кВт, ПӘК  $\eta_n = 89\%$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,88$ . Іске қосу тоқтың еселігі  $I_{пуск}/I_{ном}=7$ . Статор фазалардың орамалары үшбұрышша қосылған, іске қосу тоғын анықтау

*Жауабы:*  $I_{пус} = 516$  А

**Мысал 29**

Төртполюсті үш фазалы асинхронды қозғалтқыш өндірістік жиіліктік  $f=50$  Гц желіге қосылған. Айналу моменті 67 Н·м болғанда, қозғалтқыштың

сырғанауы  $s=5\%$ . Қозғалтқыштың соммалық қуат шығындары  $\sum P = 1,5$  кВт.

Берілген валдағы айналу моментте қозғалтқыштың ПӘК-ін анықтау

*Жауабы:*  $\eta = 0,87$

### Мысал 30

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш келесі номиналды сипаттамаларға ие: қоректену кернеуі  $U_{\text{ном}}=380/220$  В, валдағы қуаты  $P_{\text{ном}}=75$  кВт, ПӘК  $\eta_n = 85\%$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,78$ . Статор фазасының активті кедергісі  $R_1=0,07$  Ом. Статор мысының жылу шығындарын анықтау.

*Жауабы:*  $P_m = 6,2$  кВт

### Мысал 31

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш желіден қоректенетін кернеуге  $U=660/380$  В арналған. Статор фазаларының орамалары жұлдызша қосылғанда, номиналды жүктемеде қозғалтқыш желіден  $I=100$  А тогын пайдаланады. Статор фазаларының орамалары үшбұрышша қосылғандағы қозғалтқыштың тогын анықтау

*Жауабы:*  $I_{\text{жс}} = 173,7$  А

## 2.7 Жеке тапсырмалар

### Мысал 32 (01-20 нұсқалар)

Автомобиль зауытында станоктардың, желдеткіштердің және басқа да аппаратуралардың жұмысы үшін асинхронды қозғалтқыштар пайдаланылады.

Қозғалтқыштар номиналды режимде электр желіге қосылған  $U_{\text{жк}}=380$  В. Қозғалтқыштардың полюс саны және белгілі жұмыс параметрлері берілген: номиналды қуат  $P_2$ , сырғанауы  $s_{\text{ном}}$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi$ , қозғалтқыштың ПӘК-і  $\eta$ , кернеу жиілігі  $f=50$  Гц.

*Анықтау:*

1 статор магнит өрісінің айналу жиілігін  $n_1$  (синхронды жиілік) және ротордың айналу жиілігін  $n_{2\text{ном}}$

2 қозғалтқыштың тогын  $I_{\text{ном}}$

3 номиналды айналдырушы моменттің  $M_{\text{ном}}$ ,

4 қозғалтқыштың желіден қоректенетін активті қуатты  $P_1$  анықтау

Өз нұсқасына арналған деректерді б кестеден алу

6 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Нұсқа нөмірі	Қозғалтқыштың полюс саны $2p$	Номиналды қуат $P_{2\text{ном}}$ кВт	Сырғанауы $s_{\text{ном}}\%$	Қуат коэффициенті $\cos \varphi$	ПӘК-і $\eta_{\text{ном}}$
1	2	3	4	5	6
1	6	45	4,4	0,89	0,92

## 6 кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
2	6	75	4,4	0,88	0,93
3	6	37	4,4	0,87	0,94
4	6	55	4,4	0,89	0,93
5	6	20	4,4	0,88	0,93
6	6	30	4,4	0,89	0,94
7	6	75	4,4	0,90	0,95
8	6	35	4,4	0,91	0,93
9	6	55	4,4	0,88	0,93
10	8	37	2,0	0,89	0,90
11	8	45	2,0	0,84	0,91
12	8	110	2,0	0,85	0,90
13	10	20	1,5	0,92	0,80
14	10	75	3,5	0,89	0,92
15	10	45	2,5	0,92	0,94
16	10	75	1,5	0,80	0,92
17	10	20	2,5	0,88	0,93
18	10	30	1,5	0,91	0,94
19	10	37	2,5	0,93	0,95
20	10	55	1,5	0,89	0,94

**Мысал 33** (21-40 нұсқалар)

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштар металл өңдеу зауытының сүргілеу, фрезерлеу және токарлық станоктарының жұмысы үшін қолданылады. Қозғалтқыштар номиналды режимде электр желіге қосылған  $U_{ж} = 380$  В, өнеркәсіптік кернеу жиілігі  $f = 50$  Гц.

Қозғалтқыштардың полюс саны және белгілі жұмыс параметрлері берілген: номиналды қуат  $P_2$ , ротордың айналу жиілігін  $n_{2ном}$  сырғанауы, қуат коэффициенті  $\cos \varphi$ , қозғалтқыштың ПӘК-і  $\eta$ .

Анықтау:

- 1 статор магнит өрісінің айналу жиілігін  $n_1$
  - 2 сырғанауы  $s_{ном} \%$
  - 3 қозғалтқыштың тоғын  $I_{ном}$
  - 4 номиналды айналдырушы моменттің  $M_{ном}$ ,
  - 5 қозғалтқыштың желіден көректенетін активті қуатты  $P_1$  анықтау
- Өз нұсқасына арналған деректерді 7 кестеден алу

7 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Нұсқа нөмірі	Қозғалтқыштың полюс саны $2p$	Номиналды қуат $P_{2ном}$ кВт	Айналу жиілігін $n_{2ном}$ айн\мин	Қуат коэффициенті $\cos \varphi$	ПӘК-і $\eta_{ном}$
21	10	70	580	0,92	0,89
22	10	100	590	0,91	0,92
23	10	25	585	0,89	0,91
24	10	37	570	0,92	0,89
25	12	45	490	0,91	0,94
26	12	30	485	0,89	0,89
27	12	75	490	0,91	0,88
28	12	90	480	0,94	0,89
29	8	45	735	0,91	0,92
30	8	75	730	0,89	0,82
31	4	37	1460	0,93	0,84
32	4	75	1470	0,84	0,85
33	4	45	1480	0,86	0,92
34	8	5,5	735	0,81	0,81
35	8	5,5	730	0,92	0,92



## 7-кестенің жалғасы

36	6	10	980	0,81	0,89
37	8	15	735	0,91	0,91
38	6	15	980	0,86	0,89
39	6	11	975	0,87	0,87
40	6	15	980	0,91	0,94

**Мысал 34**

4А сериялы асинхронды үш фазалы қозғалтқыш кернеуі  $U_{1ж}=380$  В желіге қосылған. Статор орамалары үшбұрышша қосылғанда номиналдық берілгендері: қуаты  $P_{1ном}$ , айналу жылдамдығын  $n_{ном}$ , ПӘК-ті  $\eta$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi_{1ном}$ , іске қосу тоқтың еселігі  $\lambda_i$ , іске қосу иінкүш  $\lambda_p$ , іске қосу максималдық иінкүш  $\lambda_m$ . Кесте – 8.

*Анықтау:*

- 1) қозғалтқыштың айналу моменттерін – номиналдық, іске қосу, максималдық
- 2) номиналдық жүктемеде статор тоғын және көректенетін қуатын
- 3) статордың іске қосу тоғын және момент, статор орамалары жұлдызша жалғағанда қозғалтқышының аса жүктемелі қабілетілігін, желінің бұрынғы кернеуі кезінде
- 4) статордың қандай фазалық кернеуінде қозғалтқыш аса жүктемелі қабілетілігін жоғалтады, яғни  $\lambda_m=1$

8 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Қозғалтқыштың түрі	$P_{ном}$ кВт	$n_{2ном}$ айн\мин	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{1ном}$	$\lambda_i$	$\lambda_p$	$\lambda_m$
1	2	3	4	5	6	7	8
4АН160S4	18,5	1450	88,5	0,87	6,5	1,3	2,1
4АН200M4	45	1475	91	0,89	6,5	1,3	2,5
4АН280M4	160	1470	93,5	0,90	6,0	1,2	2,0
4АН200M6	30	975	90	0,88	6,0	1,3	2,1
4АН280M6	110	980	92,5	0,89	6,0	1,2	2,0
4АН280M8	90	735	92,5	0,86	5,5	1,2	1,9

4АН160S4 сериялы қозғалтқышының нұсқа шешімі

1 Номиналдык моменті

$$M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_{2H}} = 9,55 \cdot 18500 / 1450 = 121,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

2 Іске қосу момент

$$M_n = M_{ном} \cdot \lambda_n = 121,8 \cdot 1,3 = 158 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3 Максималдык момент

$$M_{max} = M_{ном} \cdot \lambda_M = 121,8 \cdot 2,1 = 256 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

4 Номиналдык режимінде қозғалтқышының көректенетін қуаты

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{18,5}{0,885} = 20,9 \text{ кВт}$$

5 Статор орама тізбегінде номиналдык токтар

Фазалык ток

$$I_{1\phi} = \frac{P_{H1}}{m_2 \cdot U_{1a} \cdot \cos \varphi_{1ном}} = \frac{20900}{3 \cdot 380 \cdot 0,87} = 21,1 \text{ А.}$$

Желілік ток

$$I_{1л} = \sqrt{3} \cdot I_{1\phi} = 1,73 \cdot 21,1 = 36,5 \text{ А.}$$

6 Көректенетін желінің іске қосу тогы (желілік)

$$I_{1н} = I_{1л} \cdot \lambda_i = 36,5 \cdot 6,5 = 237 \text{ А.}$$

7 Статор орамалары «жұлдызша» жалғағанда номиналдык және іске қосу токтар

Осы жағдайда фазалык кернеу төмендейді

$$U_{1\phi y} = U_{1\phi д} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В.}$$

Статордың фазалык ток  $1,73$  азаяды, яғни тең болады

$$I_{1\phi y} = I_{1\phi д} / \sqrt{3} = 21,1 / 1,73 = 12,2 \text{ А.}$$

Желелік ток «жұлдызша» жалғағанда 3 есе азаяды

$$I_{жУ} = I_{жД} / 3 = 36,5 / 3 = 12,2 \text{ А.}$$

Осыған ұқсас 3 есе көрктенетін желіде желелік өткізгіштерде іске қосу ток азаяды

$$I_{нжУ} = I_{нжД} / 3 = 273 / 3 = 79 \text{ А.}$$

8 Статор орамалары «жұлдызша» жалғағанда номиналдық және іске қосу моменттер

Асинхронды қозғалтқыштың моменті статор кернеуінің квадратына пропорционал болады. Фазалық кернеу  $\sqrt{3}$  төмендегенде қозғалтқыштың моменты 3 есе төмендейді.

$$M_{У} = M_{Д} / 3 = 121,8 / 3 = 40,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{нУ} = M_{нД} / 3 = 158 / 3 = 52,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{maxУ} = M_{maxД} / 3 = 256 / 3 = 85,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Қозғалтқыштың аса жүктелу қабілеті 3 есе төмендейді және анықталады

$$\lambda_{мУ} = \lambda_{мД} / 3 = 2,1 / 3 = 0,7$$

9 Фазалық кернеуде қозғалтқыш аса жүктелу қабілетін жоғалтады, яғни

$$\lambda_{м} = M_{max} / M_{ном} = 1$$

Асинхронды қозғалтқыштың моменті статор кернеуінің квадратына пропорционалды болатындықтан, кернеу төменгенде кезде қозғалтқыш аса жүктелу қабілетін жоғалтады

$$U_{1ф} = U_{1ф} / \sqrt{\lambda_{м}} = 380 / \sqrt{2,1} = 262 \text{ В.}$$

### Бақылау сұрақтары:

- 1 Асинхронды қозғалтқыштар қандай (тұрақты немесе айнымалы) электр машиналарына жатады?
- 2 Айнымалы ток машиналарының пайдалану аймағы
- 3 Айнымалы ток машиналарының роторы орамаларындағы ЭҚК қай заң бойынша индукцияланады?
- 4 Асинхронды қозғалтқыш роторы айналуы үшін қажетті жағдай?
- 5 Асинхронды қозғалтқыш статоры орамасы магнит өрісі мен роторының айналу жылдамдығының арасындағы қатынасы (байланысы).
- 6 Айнымалы ток машиналарының жұмыс істеу принципі және құрылысы
- 7 Асинхронды қозғалтқыштардың құрылысы қандай?

- 8 Асинхронды қозғалтқыштың әрекеттік парқын түсіндіріңіз.
- 9 Қандай шарттар орындалғанда статор өзегінде айналмалы магнит өрісі пайда болады?
- 10 Қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқыш пен фазалы роторлы қозғалтқыштың құрылыстарындағы айырмашылық неде?
- 11 Синхрондық жылдамдық деген не? Синхронды жылдамдық қандай шамаларға байланысты өзгереді?
- 12 Қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқыш пен фазалы роторлы қозғалтқыштың жіберілу ерекшеліктерін түсіндіріңіз.
- 13 Егер кернеуі төмендесе, онда асинхронды қозғалтқыштың айналдырушы иінкүші қалай өзгереді?
- 14 Асинхронды қозғалтқыштың айналу бағытын қалай өзгертуге болады?
- 15 Асинхронды қозғалтқышты жіберу мезетінде үлкен жіберу тугының пайда болу себебін түсіндіріңіз.
- 16 Жікайналым деген не? Жүктің шамасына қарай жікайналым қалай өзгереді?
- 17 Асинхронды қозғалтқыштың айналу жылдамдығын қандай тәсілдермен реттеуге болады?
- 18 Жүк өскенде пайдалы әрекет коэффициенті мен қуат коэффициенті қалай өзгереді?
- 19 Бір фазалы асинхронды қозғалтқышты пайдалану аймағы.
- 20 Статоры бар орамалары бірфазалы асинхронды қозғалтқышта жүргізу моменті неге болмайды.
- 21 Бір фазалы асинхронды қозғалтқышты айнымалы магнит өрісін туғызу шарттары.
- 22 Бір фазалы асинхронды қозғалтқыштың айналу бағытын қалай өзгертуге болады?
- 23 Бір фазалы конденсаторлы қозғалтқыш дегеніміз не?
- 24 Асинхронды генератордың шықпалық сипаттамалары дегеніміз не?
- 25 Асинхронды қозғалтқышының сырғауының физикалық мағынасы және математикалық өрнегі
- 26 Асинхронды қозғалтқыштың техникалық төлқұжатында қандай өлшемдері көрсетіледі?
- 27 Асинхронды қозғалтқыш неге «асинхронды» деп аталған?
- 28 Қозғалтқышының механикалық және электромеханикалық мінездемесі дегеніміз не?
- 29 Қозғалтқышының табиғи және жасанды мінездемелері деп нені айтамыз?
- 30 Трансформация әдісінің мәні неде?
- 31 Көректендіру желісінің кернеу өзгерісімен қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқышының моментті қалай өзгереді?
- 32 Асинхронды қозғалтқыштардың жылдамдығын реттеудің қандай әдістері мен тиісті диапазондары бар
- 33 Асинхронды қозғалтқыш роторы орамаларындағы ЭҚК қай заң бойынша индукцияланады?

### Тақырып 3: Синхронды машинаның әр түрлі жұмыс режимдегі электрмагниттік үрдістер

**Мақсаты:** Әр түрлі жұмыс режимда синхронды машинаның техникалық, электрлік параметрлерін зерттеу тәсілдерін анықтау.

#### Жоспар:

- 3.1 Қысқаша мәліметтер
- 3.2 Синхронды машинасының электр параметрлерін анықтау
- 3.3 Шешімдері бар мысалдар
- 3.4 Өздігінен шешуге арналған есептер
- 3.5 Жеке тапсырмалар
- 3.6 Бақылау сұрақтар

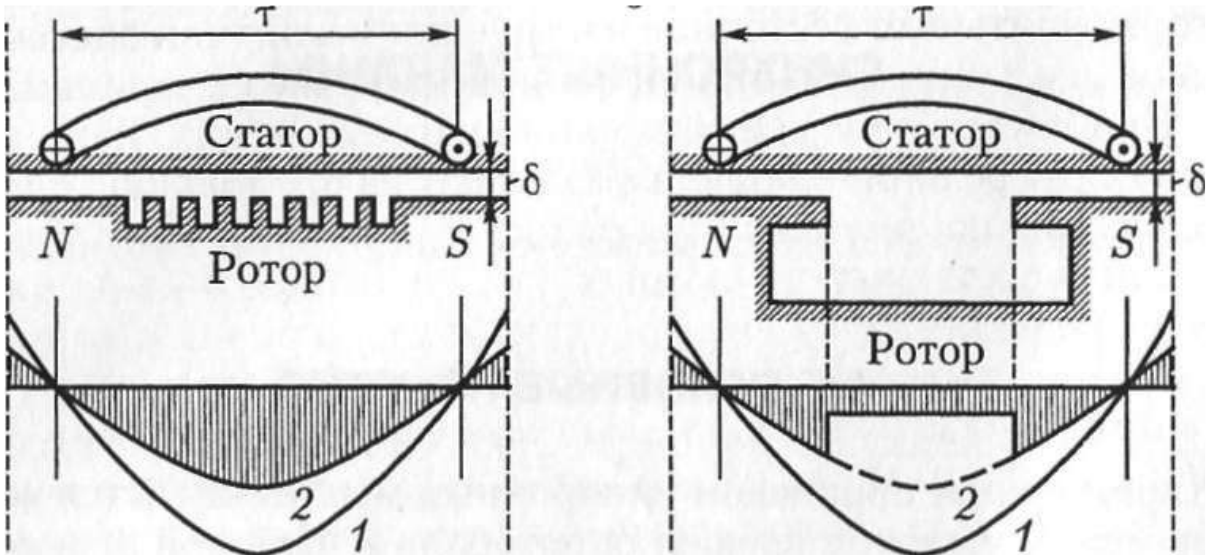
#### 3.1 Қысқаша мәліметтер

Синхрондық электрлік машиналар электр қозғалтқыштар ретінде сірек қолданады. Қатан сипаттамасы (айнымалы тұрақты болғаны) және қоздырғыш ретінде қолданғанда қосалқы құрылғылардың пайдалану қажеттелігі, асинхронды электр қозғалтқыш пен салыстырғанда жұмыссығымдылығы мен электр машинаның қымбаттылығы, қорғау және іске қосу аппаратураның күрделілігі және тағы басқа синхрондық электр қозғалтқышты көп қолданбайды. Синхронды электр қозғалтқыштар қуат коэффициентті  $\cos\varphi=1$  бірге тең болып жұмыс істей алады, яғни электр желіден магниттелген қуатты көректенбей және де электр желіге магниттелген қуатты беру жұмыстарды орындайды. Осында ( $\cos\varphi<1$ ). Дәл осындай режимдер үшін, синхрондық электр қозғалтқыштар есептелген. Электр машинаның валда жүктелі жоқ жұмыстарда немесе фаза ығысу компенсация үшін, және де электр желінің соңында немесе аралық нүктелерде кернеуні реттеу ретінде қолданылады.

#### Синхрондық электр генератордың құрылысы мен жұмыс істеу принципі

Құрылысы бойынша синхронды электр машиналар негізгі екі түріге бөлінеді: *1 - айқындалған полюсті 2- айқындалмаған полюсті*. (21- сурет) Тұрақты токпен қоздырылатын полюстер электр машинасының айналмалы бөлігінде (роторда) орнатады және айнымалы ток орамасы электр машинасының қозғалмайтын бөлігінде, яғни (статорда) орнатады.

Электр желіден белгілі өндірістік жиілігі ( $f=50$  Гц) синхрондық машинаның айналу жылдамдығын жұп полюстер саны берілген кезде анықты болады. Егер үлкен қуатты бар электр машинасының жұп полюстер саны  $p=1$  жнемесе  $p=2$  болса мұнда айналу жылдамдығы  $n=3000$  айн/мин және  $n=1500$  айн/мин болады, яғни мұндай үлкен қуатты электр машиналарының айналу жылдамдығы да өте үлкен болады. Сондықтан электр машинасының ротордың механикалық беріктігін қамтамасыз ету үшін, және де қоздыру орамасын мықтап бекіту үшін, ротордың үстінгі бетіне біркелкі етіп бөліп тарату қажет болады, сол себептен ротордың орамасын айқындалмаған полюсті істеп орындайды.



21 сурет – Синхрондық машинаның көлденең осьтің магниттік индукциясының таралу графигі

- а - айқындалмаған полюсті  
 б- айқындалған полюсті.  
 1- МҚК графигі  
 2- магниттік индукция графигі

Синхрондық генераторларды айналдыру үшін бу және гидравликалық турбиналар арқылы жалғастырады. Біріншісі – турбогенератор деп, ал екіншісі- гидрогенератор деп атайды.

### 3.2 Синхронды машинасының электр параметрлерін анықтау

Синхрондық машиналарының ерекше сипаттамасының бірі - бұл ротордың айналу жылдамдықтың  $n_1$  және статор орамадағы айналмалы ток жиілігінің  $f_1$ - қатан байланысы

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (102)$$

мұндағы  $n_1$  - ротордың жылдамдығы (айн/мин);  
 $f_1$ - ток жиілігі (50 Гц);  
 $p$  – ротордың жұп полюстер саны.

Синхрондық машиналарының ЭҚК анықталатын формуласы

$$E = 4,44w_1f_1k_{об}\phi_M \quad (103)$$

мұндағы  $W=nqW_0$  -әрбір параллель тармақта тізбектей қосылған орамдардың саны, оны фазаның орамдарының саны деп атайды

Егер фазалы орама аймақтан және параллель тармақтардан тұратын болса, онда

$$W = \frac{ZS}{Z_{am}n} \quad (104)$$

мұндағы  $S_n$ -ойықтағы эффективтік өткізгіштердің саны

Статор ормасындағы электр шығындар формуласы, Вт:

$$P_{\Sigma 1} = m_1 I_1^2 R_a. \quad (105)$$

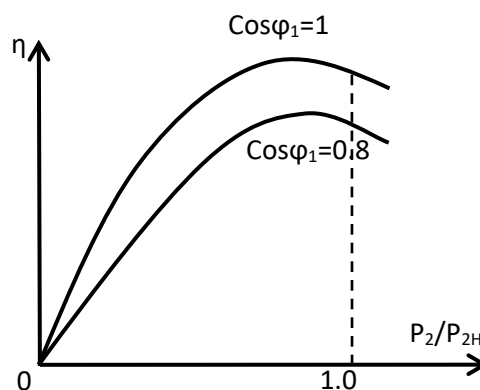
Қоздыруға кететін шығындар, келесі формуламен анықталады Вт

$$\frac{P_K (I_K^2 R_K + 2\Delta U_K I_K)}{\eta_K}, \quad (106)$$

мұндағы  $\eta_K = 0,8-0,85$  қоздырушының ПӘК-і.

Синхронды электр машинасындағы қосымша шығындар пульсация шығындармен жүктеу шығындардан қосылады. Әдеттегі, қосымша шығындар жалпы қуаттың  $0,5\%$  тең деп алынады.

Синхронды электр машинаның пайдалы әрекет коэффициентті ПӘК- і қалай жүктеуде  $I_1$ , солай жүктеудің мінезінен ( $\cos \varphi_1$ ) ден тәуелді. Синхронды электр машинасының ПӘК-інің жүктеуден және қуат коэффициенттен тәуелділігі 22 -суретте көрсетілген.



22 сурет – Синхронды машинаның  $\eta=f(P_2)$  тәуелділігі

Синхронды электр машинадағы шығындар қосындысы, кВт:

$$\Sigma P = (P_{M1} + P_{\Sigma} + P_{Mex} + P_K + P_{KOC}) 10^{-3}$$

Синхронды электр генератордың пайдалы әрект коэффициенті ПӘК:

$$\eta_r = 1 - \frac{\Sigma P}{P_{I_{НОМ}}} + \Sigma P \quad (107)$$

Синхронды козғалтқыштың пайдалы әрекет коэффициенті ПӘК:

$$\eta_K = 1 - \frac{\Sigma P}{P_{I_{НОМ}}} \quad (108)$$

Статордағы электр тоғының өрнегі

$$I_1 = \frac{P}{U_1 \cos \varphi_1} \quad (109)$$

### 3.3 Шешімдері бар мысалдар

#### Мысал 35

Электростанция шинаға екі полюсты генератор қосылған және оның роторы 3000 айн/ мин тұрақты жылдымдықпен айналады. Екінші генераторды параллель жұмысқа қосу үшін, оның төрт полюсты роторын тұрақты айналу жылдамдыққа 1500 айн/ мин келтірді.

*Анықтау:* параллель жұмысқа роторлардың әр түрлі жылдамдықтары кедергі жасамайдыма, егер жиілігі 50 Гц болса?

*Шешуі*

Екінші генераторды параллель жұмысқа қосу үшін келесі талаптары орындалу керек.

- 1) екінші генератордың э.к.к 1–2% шинадағы кернеуден көп болу тиісті;
- 2) іске қосу кезінде электростанция шинада осы э.к.к және кернеу фаза бойынша сәйкес болу керек;
- 3) екінші генератордың э.к.к жиілігі электростанция шинадағы кернеу жиілігіне сәйкес болу керек;
- 4) генераторлардың фазалар реті бірдей болу керек :  $A - B - C - A - B - C$  ж.т.б.  
 $f_1 = f_2$  шартын тексеруге болады. Шинаға қосылған генератордың э.к.к жиілігі:

$$f_1 = \frac{p_1 \cdot n_1}{60} = \frac{1 \cdot 3000}{60} = 50 \text{ Гц.}$$

Екінші генератордың э.к.к жиілігі:



$$f_2 = \frac{p_2 \cdot n_2}{60} = \frac{2 \cdot 1500}{60} = 50 \text{ Гц.}$$

Сондықтан, полюс санның әр түрлі болғаны генераторлардың әр түрлі жылдымдықтарға әкеледі, бірақ параллель жұмысқа кедергі жасамайды.

### Мысал 36

Үшфазалық синхронды генератор бос жүріс режимінде және орамалары жұлдызша, үшбұрышша жалғанған кезде

Белгілі параметрлері: жиілігі  $f=50$  Гц, айналу магнит ағынының саны  $\Phi=0,01$  Вб, статордың ойықтарда орама саны  $\omega=180$ , орама коэффициенті  $k_{об}=0,92$ , бір фазаның амплитудалық магнит ағынының саны  $\Phi_m=0,013$  Вб

*Анықтау:*

Үшфазалық синхронды генератор қысқыштағы кернеу анықтау

*Шешуі:*

Статордың бір фазаның орама саны

$$\omega_1 = \omega / 3 = 180 / 3 = 60$$

Айналу магнит ағынының саны

$$\Phi = 1,5 \Phi_m = 1,5 \cdot 0,013 = 0,0195 \text{ Вб}$$

Әр фазасының индукцияланатын ЭҚК мәні

$$E_\phi = 4,44 \omega_1 f_1 k_{об} \Phi_m = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,92 \cdot 60 \cdot 0,0195 = 239 \text{ В}$$

Үшфазалық синхронды генератор бос жүріс режимінде және орамалары үшбұрышша жалғанған кезде қысқыштағы кернеу фазалық ЭҚК тең

$$U_\partial = E_\phi = 239 \text{ В.}$$

Үшфазалық синхронды генератор бос жүріс режимінде және орамалары жұлдызша жалғанған кезде қысқыштағы кернеу фазалық ЭҚК тең

$$U_y = \sqrt{3} E_\phi = \sqrt{3} \cdot 239 = 414 \text{ В.}$$

### Мысал 37

Үшфазалық синхронды генератор есептік қуатымен  $S_{ном} = 5 \text{ МВ} \cdot \text{А}$  келесі параметрлерімен сипатталады: желелік кернеуі  $U_{ж} = 6,3 \text{ кВ}$ , қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,8$ , ораманың бір фазасының кедергісі  $R = 0,04 \text{ Ом}$ . Магнит өткізгіштегі шығындар  $P_m = 20 \text{ кВт}$ , номиналды қуаттан  $P_{ном}$  механикалық шығындар,  $P_{мех} = 0,5 \%$ , номиналды қуаттан  $P_{ном}$  қосымша

шығындар  $P_{\text{кос}}=0,5\%$ . Қоздырғыштың кернеуі  $U_k = 6,3$  кВ, номиналдық режимінде қоздыру тогы  $I_k=274$  А. Қоздырғыштың пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК  $\eta=0,95$ . Үшфазалық синхронды генератордың орамалары жұлдызша жалғанған.

*Анықтау:*

Үшфазалық синхронды генератордың номиналдық жүктемедегі пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК  $\eta$  анықтау

*Шешуі:*

Синхронды генератордың орамалары жұлдызша жалғанған кезде желелік ток фазалық токқа тең. Үш фазалық симметриялық жүйе үшін, қуат формуласынан анықтауға болады:

$$I_{\text{жс}} = I_{\phi} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}}} = \frac{5000000}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 458 \text{ А}$$

Статор орамасының мыс қуатын жоғалту (зәкір)

$$P_{\text{э}} = 3I_{\phi}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 458^2 \cdot 0,04 = 25,2 \text{ кВт}$$

Генератордың номиналдық қуат

$$P_{\text{ном}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ МВт} = 4000 \text{ кВт}$$

Механикалық шығындар

$$P_{\text{мех}} = 0,005 \cdot P_{\text{ном}} = 20 \text{ кВт}$$

Генераторды қоздыруға жұмсалатын қуат

$$P_{\text{к}} = \frac{U_k \cdot I_k}{\eta_k} = \frac{113 \cdot 274}{0,95} = 32,6 \text{ кВт}$$

Үшфазалық синхронды генератордың номиналдық жүктемедегі пайдалы әрекет коэффициентін ПӘК  $\eta$  анықтау

$$\eta = \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}} + P_{\text{э}} + P_{\text{м}} + P_{\text{к}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{кос}}} = \frac{4000}{4000 + 25,2 + 15 + 32,6 + 20 + 20} = 0,973$$

### **Мысал 38**

Үшфазалық синхронды қозғалтқыш номиналдық қуатымен  $P_{\text{ном}} = 500$  кВт және номиналдық кернеумен  $U_n = 0,66$  кВ келесі параметрлерімен

сипатталады: жиілігі  $f = 50$  Гц, полюс саны  $2p=4$ , пайдалы әрекет коэффициенті  $\eta=0,95$ , қуат коэффициенті  $\cos\varphi=0,8$  (фаза бойынша кернеу озатын ток кезінде)

*Анықтау:*

Ротордың айналу жылдамдығын, номиналдық айналу иіңкүш, активті және реактивті қуаттарды, желіден тұтынылатын стотор тоғын және реактивтік құраушысын

*Шешуі:*

Ротордың айналу жылдамдығы

$$n_2 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ айн\} \backslash \text{мин}$$

Номиналдық айналу иіңкүш

$$M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_{2H}} = 9,55 \cdot 500000 / 1500 = 3183 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Қуаттар

*активті*

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{500}{0,95} = 526 \text{ кВт}$$

ТОЛЫК

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos\varphi} = \frac{526}{0,8} = 657,5 \text{ кВА}$$

*реактивті*

$$Q = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{657,5^2 - 526^2} = 394,5 \text{ квар}$$

Статор тоғы

$$I_{ном} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{657500}{\sqrt{3} \cdot 660} = 575 \text{ А}$$

Тоғының реактивтік құраушысы ( сыйымдылықты)

$$I_p = I_{ном} \cdot \sin\varphi = 575 \cdot 0,6 = 345 \text{ А}$$

Немесе

$$I_p = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{394500}{\sqrt{3} \cdot 660} = 345 \text{ А}$$

Қарастырылған қозғалтқышты реактивті қуатты индуктивті тұтынушылармен параллель қосқанда желіні реактивті токтан босатуға болады.

Аса қоздырылған синхронды қозғалтқыштар кәсіпорындардың қуат коэффициенттің жақсарту үшін кеңінен қолданылады (үлкен конденсатор батареяларының орнына)

### 3.4 Өздігінен шешуге арналған есептер

#### Мысал 39

Үшфазалық синхронды қозғалтқыш кернеуі 380 В желіге қосылған, валдағы қуаты 75 кВт. Қозғалтқыштың ПӘК-і 92%, қуат коэффициенті  $\cos \varphi = 0,8$ . Қозғалтқыш желіден алынатын реактивті токты табу керек.

$$\text{Жауабы: } I_p = 92,9 \text{ А}$$

#### Мысал 40

Үшфазалық синхронды қозғалтқыштың валдағы қуатты 160 кВт дейін жетеді, егер желіден кернеуі 0,66 кВ пайдаланса. Қозғалтқыштың ПӘК-і 94 %, қуат коэффициенті 0,8. Қозғалтқыш желіден қоректенсе, желілік токтың реактивті токты анықтау.

$$\text{Жауабы: } I_p = 111,7 \text{ А}$$

#### Мысал 41

Үшфазалық синхронды қозғалтқыш кернеуі 220 В желіге қосылған, қоректенетін желілік ток 100 А, валдағы қуаты 25 кВт. Қозғалтқыштың ПӘК-і 0,9. Қозғалтқыш желіден алынатын реактивті қауың анықтау.

$$\text{Жауабы: } Q = 26 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

#### Мысал 42

Үшфазалық синхронды қозғалтқыш кернеуі 660 В желіге қосылған, қоректенетін желілік ток 60 А, валдағы қуаты 25 кВт. Қозғалтқыштың ПӘК-і 0,9. Қозғалтқыш желіден алынатын реактивті қауың анықтау.

$$\text{Жауабы: } Q = 62,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

#### Мысал 43

Қозғалтқыштың пайдалы қуаты, синхронды үшфазалы генератордың роторын айналдыруға әкелетін, 10 кВт. Валдағы айналу моменті 95,5 Н·м. Генератор роторының полюс саны 12. Генератор қысқыштарындағы кернеу жиілігін анықтау.

$$\text{Жауабы: } f = 100 \text{ Гц}$$

**Мысал 44**

Үшфазалы синхронды генератордың валдағы айналу моменті 47,75 Н·м. Қозғалтқыштың пайдалы қуаты, синхронды үшфазалы генератордың роторын айналдыруға әкелетін, 5 кВт. Генератор қысқыштарындағы кернеу жиілігі 50 Гц. Генератордың полюс санын анықтау.

$$\text{Жауабы: } 2p=6$$

**Мысал 45**

Үшфазалы синхронды генератордың ротордың полюс саны 12. Генератор қысқыштарындағы кернеу жиілігі  $f=50$  Гц. Қозғалтқыштың пайдалы қуаты, роторды айналдыруға әкелетін, 5 кВт. Генератор валының айналу моментін анықтау.

$$\text{Жауабы: } M=95,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

**Мысал 46**

Үшфазалы синхронды генератор кернеуін жиілігі 50 Гц шығарады. Ротордың полюс саны 2. Қозғалтқыш, генератордың айналу роторы, валдағы айналу моментін 28,65 Н·м шығарады. Жетек қозғалтқыштың пайдалы қуатын анықтау

$$\text{Жауабы: } P=9 \text{ кВт}$$

**3.5 Жеке тапсырмалар****Мысал 47**

Үшфазалы синхронды генератордың параметрлері 9 - кестеде берілген:

$U_{1ном}$  - шықпалық номиналдық (желелік);

50 Гц, - статор орамасы жұлдызша қосылған, ток жиілігі;

$I_{1ном}$  - номиналдық жүктемеде статордың номиналдық ток;

$\eta_{ном}$  - генератордың ПӘК;

$2p$  - полюс саны;

$P_{1ном}$  - генератордың кірмелікте қуаты;

$P_{ном}$ , генератордың шықпалықта пайдалы қуаты;

$\sum P_{ном}$ -номиналдық жүктемедегі суммалық шығындары;

$S_{2ном}$  - шықпалықтағы толық қуат;

$\cos \varphi_{1ном}$  - генераторға қосылған жүктеме қуат коэффициенті;

$M_{1ном}$  - генераторды номиналды жүктеген кезде бастапқы қозғалтқыштың айналу момент

9 –ші кестеде мәндері көрсетілмеген параметрлерді анықтау қажет

## 9 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном,кВА}$	330	—	270	470	—	600	780	450	700	500
$U_{Iном,кВ}$	6,3	3,2	0,4	—	0,7	3,2	6,3	0,4	—	3,2
$\eta_{ном, \%}$	92	—	—	91	90	93	—	—	93	92
$2p$	6	8	—	6	10	12	6	—	6	10
$P_{ном,кВт}$	—	—	206	—	—	—	667,4	369,5	—	—
$\sum P_{ном,кВт}$	—	27	18	—	—	—	—	—	—	—
$\cos \varphi_{Iном}$	0,9	—	0,85	0,9	—	0,92	—	0,9	0,92	0,85
$I_{ном,А}$	—	72,2	—	43,1	190	—	—	—	64,2	—
$P_{Iном,кВт}$	—	340	—	—	190	—	717,6	—	—	—
$M_{Iном,Нм}$	—	—	—	—	—	—	—	7735	—	—

*Бірінші нұсқаның шешімі*

1 Генератордың шықпалық қысқыштардағы пайдалы қуат

$$P_{ном} = S_{ном} \cdot \cos \varphi = 330 \cdot 0,9 = 297 \text{ кВт}$$

2 Генератордың кірмелік қысқыштардағы қуат

$$P_{ном1} = \frac{P_{ном}}{\eta} = \frac{297}{0,92} = 322,8 \text{ кВт}$$

3 Соммалық шығындар

$$\sum P_{ном} = P_{Iном} - P_{ном} = 322,8 - 297 = 25,8 \text{ кВт}$$

4 Номиналдық жүктемеде статордың номиналдық ток

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{330}{1,73 \cdot 6,3} = 30,2 \text{ А.}$$

5 Синхрондық айналу жылдамдығы, егер полюс саны  $2p=6$  тең және ток жиілігі  $f=50 \text{ Гц}$ ,

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ айн\мин}$$

6 Генераторды номиналды жүктеген кезде бастапқы қозғалтқыштың айналу момент

$$M_{1H} = 9,55 \cdot 10^3 \frac{P_{1H}}{n} = \frac{9,55 \cdot 10^3 \cdot 322,8}{1000} = 3083 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

### **Мысал 48**

Үшфазалы синхронды генератор  $S_{ном}$  қуатымен параллельді  $U_1$  желімен жұмыс істейді.  $I_1^*$  және  $I_B^*$   $U$ - тәрізді сипаттамада (сурет 23,24) салыстырмалы өлшем бірлікте.

*Анықтау*

$I_1$  - статордың тізбегінде ток күшін және оның активті, реактивті құраушыларды

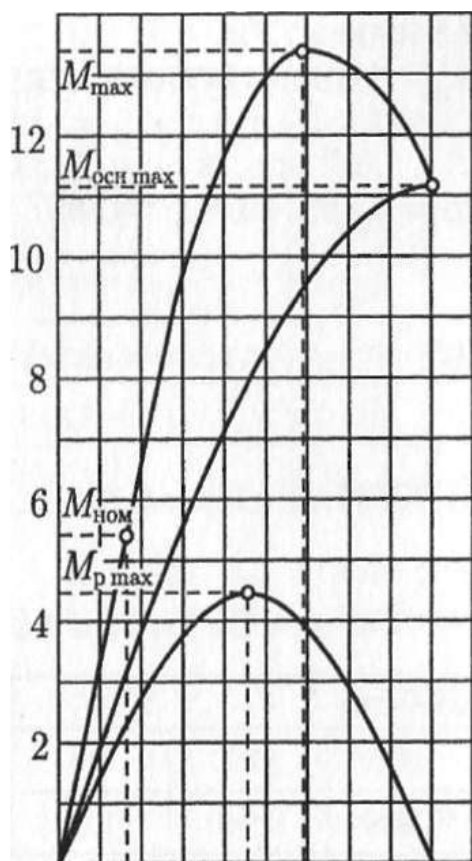
$S_G$  - генератордың желіге беретін қуатын және оның активті, реактивті құраушыларды

$\cos \varphi_G$  - генератордың қуат коэффициентін;

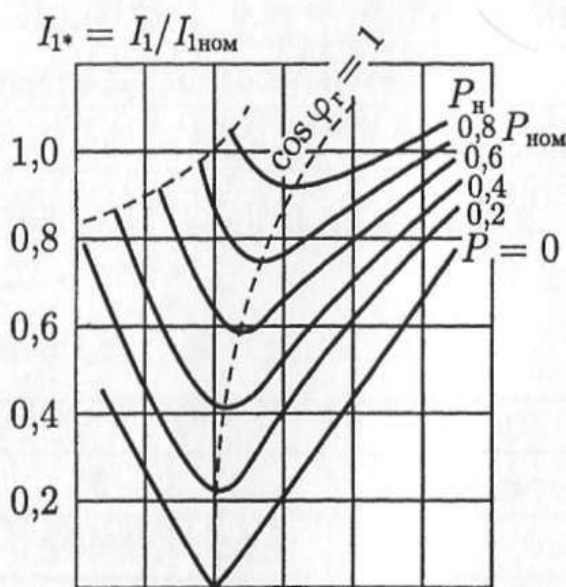
10 – ші кестеде керекті параметрлері келтірілген

10 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$S_{ном,кВА}$	500	1000	1300	300	800	2000
$U_{1ном,кВ}$	0,4	6,3	10,5	0,4	6,3	10,5
$I_1^*$	0,6	0,8	0,5	0,8	0,88	0,6
$I_B^*$	1,9	2,0	1,4	1,15	2,0	1,9



23 сурет – Синхронды генератордың бұрыштық сипаттамалар



24 сурет - Үшфазалы синхронды генератордың  $U$ - тәрізді сипаттамалар параллель  $U_1$  желімен жұмыс істеуге қосылған кезде

### Бақылау сұрақтарға жауап беру

а) қандай жағдайларда желімен параллель жұмыс істеуге қосылған синхронды генератордың жұмысы ұсынылады:

- аса қоздыруымен
- ал қандай жағдайларда әлсіз қоздыруымен

б) неліктен генератордың активті қуатының жоғарылауымен қоздыру тогының мәні артады, яғни  $\cos \varphi_T = 1$ ?

Бірінші нұсқаның шешімі

1 Статорда номиналдық ток

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_c} = \frac{500}{1,73 \cdot 0,4} = 722 \text{ А}$$



2 Үшфазалы синхронды генераторының  $U$ - тәрізді сипаттамадан берілген нүкте режимінде  $I_1^* = 0,6$  және  $I_B^* = 1,9$  координаттармен генератордың жұмысы активті жүктемеде  $P = 0,2P_{\max}$  анықталады. Генератордың статор тізбегінде ток

$$I_1 = 0,6 \cdot I_{1\text{ном}} = 0,6 \cdot 722 = 433 \text{ A.}$$

3 Статор тізбекте активті құраушысы қоздыру тогына сәйкес келетін ординатамен  $I_{B0}$  анықталады сипаттамада  $0,2P_{\text{ном}}$

$$I_{1a} = 0,22 \cdot I_{1\text{ном}} = 0,22 \cdot 722 = 159 \text{ A.}$$

4 Генератордың қуат коэффициенті

$$\cos \varphi_{\Gamma} = I_{1a} / I_1 = 159 / 433 = 0,367$$

5 Аса қоздырумен ( $I_B^* = 1,9$ ) генератордың реактивті (индуктивтік) ток

$$I_p = I_1 \cdot \sin \varphi = 433 \cdot 0,930 = 403 \text{ A.}$$

6 Генератордың толық жүктеме қуаты

$$S_{\Gamma} = \sqrt{3} U_c I_1 = 1,73 \cdot 0,4 \cdot 433 = 300 \text{ кВА}$$

7 Генератордың активті құраушысы жүктеме қуаты

$$P_{\Gamma} = S_{\Gamma} \cdot \cos \varphi_{\Gamma} = 300 \cdot 0,367 = 110 \text{ кВт}$$

8 Генератордың реактивті құраушысы жүктеме қуаты

$$Q_{\Gamma} = S_{\Gamma} \cdot \sin \varphi = 300 \cdot 0,930 = 279 \text{ квар}$$

9 Қоздыру тогы  $\cos \varphi_{\Gamma} = 1$  тиісті, яғни статор тогына  $I_1 - I_{1a} = 159 \text{ A}$ ; сипаттама бойынша  $I_B^* = 1,1$

### 3.6 Бақалау сұрақтары:

- 1 Синхронды қозғалтқышының әрекет принципін түсіндір.
- 2 Синхронды қозғалтқышының іске қосу тәсілдері қандай болады?
- 3 Қандай мақсаты мен асинхронды іске қосу тәсілде қоздыру ораманы активті кедергіге тұйықтайды?
- 4 Неліктен синхронды қозғалтқышының статордағы токтың мәні қоздыру тогын реттелген кезде өзгереді?
- 5 Қандай шарттарда синхронды қозғалтқыш статордың қалып тұрған тогы мен және озып тұратын тогы мен жұмыс істейді?

- 6 Синхронды генераторды «өздігінен синхрондау» әдісімен параллель істеуге қай сәтте қосу керек?
- 7 Синхронды генераторды «айналмалы сәуле» әдісімен қатарласа істеуге қай кезде қосу керек?
- 8 Синхронды генераторды «сөну» әдісімен параллель жұмысқа қай сәтте қосу керек?
- 9 Синхронды машиналардың құрылысы
- 10 Синхронды генератордың әрекеттік парқы.
- 11 Синхронды машиналарды пайдалану аймағы.
- 12 Үш фазалы синхронды генераторлардың қызметі.
- 13 Синхронды генератордың бос жүріс сипаттамасы деген не?
- 14 Синхронды генератордың сыртқы сипаттамасы деген не?
- 15 Синхронды генератордағы «статор реакциясы» деген не?
- 16 Синхронды генератор статорының орамасындағы синхронды кедергісінің физикалық мағынасы
- 17 Синхронды генераторды жұмысқа параллель қосу әдістері
- 18 Синхронды қозғалтқыштарды пайдалану аймағы.
- 19 Синхронды қозғалтқыштың негізгі сипаттамалары.
- 20 Қуаты аз синхронды қозғалтқыштар.
- 21 Қуаты аз кішкентай синхронды қозғалтқыштардың пайдалану аймағы
- 22 Синхронды машиналардың негізгі құрылымдық схемалары қандай
- 23 Айқын полюсті синхронды машинаның дизайнын түсіндіріңіз
- 24 Айқын емес полюсті синхронды машина қалай жұмыс істейді?
- 25 Қуатты үлкен синхронды машиналар үшін қандай салқындату жүйелері қолданылады
- 26 Қуатты үлкен синхронды машиналарға арналған қоздыру жүйелеріне қандай талаптар қойылады
- 27 Неліктен индукцияланған ЭҚК қисығының синусоидалы формасын алуға тырысады?
- 28 Неліктен синхронды машиналар желімен қатар жұмыс істеген кезде ротордың тербелісі пайда болады
- 29 Синхронды машинаның роторының қандай тербелістері өздерінкі деп аталады және қайсысы мәжбүр?
- 30 Синхронды машина роторының табиғи тербелістерінің жиілігі неге байланысты?

## Тақырып 4: Тұрақты ток машинаның электрмагниттік үрдістер

**Мақсаты:** Әр түрлі жұмыс режимда тұрақты ток машинаның техникалық, электрлік параметрлерін зерттеу тәсілдерін анықтау.

### Жоспар:

- 4.1 Тұрақты ток қозғалтқыштар таралы қысқаша мәліметтер
- 4.2 Тұрақты ток электрлік қозғалтқыштарын желіге қосу сызбалары
- 4.3 Шешімдері бар мысалдар
- 4.4 Өздігінен шешуге арналған есептер
- 4.5 Жеке тапсырмалар
- 4.6 Бақылау сұрақтар

### 4.1 Тұрақты ток қозғалтқыштар таралы қысқаша мәліметтер

Тұрақты ток қозғалтқышының басқа электрқозғалтқыштармен салыстырғандағы құндылықтары төмендегідей:

- іске қосу моменті үлкен;
- айналу жиілігінің кең шамада бірқалыпты реттелуі мүмкіндігі бар.

Сондықтан да ол электр транспортта кең қолданысын тауып, стартер ретінде қолданылуда. Демек, ол құралымы жағынан күрделі болып келгендіктен, жұмыста берік бола алмайды, себебі оның түйіні щеткалы – коллекторлы және де пайдаланыста қолайсыз, квалификациялық күтімді талап етеді.

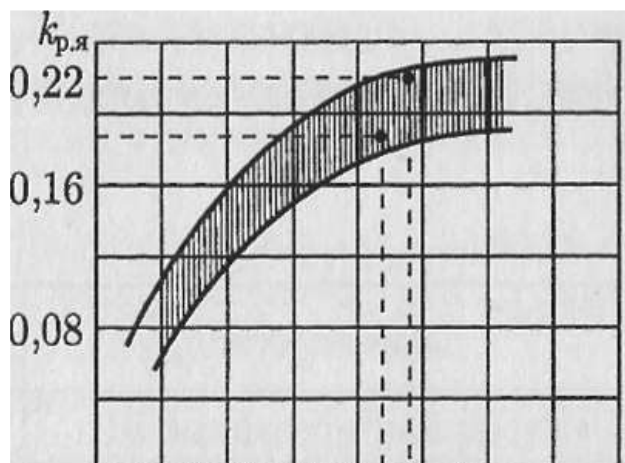
Қозғалтқыштың тәуелсіз қозуы зәкір қысқышында жұмыс барысында кенеу өзгергенде немесе зәкір кернеуінен қозу кернеуі ерекшеленген кезде қолданылады.

Тұрақты токтың коллекторлық машинасының ерекшелігі-онда щетка-коллектор түйінінің-механикалық түрлендіргіштің болуы.

Жұмыс орамасы зәкір машинасының айналмалы бөлігінде орналасқан және зәкір орамасы деп аталады. Зәкір орамасы жабық өткізгіштер жүйесі болып табылады және ол әдетте екі қабатты болады. Ораманың бөліктері бір айналымды және көп айналымды болуы мүмкін. Зәкір орамалары толқындық және тұрақты, карапайым, күрделі және аралас болуы мүмкін

Тұрақты ток қозғалтқышының жұмыстық сипаттамасының негізгі процесі – *зәкір реакциясы*. Бұл процестің әсерінен ауа саңылауы мен машина зәкір тіс қабатындағы магнит өрісінің өзгереу және оның беймагниттелеу орын алады. Тұрақты ток машиналарында якорь реакциясының жағымсыз әсерін азайту үшін қосымша полюстер қолданылады. Қуаты үлкен тұрақты ток электр машиналарда қосымша компенсациялық ораманы қолданады.

Зәкір реакцияның коэффициенттің анықтау үшін 25 – суреттегі график қолданады  $k_{р\alpha} = f\left(\frac{F_a}{F_{BO}}\right)$



25 сурет – Тәуелділік графигі  $k_{p,y} = f\left(\frac{F_a}{F_{Bo}}\right)$

Паралельді қозуы бар электр қозғалтқыштар кең таралған. Бұл қозғалтқыштарда қоздыру орамын қоректендіру зәкірдан энергия көзінен алынады.

Электр қозғалтқыш тогы:

$$I = I_{я} + I_{в} = I_{я} + \frac{U}{(R_{в} + R_{р})} \quad (110)$$

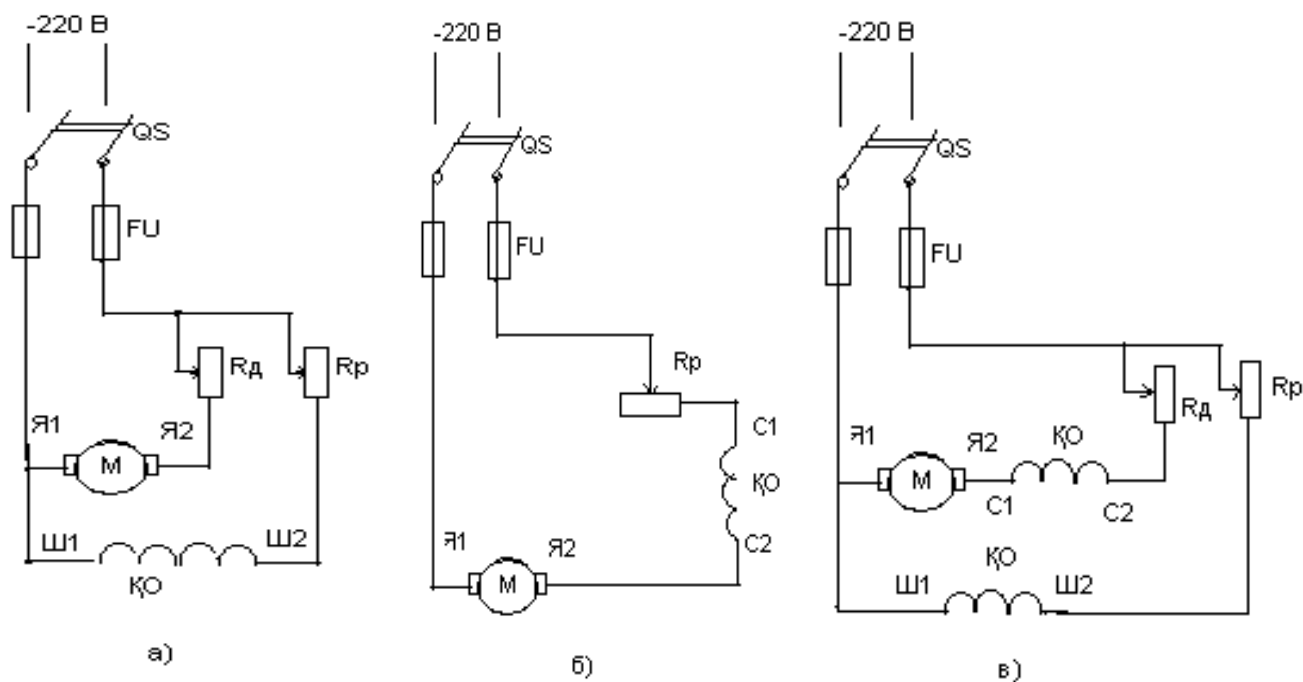
Бірізді қозуы бар қозғалтқыштардың қолдану өрісі кең. Практика үшін оның іске қосу үлкендігі, жұмсақ механикалық сипаттамасы пайдалы. Мұнда электр қозғалтқыштарда  $I = I_{в} = I_{я}$ , ал магниттік ағынызәкір тоғымен пропорционалды болады

$$\Phi = k_{\phi} \cdot I_{я} \quad (111)$$

Аралас қоздыру бар электр қозғалтқыштарда тізбекті ораманың айналу саны аз, ол паралельді қоздыру орамымен кездескенде немесе оған сәйкес қосылуы мүмкін.

#### 4.2 Тұрақты ток электрлік қозғалтқыштарын желіге қосу сызбалары

Қуаты аз электр қозғалтқыштарды (1- 2 кВт дейін) желіге тікелей қосу жолымен іске қосылады. Қуаты үлкен электр қозғалтқыштардың іске қосу тоғын шектеу үшін зәкір шынжырына арнайы іске қосу реостатын R қосады (26 – сурет), қозғалтқыштың екпіндетілуі шамасына қарай ЭҚК пайда болуы біртіндеп жойылады.



26 сурет – Тұрақты ток электрлік қозғалтқыштарын желіге қосу сұлбалары

- а) паралельді
- б) тізбекті
- в) аралас

Іске қосу реостаты кедергіні электрлік тепе – теңдігінең табады:

$$U_H = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{д}}) \quad (112)$$

мұндағы  $U_H$  - қозғалтқыштың номиналды кернеуі, (В);

$E_{\text{я}}$  - зәкірдағы қарсы ЭҚК, (В);

$I_{\text{я}}$  - зәкірдағы ток күші, (А);

$R_{\text{я}}, R_{\text{д}}$  - зәкір кедергісі және қосымша (іске қосу реостат), Ом.

Іске қосу иінкүші  $E_{\text{я}} = 0$  желі кернеуі зәкір шынжырында кернеу түскенде ғана теңестіріледі:

$$U_H = I_{\text{яп}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{д}}) \quad (113)$$

мұндағы  $I_{\text{яп}}$  - іске қосылған кездегі қозғалтқыш зәкірдағы ток күші, А.

Іске қосылған ток күшін көптеген жетек үшін шамамен  $(1,5...2,5) \cdot I_{ЯН}$ , қолданады, ондағы  $I_{ЯН}$  -қозғалтқыш якорының номиналды тоғы, А. Осыдан іске қосу резистордың (реостат) кедергісі шығады:

$$R_d = \frac{U}{[(1,5...2,5) \cdot I_{ЯН}] - R_{Я}} \quad (114)$$

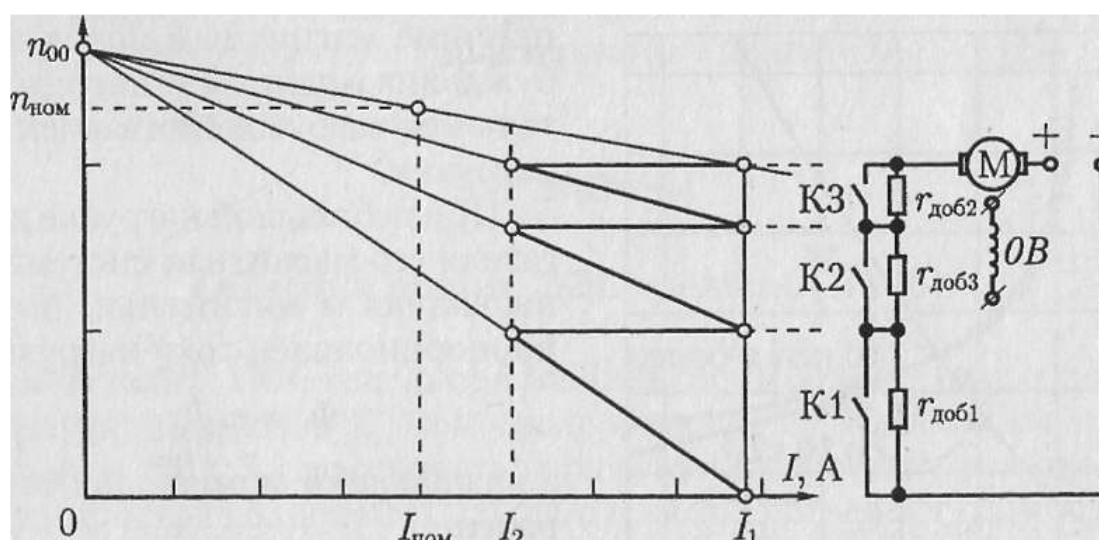
Қоздыру орама шынжырына тізбектеліп қосылған басқарушы резистор (реостат), қозу тоғының күшін өзгерту үшін қызмет атқарады.  $R_p$  басқарушы резистор кедергісі, Ом әдетте төмендегі шартты таңдайды:

$$R_p = (3...5)R_{OB} \quad (115)$$

мұндағы  $R_{OB}$  - қозудың параллельді орамының кедергісі, Ом.

Резисторды таңдауда зәкір шынжырындағы ток күшін және қозу орамындағы ток күшін ескеру керек, яғни резисторлар өте үлкен ток ағыны нәтижесінен қатардан шығып қалмауы керек.

Арту шамасына қарай айналу жиілігі күшейеді де қарсы ЭҚК, ток төмендеп, іске қосу резистор кедергісі шамадан тыс ток ағыны болмас үшін, оларды біртіндеп шығара бастайды. Іске қосу аяқталысымен, ол да толық шығарылып бітуі керек, өйкені резистор қысқа мерзімде жұмыс істеуге шамаланған. Бастапқы реостаттарды есептеудің екі әдісі қолданылады: графикалық және 27 – суреттегі аналитикалық графикалық әдіс.



27 сурет – Үш сатылы іске қосу реостаты бар тұрақты ток қозғалтқышының іске қосу диаграммасы

Электр қозғалтқышты іске қосу кезінде зәкірдың айналуының бұрыштық жылдамдығы нөлге тең ( $\omega = 0$ ), демек ЭҚК,  $E_{я} = C_E \cdot \omega \cdot \Phi = 0$ . Егер қозғалтқышты желіге тікелей (қосымша резисторсыз) қосса, онда іске қосу ток:

$$I_{яп} = U / R_{я.шш} \geq (10 \cdot 50) I_{я.н} \quad (116)$$

яғни, қозғалтқыштың  $R_{я}$  және ішкі кедергісі (зәкірдің, щеткалы контактының қозуының жүйелі орама, қосымша полюстер орамы үлкен емес).

Іске қосу тоғын төмендету үшін зәкір мен үйлестіре іске қосылатын резисторды  $R_{п}$  қосады онда зәкірдағы ток күші:

$$I_{яп} = U / (R_{я.шш} + R_{п}) \quad (117)$$

Электр қозғалтқышты екпіндету шамасына қарай, зәкірдағы ток күші төмендейді, яғни оның орамында ЭҚК индукцияланады

$$I_{яп} = \frac{(U + E_{я})}{(R_{яшш} + R_{п})} \quad (118)$$

осыдан  $I_{яп} < I_{я.н}$

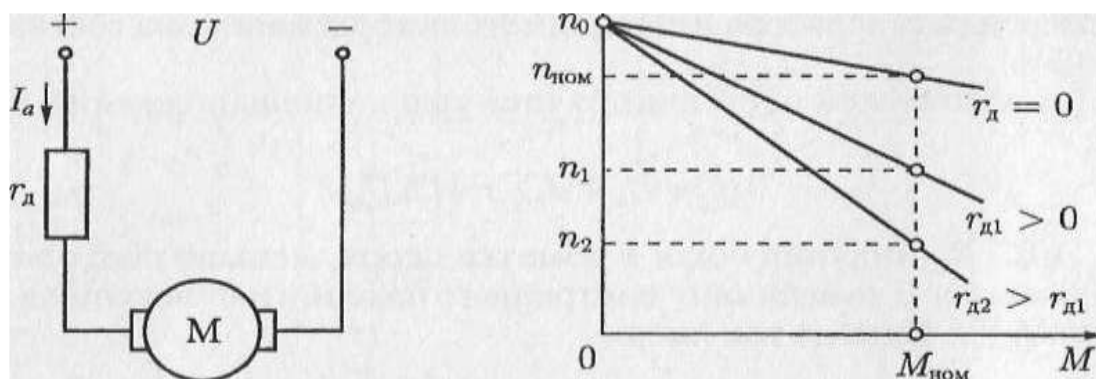
Сондықтан қозғалтқыш білігінің айналу жиілігі артқан сайын іске қосу резистор кедергісін біртіндеп шығару керек. Қозғалтқышты іске қосу алдында қозу шынжырында реттеуші резистор кедергілері толық шығарылып, қозу тоғы мен магниттік ағын максималды болу керек. Бұл жағдайда іске қосу моменті өте үлкен болады.

Электрқозғалтқыштың электрмеханикалық және механикалық сипаттамалары табиғи және жасанды болып бөлінеді. Қозғалтқыштың номиналды параметрде желіні қоректендіруі, қалыпты сызбада іске қосылуы және қозғалтқыштың тізбегінде қосымша кедергілердің болмауы табиғи деп аталады.

Механикалық сипаттама ТТҚ (ДПТ) үшін аналитикалық өрнегі

$$M = \frac{K \cdot \Phi \cdot U}{R} - \frac{(K \cdot \Phi)^2}{R} \cdot \omega \quad (119)$$

Берілген теңдеуден тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасының сызықты тәуелділігінің бар екенін және тура сызықты көруге болады. Жасанды механикалық сипаттаманы қоректендіруші тораптың кернеуін қозудың магниттік ағының өзгерту және якорь шынжырына қосымша резисторды енгізу арқылы алуға болады.



28 Сурет – Тәуелсіз қозудың тұрақты ток қозғалтқышының сұлбасы

- а) қосу схемасы  
 б) механикалық сипаттамалары

Тұрақты ток қозғалтқышына арналған каталогта келесі деректер келтірілген:  $U_H$ ,  $I_H$ ,  $P_H$ ,  $n_H$ ,  $\eta_H$ . Табиғи немесе жасанды сипаттамаларынды құру үшін оның екі нүктесінің координатасын білу жеткілікті. Бұл екі нүктелердің әрбір сипаттамасы үшін кез келгенін алуға болады, алайда табиғи сипаттамасыны нүктелер бойынша жасау қолайлы, оның біреуі қозғалтқыштың номиналды моменті мен номиналды жылдамдығына ( $M = M_H$ ;  $\omega = \omega_H$ ), ал екіншісі – идеалды бос жүрістің жылдамдығына ( $M = 0$ ;  $\omega = \omega_0$ ) сай келеді.

Қозғалтқыштың каталогтық деректерін қолдана отырып, нүкте координаталарын анықтаймыз:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} \quad (120)$$

Қозғалтқыштың номиналдық жылдамдығы:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} \quad (121)$$

Идеалды бос жүріс жылдамдығы;

$$\omega_0 = \frac{U_H}{K \cdot \Phi} \quad (122)$$

Осыдан  $K \cdot \Phi$  шамасынын шығаруға болады:

$$K \cdot \Phi = \frac{U_H - I_H \cdot R_{\Sigma}}{\omega_H} \quad (123)$$



Зәкір кедергілерінің мәні жуық эмпирикалық формула бойынша анықталады:

$$R_{я} \approx 0,5 \cdot R_H (1 - \eta_H) \quad (124)$$

ондағы  $R_H = \frac{U_H}{I_H}$  - қозғалтқыштың якорлық шынжырының номиналды кедергісі.

Тұрақты ток қозғалтқышының электромеханикалық (жылдамдық) сипаттамасының аналитикалық формуласын қозғалтқыштың электрлік тепендігін теңдестіру негізінде алады:

$$U = E + I_{я} \cdot R_{я} \quad (125)$$

Қозғалтқыш ЭҚК оның магнитті ағыны мен айналу жиілігімен байланыстыратын формулам алынады:

$$E = C \cdot \Phi \cdot \omega \quad (125)$$

мұндағы  $c$  – тұрақты коэффициент,  $C = \frac{P \cdot N}{\pi \cdot 2a}$ ;

$\Phi$  – бір полюстің, Вб магнитті ағыны;

$N$  – зәкір өткізгішінің саны;

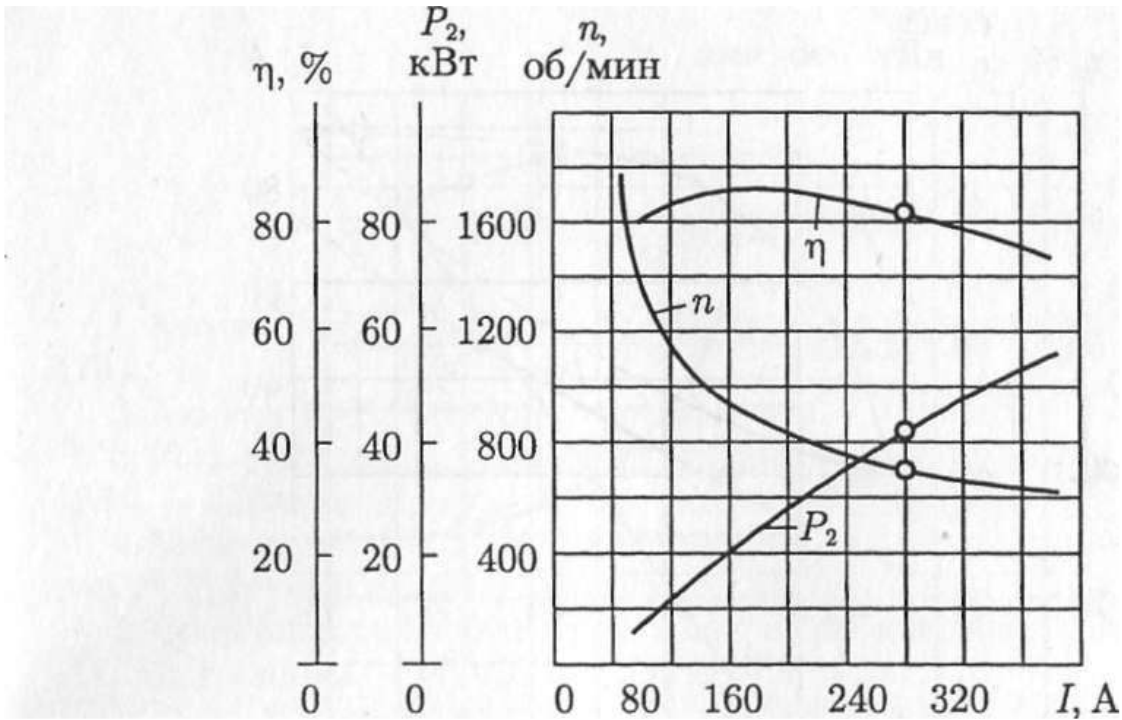
$2a$  – зәкір орамының параллельді тармақтарының саны;

Осыдан мынаны көреміз:

$$\omega = \frac{U - I_{я} \cdot R}{C \cdot \Phi} \quad (127)$$

Одан зәкір тогының электр қозғалтқыш жылдамдығынан  $I=f(\omega)$ , тәуелділігін көруге болады. Оны келесі формуладан алуға болады:

$$I = \frac{U}{R} - \frac{K \cdot \Phi}{R} \cdot \omega \quad (128)$$



29 сурет – 240 А номиналды тогы бар тұрақты қоздыру қозғалтқышының тізбектей қоздыруымен жұмыс сипаттамалары

### 4.3 Шешімдері бар мысалдар

#### Мысал 49

Төрт полюсті ( $2p=4$ ) тұрақты ток генераторының қарапайым екі қабатты якорь орамасының тоғыз секциясы ( $S=9$ ) бар.

#### *Анықтау*

Секциялардың басы мен ұштары дәнекерленген коллекторлық пластиналардың нөмірлерін, сондай-ақ осы бөлімдер орналасқан якорь ойықтарының нөмірлерін табыңыз

#### *Шешуі:*

Қарапайым тұрақты екі қабатты орамада коллекторлық платиналар  $K$  саны мен ойықтар  $Z$  саны секциялар  $S$  санына тең. Қарастырылған жағдайда

$$K = Z = S = 9$$

Екі қабатты орамада әр ойыққа орам секцияларының екі жағы қойылады: бір жағы ойықтың жоғарғы бөлігінде, екінші жағы төменгі жағында.

Ойықтардың жоғарғы бөліктері  $1, 2, 3, \dots$  сандармен нөмірленеді, ойықтардың төменгі бөліктері  $1', 2', 3'$  ж.т.б. сандар.

Қорытынды қадам  $u=1$ . Коллектор бойынша қадам  $u_k=u=1$ .

Бірінші жартылай қадам (секция ені)

$$y_1 = \frac{z}{2p} \pm b = \frac{9}{4} - \frac{1}{4} = 2$$

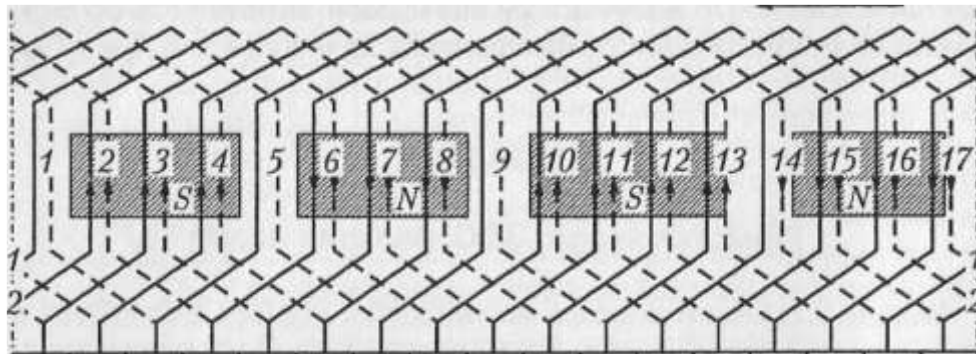
Бірінші бөлімнің секцияны ойықтың 1 жоғарғы бөлігіне сәйкес келеді және бірінші коллекторлық табаққа дәнекерленеді. Бірінші бөлімнің соңы 1 ойықтан бөлімнің еніне дейінгі ойықтың төменгі бөлігіне сәйкес келеді  $y_1:1+2=3'$ . Екінші бөлімнің басы осы ойықтың жоғарғы жағына, 1 ойықтан алынған қадамға қойылады  $y:1+1=2$ . Екінші бөлімнің секцияны екінші коллекторлық табаққа дәнекерлейміз өйткені коллектор бойынша қадамы  $u_k=1$ .

Келтірілген мысалға ұқсас түрде барлық элементтер орамасының позицияны табамыз және орамдық кестені 11 – кесте құрастырамыз.

11 кесте – Орамдық кесте

Секция орамасы	Секцияның басы дәнекерленген коллекторлық пластина	Секцияның аяғы дәнекерленген коллекторлық пластина	Секциялар салынған ойықтар
1	1	2	1– 3'
2	2	3	2– 4'
3	3	4	3– 5'
4	4	5	4– 6'
5	5	6	5– 7'
6	6	7	6– 8'
7	7	8	7– 9'
8	8	9	8– 1'
9	9	1	9– 2'

Мысал ретінде ораманың кеңейтілген  $2p=2$ ,  $Z=17$ ,  $y_1=4$  ойық (30 – суретте) схемасы келтірілген. Бұл жағдайда 17 ойық бар, олардың әрқайсысында жоғарғы қабаттың белсенді жағы ((тұтас сызық) және төменгі қабаттың белсенді жағы (нүктелі сызық) және 17 коллекторлық бөлім бейнеленген.



30 суретте – Зәкір ораманың кеңейтілген сұлбасы

**Мысал 50**

Төрт полюсті ( $p=2$ ) тұрақты ток генераторының  $N=690$  өткізгіштерден тұрады, параллель тармақтардың жұп саны ( $a=2$ ) бөлінген

*Анықтау:*

Генератордың тұрақты мәнін анықтаңыз  $C_E$ , зәкірдің айналу жылдамдығы  $n=1000$  айн/мин кезінде ЭҚК табыңыз, және екі магнит ағынының мәнінде  $\Phi_1=0,02$  Вб,  $\Phi_2=0,015$  Вб

*Шешуі:* Генератордың тұрақтылығы

$$C_E = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} = \frac{2 \cdot 690}{60 \cdot 2} = 11,5$$

Магнит ағынының  $\Phi_1$  кезіндегі ЭҚК

$$E_{\text{н}1} = c_E \cdot n \cdot \Phi_1 = 11,5 \cdot 1000 \cdot 0,02 = 230 \text{ В}$$

Магнит ағынының  $\Phi_2$  кезіндегі ЭҚК

$$E_{\text{н}2} = c_E \cdot n \cdot \Phi_2 = 11,5 \cdot 1000 \cdot 0,015 = 172,5 \text{ В}$$

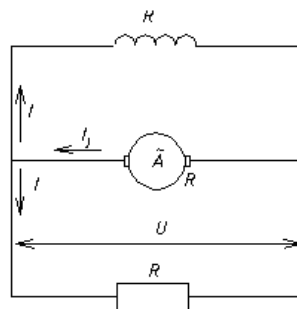
Машинаның магнит ағыны қоздыру тогына тәуелді болғандықтан, қоздыру тізбегінің кедергісін өзгерту арқылы генератордың ЭҚК өзгертуге (реттеуге) болады.

**Мысал 51**

Тұрақты ток генератор параллельді қоздыруы орамамен (31 – сурет) жүктемеге жұмыс істейді, жүктеме кедергісі  $R_H=5$  Ом, зәкірдегі орамасының кедергісі  $R_A=0,2$  Ом, қоздыру ораманың кедергісі  $R_B=230$  Ом, генераторының қысқаштардығы кернеу  $U=130$  В.

*Анықтау:*

1 – генератордың ЭҚК; 2 – электромагниттік қуат; 3 – зәкір және қоздыру орамаларының қуат шығындарын; 4 – ПӘК, егер белгілі болса, бос жүріс режимінде генератор жетектен  $P_0=700$  Вт тұтынады, ал номиналдық режимді әр щеткада кернеудің төмендеуі  $\Delta U=0,5$  В.



31 сурет – Параллель қоздыру генераторының электрлік сұлбасы

Шешуі: Тоқтар

жүктеме ток

$$I_H = U/R_H = 230/5 = 46 \text{ А}$$

қоздыру ток

$$I_B = U/R_B = 230/230 = 1 \text{ А}$$

зәкір тоғы

$$I_{\text{я}} = I_H + I_B = 46 + 1 = 47 \text{ А}$$

Генератордың ЭҚК

$$E = U + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} = 230 + 47 \cdot 0,2 = 239,4 \text{ В}$$

Электромагниттік қуат

$$P_{\text{э}} = E \cdot I_{\text{я}} = 239,4 \cdot 47 = 11251,8 \text{ Вт}$$

Зәкір орамасының мыс қуатын жоғалту

$$P_{\text{мя}} = I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}} = 47^2 \cdot 0,2 = 441,8 \text{ Вт}$$

Қоздыру орамасының мыс қуатын жоғалту

$$P_{\text{мв}} = I_B^2 \cdot R_B = 1^2 \cdot 230 = 230 \text{ Вт}$$

ГОСТ сәйкес қосымша шығындар генератордың пайдалы қуатынан 1% құрайды

$$P_{\text{доп}} = 0,01 \cdot U \cdot I_H = 0,01 \cdot 230 \cdot 46 = 105,8 \text{ Вт}$$

Щеткадағы түйіспелердегі шығындар

$$P_{\text{щ}} = 2\Delta U \cdot I_{\text{я}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 47 = 47 \text{ Вт}$$

Пайдалы әрекет коэффициенті

$$\eta = \frac{U \cdot I}{U \cdot I + P_0 + P_{\text{мя}} + P_{\text{щ}} + P_{\text{доп}}} = \frac{230 \cdot 46}{230 \cdot 46 + 700 + 441,8 + 47 + 105,8} = 0,891$$

**Мысал 52**

Тұрақты ток қозғалтқыш оның қалқанында келтірілген келесі деректер бар:  $P = 3,2 \text{ кВт}$ ,  $U = 110 \text{ В}$ ,  $I = 38,2 \text{ А}$ ,  $n = 3000 \text{ айн/мин}$

*Анықтау:*

Қозғалтқышының айналу моментті мен ПӘК анықтау

*Шешуі:*

Айналу моментті

$$M = 9,55 \cdot \frac{P}{n} = \frac{9,55 \cdot 3200}{3000} = 10,19 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пайдалы әрекет коэффициенті

$$\eta = \frac{P_2}{U \cdot I} = \frac{3200}{110 \cdot 38,2} = 0,762$$

**Мысал 53**

Тұрақты ток қозғалтқыш параллельді қоздыруы ток орамамен келесі деректермен анықталады: полюстер жұптарының саны  $p=2$ , зәкір орамының өткізгіштерінің саны  $N=690$ , параллель тармақтардың жұп саны ( $a=2$ ), номиналдық магнит ағыны  $\Phi=0,012 \text{ Вб}$ , зәкір орамасының кедергісі  $R_{\text{я}}=0,134 \text{ Ом}$ , номиналдық кернеуде қоздыру тогы  $I_{\text{б}}=3 \text{ А}$ , номиналдық режим жұмысында желіден көректенетін ток  $I_{\text{н}}=100 \text{ А}$ , қозғалтқышының номиналдық жылдамдығы  $n_{\text{н}}=1500 \text{ айн/мин}$ , номиналдық жүктемеде пайдалы әрекет коэффициенті  $\eta=0,91$ .

*Анықтау:*

Қозғалтқышының білігінде номиналдық қуат пен номиналдық айналу моменті анықтау.

*Шешуі:*

Номиналдық жұмыс режимде қозғалтқышының зәкір орамасының қарсы ЭҚК.

$$E_{\text{я}} = \frac{p \cdot N}{60a} n \Phi = \frac{2 \cdot 690}{60 \cdot 2} 1500 \cdot 0,012 = 207 \text{ В}$$

Қозғалтқышының көректену қысқыштарында номиналдық кернеу

$$U_{\text{н}} = E_{\text{я}} + (I_{\text{н}} - I_{\text{б}}) \cdot R_{\text{я}} = 207 + (100 - 3) \cdot 0,134 = 220 \text{ В}$$

Қозғалтқышының білігінде номиналдық қуат

$$P_2 = U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} \cdot \eta = 220 \cdot 100 \cdot 0,91 = 20 \text{ кВт}$$

Номиналдык айналу моменті анықтау

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n_{ном}} = \frac{9,55 \cdot 20000}{1500} = 127,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

#### 4.4 Өздігінен шешуге арналған есептер

##### Мысал 54

Тұрақты ток генераторының қарапайым екі қабатты якорь орамасының 12 секциясы ( $S=12$ ) бар. Полюстер жұптарының саны  $p=2$ . Ораманың бесінші секцияның басы мен аяғын орналасқан зәкірдің ойық номерлерін анықтау. Егер бірінші секцияның басы 1 ойыққа салынған.

*Жауабы:* №:5-8'

##### Мысал 55

Тұрақты ток генератор параллель қоздыру орамамен жүктемеге 9200 Вт қуат береді. Генераторының қысқыштарында кернеу 220 В, қоздыру ораманың кедергісі 115 ом, зәкір орамасының кедергісі 0,2 Ом. Генераторының ЭҚК анықтау.

*Жауабы:*  $E=238,4 \text{ В}$

##### Мысал 56

Тұрақты ток қозғалтқыш желіден көректенеді  $U=220 \text{ В}$ , қозғалтқышының көректенетін ток  $I=40 \text{ А}$ , қозғалтқышының жылдамдығы  $n=2000 \text{ айн/мин}$ , пайдалы әрекет коэффициенті  $\eta=0,85$ . Қозғалтқышының білігінде айналу моменті анықтау.

*Жауабы:*  $M=35,72 \text{ Н}\cdot\text{м}$

##### Мысал 57

Алты полюсті тұрақты ток генераторының орамасы 600 өткізгіштер және үш жұп параллель тармақтар саны бар. Машинаның магниттік ағыны  $\Phi=0,01 \text{ Вб}$ . Генераторының айналу жылдамдығы  $n=2000 \text{ айн/мин}$ . Генераторының ЭҚК анықтау.

*Жауабы:*  $E=200 \text{ В}$

##### Мысал 58

Тұрақты ток қозғалтқыш параллель қоздырумен желіден көректенеді  $U=220 \text{ В}$ , қозғалтқышының көректенетін ток  $I=10 \text{ А}$ , қоздыру ораманың кедергісі  $R_B=220 \text{ Ом}$ . Машинаның магниттік ағыны  $\Phi=0,01 \text{ Вб}$ . Қозғалтқышының тұрақтылығы  $C_m=50$ . Қозғалтқышының айналу моменті анықтау  $M$ .

*Жауабы:*  $M=4,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$

## 4.5 Жеке тапсырмалар

### Мысал 59

Тұрақты ток қозғалтқыш параллельді қоздыруы ток орамамен келесі деректермен анықталады: номиналдық қуат  $P_{ном}$ , көректену кернеу  $U_{ном}$ , номиналдық айналу жылдамдығы  $n_{ном}$ , зәкір тізбегінде орамаларының кедергісі  $\sum r$ , қоздыру тізбегінде кедергі  $rB$ , щеткалар түйіспеде кернеу төмендеу  $\Delta U=2 B$ , Паметрлердің мәндері 12- кестеде келтірілген.

12 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

Параметр	Нұсқалар				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}, кВт$	25	15	45	4,2	18
$U_{ном}, В$	440	220	440	220	220
$n_{ном}, айн/мин$	1500	1000	1500	1500	1200
$\eta_{ном}, \%$	85	83,8	88	78	84
$\sum r, Ом$	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12
$rB, Ом$	88	73	88	64	73

*Анықтау:*

Қозғалтқышының номиналдық жүктеме режимінде көректенетін токты  $I_{ном}$ , іске қосу реостатының кедергісін  $R_{п.р}$ , осы кезде қозғалтқышының зәкір тізбегінде бастапқы іске қосу ток  $2,5I_{ном}$  тең болған жағдайда, бастапқы іске қосу моментті  $M_n$ , айналу жылдамдықты  $n_0$ , бос жүріс режимде  $I_0$  токты анықтау. Қозғалтқышының жүктеме өзгерген кезде зәкірдің номиналды айналу жылдамдығының өзгеруін анықтау. Зәкір реакциясының әсері ескерілмейді

*Шешуі: 1 нұсқа*

1 Қозғалтқышының номиналдық жүктеме режимінде көректенетін қуат

$$P_{I_{ном}} = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{25}{0,85} = 29,4 кВт$$

2 Номиналдық жүктеме режимінде көректенетін ток

$$I_{ном} = \frac{P_{I_{ном}}}{U_{ном}} = \frac{29,4 \cdot 10^3}{440} = 67 \text{ А.}$$

3 Қоздыру ораманың тізбегінде ток



$$I_B = \frac{U_{ом}}{r_B} = \frac{440}{88} = 5 \text{ А.}$$

4 Зәкір ораманың тізбегінде ток

$$I_{аном} = I_{ном} - I_B = 67 - 5 = 62 \text{ А}$$

5 Берілген 2 еселік кезінде зәкірдің бастапқы іске қосу ток

$$I_{аном} = 2,5I_{аном} = 2,5 \cdot 62 = 155 \text{ А}$$

6 Берілген іске қосу ток 2,5 еселік кезінде зәкірдің керекті тізбекте кедергі

$$R_a = R_{np} + \sum r = \frac{U_{ном}}{I_{ан}} = \frac{440}{155} = 2,83 \text{ Ом}$$

7 Іске қосу реостаттың кедергісі

$$R_{ap} = R_a - \sum r = 2,83 - 0,15 = 2,68$$

8 Номиналдық жүктемеде зәкірдің ЭҚК

$$R_{аном} = U_{ном} - I_{аном} \sum r - \Delta U_{щ} = 440 - 62 \cdot 0,15 - 2 = 428,7$$

9 Теңдеуден

$$E_a = c_e \Phi n$$

Анықтаймыз

$$c_e \Phi = \frac{E_a}{n} = \frac{428,7}{1500} = 0,285$$

Коэффициенттер қатынасы

$$\frac{c_m}{c_e} = \frac{\left[ \frac{pN}{(2\pi a)} \right]}{\left[ \frac{pN}{(60a)} \right]} = 9,55$$

сондықтан бұл жағдайда

$$c_m \Phi = 9,55 c_e \Phi = 9,55 \cdot 0,285 = 2,72$$

10 Берілген іске қосу ток 2,5 еселік кезінде бастапқы іске қосу момент

$$M_n = c_m \Phi I_{an} = 2,72 \cdot 155 = 422 \text{ Н м}$$

11 Номиналдық жүктемеде қозғалтқыш білігінде моменті

$$M_{2ном} = 9,55 \frac{P_{эм}}{n_{ном}} = 9,55 \cdot 25 \cdot 10^3 / 1500 = 159$$

12 Номиналдық жүктемеде электромагниттік моменті

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{эм}}{n_{ном}} = 9,55 \cdot 26579 / 1500 = 169$$

Мұнда номиналдық жүктемедегі электромагниттік қуат

$$P_{элноm} = E_{аном} I_{аном} = 428,7 \cdot 62 = 26579 \text{ Вт}$$

13 Бос жүріс моменті

$$M_0 = M_{ном} - M_{2ном} = 169 - 159 = 10 \text{ Н}$$

14 Бос жүріс режимде зәкір тогы

$$I_{a0} = \frac{M_0}{(c_m \Phi)} = \frac{10}{2,72} = 3,68 \text{ А}$$

15 Бос жүріс режимде зәкірдің ЭҚК ( $\Delta U_{щ}=0$ )

$$E_{a0} = U_{ном} - I_{a0} \sum r = 440 - 3,68 \cdot 0,15 = 439 \text{ В}$$

16 Бос жүріс режимде зәкірдің айналу жиілігі

$$n_0 = \frac{E_{a0}}{(c_e \Phi)} = \frac{439}{0,285} = 1540 \text{ айн\|мин}$$

17 Жүктеме түскен кездегі қозғалтқышының номиналдық айналу жиілігінің өзгеруі

$$\Delta n_{ном} = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_{ном}} \cdot 100 = \frac{1540 - 1500}{1500} \cdot 100 = 2,66 \%$$

### Мысал 60

Тұрақты ток кран қозғалтқышы параллельді қоздыруымен Д сериялы,  $P_{ном}$  номиналдық қуатымен, электр желіге 220 В кернеумен және номиналдық жүктемеде айналу жылдамдығын  $n_{ном}$  дамытады.

*Анықтау:*

Деректерді есептеу және жүктеме тогының қозғалтқыштың жүктеме моментіне тәуелділігінің графигін құру  $I_a = f(M)$ . Бос жүріс моменттің елемеу

Көрсетілген қозғалтқыш параметрлерінің мәндері 13 – кестеде келтірілген

13 кесте - Өз нұсқасына арналған деректер

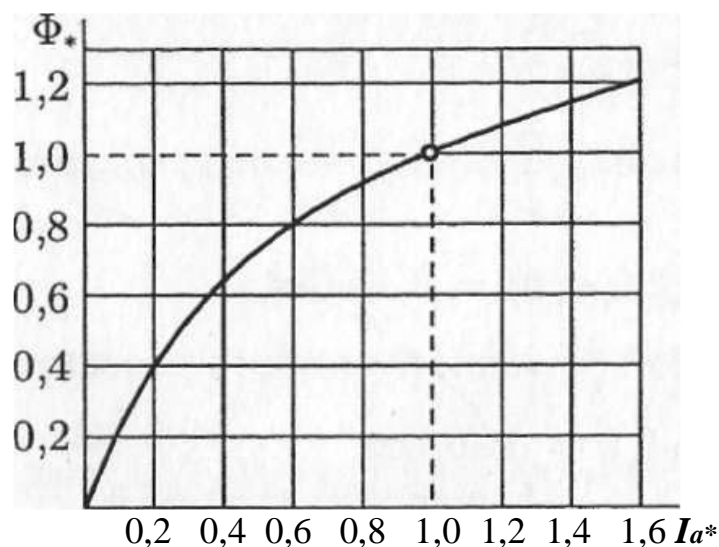
Қозғалтқышының типі	$P_{ном, кВт}$	$U_{ном, В}$	$\eta_{ном, \%}$	$n_{ном, айн/мин}$
Д – 806	22	220	85	575
Д – 808	37	220	88	525
Д – 810	55	440	89	500
Д – 812	75	440	89,5	475
Д – 814	110	440	90	460
Д – 32	12	220	80	675
Д – 41	16	220	82	650

*Шешуі: 1 нұсқа (Д – 806)*

Параллельді қоздыру қозғалтқышында зәкір тогы қоздыру тогы болғандықтан, қозғалтқыштың негізгі магнит ағыны  $\Phi$  жүктеме тогына  $I_a$  байланысты болады. Бірақ қозғалтқыштың магниттік жүйесі магниттік қанықтыру күйінде болғандықтан, бұл сызықтық емес тәуелділік. 31 – суретте магнит ағынының  $\Phi^* = \Phi / \Phi_{ном}$  салыстырмалы мәндерінің якорь тогына  $I_a^* = I_a / I_{аном}$  тәуелділік графигі көрсетілген және есепті шешу кезінде пайдалану керек.

Жүктеме тогы мен  $I_a$  момент арасындағы  $M$  байланыс

$$I_a = \frac{M}{(c_M \Phi)}$$



31 сурет – Қозғалтқыштың негізгі магнит ағынының зәкір тізбегіндегі токқа тәуелділігі

Токтың және моменттің номиналдық мәндер үшін, бұл бұл тәуелділіктің түрі

$$I_{ном} = \frac{M_{ном}}{c_M \Phi_{ном}}$$

Жүктеме тогының салыстырмалы мәніне өту кезінде  $I_a^* = I_a / I_{ном}$

$$I_a^* = \frac{M / (c_M \Phi)}{M_{ном} / (c_M \Phi_{ном})} = \frac{M / \Phi}{M_{ном} / \Phi_{ном}} = (M / M_{ном}) (\Phi_{ном} / \Phi) = M^* / \Phi^*$$

Немесе

$$I_a^* \Phi^* = M^*$$

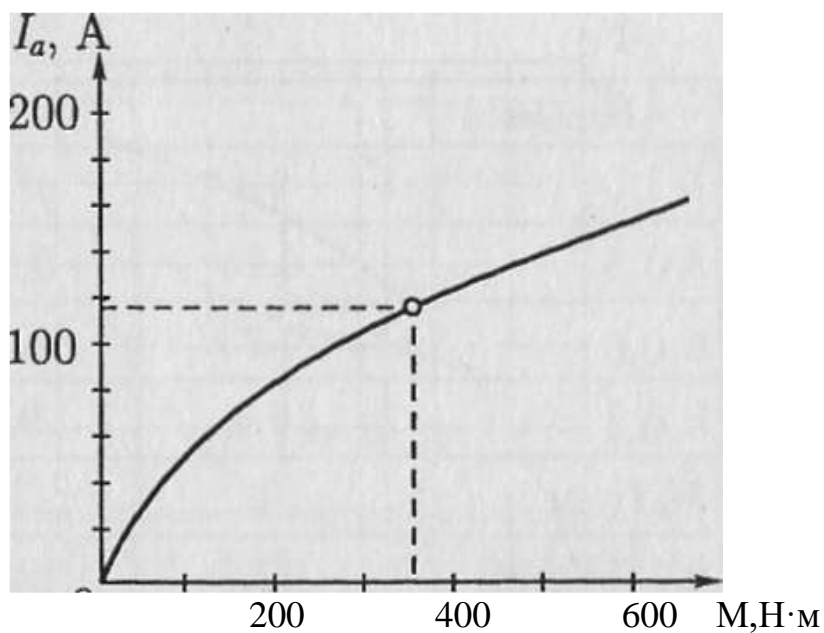
Жүктеме тогының бірқатар салыстырмалы мәндерін анықтағаннан кейін,  $I_a^*$ , содан кейін график бойынша  $\Phi^* = f(I_a^*)$   $\Phi$  магнит ағыны анықталады. Көбейтіп бұл мәндерді  $M$  шамасын аламыз.

Салыстырмалы шамаларды номиналдыға көбейтіп, ток  $I_a$  (А) пен моменттің  $M$  (Н·м) аталған мәндерін алыңыз.

Есептеу нәтижелері 14 – кестеге енгізіледі, содан кейін қажетті график жасалады  $I_a = f(M)$  32 – суретте көрсетілген.

## 14 кесте – Есептеу нәтижелері

Параметр	Параметр мәндері				
$I_a^*$	0,2	0,6	1,0	1,2	1,6
$\Phi^*$	0,4	0,8	1,0	1,08	1,2
$M^*$	0,08	0,48	1,0	1,3	1,9
$I_a, A$	24	71	118	142	189
$M, Нм$	28	175	365	475	694



32 сурет – Тұрақты токты параллель қоздыру қозғалтқышына тәуелділік  $I_a=f(M)$

Зәкір тоғының номиналдық мәні

$$I_{аном} = \frac{P_{ном}}{(\eta_{ном} U_{ном})} = \frac{22 \cdot 10^3}{(0,85 \cdot 220)} = 118 \text{ А}$$

Моменттің номиналдық мәні

$$M_{ном} = 9,55 \cdot P_{ном} / n_{ном} = 9,55 \cdot 22 \cdot 10^3 / 575 = 365 \text{ Н·м}$$

#### 4.6 Бақылау сұрақтары

- 1 Тұрақты ток қозғалтқыштары зәкірінің қысқыштарындағы кернеу, ЭҚК-тен неге көп және қандай шамада?
- 2 Тұрақты ток машиналарда қосымша полюстар қандай жұмыс атқарады?
- 3 Барабан орамасының сақиналы орамамен салыстырғанда қандай артықшылығы бар?
- 4 Қандай ойық элементар деп аталады?
- 5 Орамалардың симметриясының шарттары қандай?
- 6 Күрделі тұрақты орамалары қандай мақсатта қолданылады?
- 7 Тұрақты ток машиналарындағы қандай процесс коммутация деп аталады?
- 8 Щеткалардың ұшқындауының себептері қандай?
- 9 Коммутацияланған секцияда қандай ЭҚК реактивті деп аталады?
- 10 Тұрақты ток қозғалтқыштары қандай негізде жіктеледі?
- 11 Қозғалтқыштардың жұмыс қасиеттерін қандай сипаттамалар бағалайды?
- 12 Тұрақты ток қозғалтқыштарының жылдамдығы мен моменттік сипаттамаларын салыстырыңыз.
- 13 Тұрақты ток қозғалтқыштарын тежеу қандай жолдармен жүзеге асырылады?
- 14 Тұрақты ток қозғалтқыштары үшін жылдамдықты реттеудің қандай әдістері қолданылады?
- 15 Тұрақты ток генераторлар қандай негізде жіктеледі?
- 16 Қандай сипаттама жүктеме деп аталады және ол қандай мақсатта орындайды?
- 17 Тұрақты ток генераторының аса қозыу қалай жүреді?
- 18 Орамалардағы электр шығындары қалай анықталады?
- 19 Магниттік шығындар неге байланысты? Олар машинаның қай бөліктерінде пайда болады?
- 20 Генератор мен қозғалтқыштың ПӘК қалай анықталады?
- 21 Электр машиналарында қандай желдету жүйелері қолданылады?
- 22 Орамалардың рұқсат етілген шекті температурасы неге байланысты?
- 23 Қандай шығындар тұрақты және қандай тұрақты емес деп аталады?
- 24 Механикалық шығындар қандай құраушылардан тұрады?
- 25 Тұрақты ток қозғалтқыштарының айналу бағытын қалай өзгертуге болады?
- 26 Тұрақты ток қозғалтқыштарында іске қосу тогын азайтудың қандай әдістері қолданылады?
- 27 Өздігінен қозу пайда болған үшін қажетті шарттары атаңыз.
- 28 Параллель жұмыс кезінде жүктемені бір генератордан екіншісіне ауыстыру қалай жүзеге асырылады?
- 29 Тізбектей қоздыру бар қозғалтқыштарын іске қосу кезінде қандай сақтық шараларын қолдану керек?
- 30 Машинаның ПӘК жоғалтудың қандай қатынасы максималды мәнге ие болады?

**Пайдаланған әдебиеттер тізімі**

- 1 Кацман, М.М. Электрические машины: Учебник / М.М. Кацман. - М.: Academia, 2017. - 320 с.
- 2 Кацман, М. Н. Сборник задач по электрическим машинам / М.Н. Кацман. - М.: Academia, 2013. - 160 с.
- 3 Баклин, В.С. Электрические машины. расчет двухполюсных турбогенераторов. практикум.: Учебное пособие для прикладного бакалавриата / В.С. Баклин. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 137 с.
- 4 Битюцкий, И.Б. Электрические машины. Двигатель постоянного тока. Курсовое проектирование: Учебное пособие / И.Б. Битюцкий, И.В. Музылева. - СПб.: Лань, 2018. - 184 с.
- 5 Токарев, Б.Ф. Электрические машины: Учебное пособие для вузов / Б.Ф. Токарев. - М.: Альянс, 2015. - 626 с.
- 6 Копылов, И.П. Электрические машины в 2 т. том 1: Учебник для академического бакалавриата / И.П. Копылов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 267 с.
- 7 Копылов, И.П. Электрические машины в 2 т. том 2: Учебник для академического бакалавриата / И.П. Копылов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 407 с.
- 8 Глазков, А.В. Электрические машины. Лабораторные работы: Учебное пособие / А.В. Глазков. - М.: Риор, 2018. - 478 с.
- 9 Кацман, М.М. Электрические машины. справочник (спо) / М.М. Кацман. - М.: КноРус, 2019. - 288 с.
- 10 Қалықов Б.Р., Исаханов М.Ж., Электр машиналары және электр жетегі: Оқулық / Алматы: «Сөздік-Словарь», - 2005