

Г.В.ЯРОЧКИНА

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА НЕГІЗДЕРІ

«Білім беруді дамытудың федералдық институты»
федералдық мемлекеттік автономдық мекемесімен
(«БДФИ» ФМAM) бастапқы кәсіби білім беру
бағдарламасын іске асыратын білім беру ұйымдарының оқу
процесіне оқулық ретінде
ҰСЫНЫЛҒАН.

Пікірдің тіркеу нөмірі 290

4-ші басылым, стереотипті



«Академия» баспа
орталығы, 2016

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТКББ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру бойынша қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды.

Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@deg.kz

П і к і р б е р у ш і л е р : С. С. Костенкова, Мәскеу қаласы, ГБОУ СПО «№ 13 Политехникалық колледж» оқытушысы, Г. Г. Хрящева, Мәскеу қаласы, ГБОУ СПО «№ 26 Құрылыс колледжі» жалпы техникалық пәндер ПЦК төрағасы, математика және автоматизация пәндерінің оқытушысы.

Ярочкина Г. В.

Я769 Электротехника негіздері: орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттерге арналған оқу құралы/ Г. В. Ярочкина. — 4 басылым стер. — М., «Академия» баспа орталығы, 2016. -240 б.

ISBN 978-601-333-150-8 (каз.) ISBN 978-5-4468-3452-5 (рус.)

Оқулық орта техникалық сала мамандықтарына арналған «Электротехника негіздері» пәні бойынша кәсіптік білім берудің федералды мемлекеттік білім беру стандартына сәйкес жасалған.

Оқулықта электростатиканың негізгі ұғымдары берілген. Сонымен қатар тұрақты және айнымалы ток тізбектері, үш фазалы және магнитті тізбектер қарастырылған. Электрлік өлшеулер туралы және электрлік өлшеуіш құралдар, сондай-ақ, электрлік аспаптар, соның ішінде, трансформаторлар, электрлік машиналар туралы көптеген мағлұматтар берілген. Электр энергиясының берілу және таратылу принциптері толығымен сипатталған.

Орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

1.3(075.32) КБЖ 31.2я722

і :



— күзiреттiлiктер

— бақылау сұрақтары

— тәжірибелік тапсырмалар



— рефераттар мен баяндамалар тақырыптар

— анықтамалар

— ЕСТЕ САҚТАҢЫЗ

ISBN 978-601-333-150-8 (КАЗ.)

ISBN 978-5-4468-34-52-5 (РУС.)

© Ярочкина Г. В., 2013

© «Академия» білім беру – баспа орталығы, 2013

© Рәсімдеу. «Академия» білім беру – баспа орталығы, 2013

Құрметті оқырман!

Аталмыш оқу-құралы техникалық сала мамандықтарына арналған жалпы кәсіптік цикл пәндері оқу – әдістемелік кешеннің бір бөлігі болып табылады.

Оқулық «Электротехника негіздері» жалпы кәсіптік пәнін оқытуға арналған.

Оқулыққа жаңа заман талабына сай оқу-әдістемелік кешен негізіне жалпы білім беру және жалпы кәсіптік пәндер, кәсіптік модульдерді қамтамасыз ететін, дәстүрлі және иновациялық оқу материалдары кіреді.

Әр кешен жалпы және кәсіптік компетенцияларды, соның ішінде, жұмыс беруші талаптарын негізге ала отырып, меңгертуге арналған оқулық және оқу құралынан, оқыту және бақылау құралдарынан тұрады.

Оқу басылымы электронды білім ресурстарымен толықтырылып отырады. Электронды ресурс интерактивті және жаттықтырушы жаттығулар, мультимедиялық объект, қосымша материалдарға және интернет ресурстарына нұсқамадан тұратын, теориялық және тәжірибелік модульдерден құралған. Оларда оқу процесінің негізгі параметрлері: жұмыс уақыты, бақылау және практикалық тапсырмалар нәтижесі тіркелетін, электрондық оқулық және терминологиялық сөздіктер қамтылған. Электронды ресурстар оқу процесіне оңай қалыптасады және әртүрлі оқу бағдарламаларына бейімделе алады.

Алғы сөз

«Электротехника негіздері» оқу құралы орта және кәсіптік білім беру мекемелері студенттеріне арналған жалпы кәсіптік пән болып табылады.

Электротехника деп электрлік және магниттік құбылыстарды тәжірибелік мақсатта қолданатын, ғылым мен техниканың саласын атаймыз.

Электр энергиясы – энергияның өндірісте, ауыл шаруашылығында, құрылыста, көлікте және күнделікті тұрмыста қолданылатын ең көп тараған түрі

Электротехниканың ғылым ретінде дамуы электрлік емес өлшемдерді электрлікке түрлендірудің түрлі әдістерін өңдеуге және кез келген өндірістік процестерді бақылауға, басқаруға және автоматты реттеуге арналған электрлік құралдарды құруға мүмкіндік берді. Электрлік және магниттік құбылыстарды өндірісте, медицинада, экологияда және т.б. өндірістерде қолдану электротехниканың қазіргі жетістіктері болып табылады.

Оқу құрал сегіз бөлімнен тұрады: «Электростатика негіздері», «Тұрақты ток электр тізбектері», «Электромагниттік және электромагнитті индукция», «Айнымалы токтың электр тізбектері», «Электрлік өлшеу және электр өлшеуіш құралдар», «Трансформаторлар», «Электрлік машиналар», «Синхронды машиналар» және «Электр энергиясын өндіру, тарату және тұтыну».

Әр бөлімнің басында оқып болғаннан соң, студенттің қалыптасуы керек біліктілігі мен дағдылану талаптары келтірілген.

Оқу құралының мазмұны электроэнергетиканың қазіргі жетістіктеріне негізделген және тәжірибелік-бағытталған бағытқа ие. Типтік есептер шешімдері, бақылау сұрақтары және тәжірибелік тапсырмалар өзіндік жұмыстарды ұйымдастыруға арналған.

Рефераттардың ұсынылған тақырыптары студенттердің сабақтан тыс өзіндік жұмыс негізінде қолдануға арналған. Оқулықта оқу материалдарын құрылымдау және оны меңгеруді оңтайландыру үшін ерекшелеулер қолданылған.

Оқулық орта техникалық сала мамандықтарына арналған «Электротехника негіздері» пәні бойынша кәсіптік білім берудің федералды мемлекеттік білім беру стандартына сәйкес жасалған.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА НЕГІЗДЕРІ

Сіз бұл бөлімді оқу нәтижесінде мына мәліметтерді білетін боласыз:

■ *Істей аласыз:*

- екі зарядтың өзара әсер күшін, электр өрісінің кернеуін, электр өрісі нүктесінің потенциалын анықтау;
- тізбекті, параллельді және аралас байланысқан жалпақ конденсатордың сыйымдылығы, конденсатордың эквивалентті (жалпы) сыйымдылығын есептей алу;

■ *Біле аласыз:*

- токтың, электр зарядының, электр өрісінің кернеуі мен потенциалының өлшем бірліктері;
- Кулон заңы.

1.1. ЭЛЕКТРЛІК ӨРІС



Электрлік өріс — зарядталған бір денеден екіншісіне өтетін, заттардан бөлек, ерекше, материя түрі болып табылады.

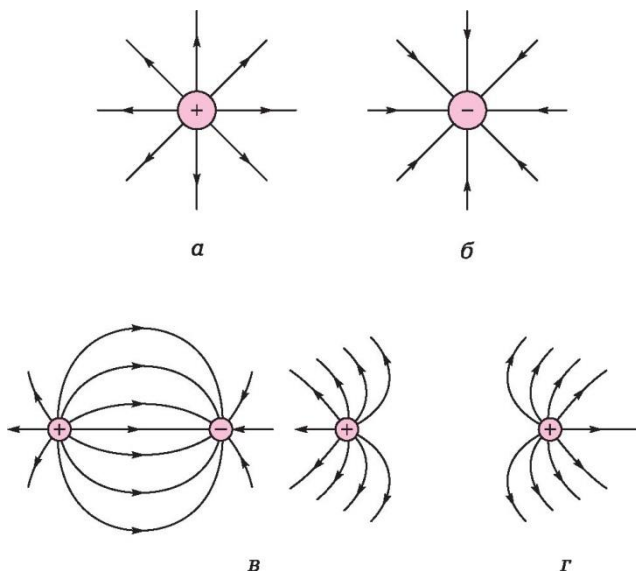
Электр өрісі зарядтан бөлінбейді және сонымен бірге оны қоршайды. Электр өрісінің күші әсерімен зарядтардың әсерлесуі – өзара тартылуы мен тебілуі жүзеге асады. Электр өрісі кез келген ортада, тіпті вакуумда, зарядтың айналасында туындайды. Зарядталған барлық дене өрісі жекеленген элементарлы зарядтарға – электрондар мен протондарға, жататын өрістерден құралған. Егер электр өрісіне сынама оң заряд орналастырса, онда осы өріс күші оны белгілі бір бағытқа орналастыруға талпынып, оған әсер етеді.

Электр өрісі күшімен, сынама оң заряд орын ауыстыратын түзу *күштік түзу* деп аталады.

Электр өрісі күштік түзулер арқылы кескінделеді (1.1 сурет).

Электр өрісінің зарядқа оның қозғалу жылдамдығын күшейте отырып, әсер етуі *жылдамдатылған электр өрісі* деп аталады.

Егер электр зарядын электр өрісі күшіне қарсы қозғалтсақ, онда электр өрісінің энергиясы өседі де, заряд қозғалысының жылдамдығы кемиді. Бұндай өріс *тежеуші электр өрісі* деп аталады.



1.1. сурет. Электр өрісінің шартты белгіленуі:

a — оң заряд; $б$ — теріс заряд; $в$ — аттас емес заряд; $г$ — аттас зарядтар.

Электр өрісінің әсерімен тексерілетін оң заряд бойынша жылжитын сызықты **күш сызығы** деп аталады. Электр өрісі күш сызықтары арқылы көрсетілген (1.1 сурет).

Зарядқа әсер беріп, оның жылдамдығын өсіретін электр өрісі **жылдамдатқыш электр өрісі** деп аталады.

Егер электр зарядын оның өрісінің әсер етуші күшіне қарсы жылжуға мәжбүрлесе, онда электр өрісінің энергиясы ұлғаяды. Ал зарядтың жылжу жылдамдығы азаяды. Мұндай өріс **тежегіш электр өрісі** деп аталады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электр өрісі дегеніміз не?
2. Электр өрісінің қандай түзуі күштік деп аталады?
3. Қандай электр өрісі тежелген, жылдамдатылған деп аталады?

1.2. ЗАРЯДТАРДЫҢ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ.

КУЛОН ЗАҢЫ

Электр зарядтары өзара әсерлеседі, яғни, аттас зарядтар тебіледі. Өр аттас зарядтар тартылады. Электр зарядтарының әсерлесу күші **Кулон заңымен** анықталады және зарядтар орналасқан нүктелерді қосатын түзу сызықпен бағытталып отырады.



Кулон заңына сәйкес, *екі нүктелі электр зарядтарының әсерлесу күші осы зарядтардағы электрлік санына туындысына тура пропорционал, олардың ара қашықтығына кері пропорционал және заряд орналасқан ортаға байланысты.*

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_a r^2}$$

мұндағы, F - зарядтардың әсерлесу күші, Н; q_1, q_2 — әр заряд электрлігінің саны, Кл; ϵ_a — ортаның (материалдың) абсолютті диэлектрлік өткізгіштігі; r — зарядтар арасындағы қашықтық, м.

Әсерлесетін зарядтар орналасқан, ортаның абсолютті диэлектрлік өткізгіштігі сол ортаның электрлік қасиетін сипаттайды. Халықаралық бірліктер жүйесінде (ХБЖ) ϵ_a фарад/метрмен өлшенеді және келесі формуламен есептеледі:

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r$$

мұндағы, ϵ_0 — вакуумның абсолютті диэлектрлік өткізгіштігіне тең, тұрақты электрлік, $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

1.1. кесте. Материалдардың диэлектрлік өткізгіштігі

Материал	ϵ	Материал	ϵ
Шақпақ тас	6 — 7	Карболит	3,5
Фарфор	6,5	Лакталған мата	3,5 — 3,6
Мрамор	10,1	Керосин	2,0
Парафинирленген қағаз	2,2	Шыны	5,5 — 10
Гетинакс	7,8	Эбонит	2,4 — 4,5

ε өлшемі вакуумге қарағанда, аталған ортада электр зарядтарының әсерлесуі қаншалықты әлсіз екенін көрсетеді және қатысты диэлектрлік өткізгіштік деп аталады. (1.1 кесте).

1.1. мысал. Бос ортада орналасқан, ара қашықтығы 5 см болатын, екі заряд арасындағы әсерлесу күшін анықтау. Заряд өлшемі $2 \cdot 10^{-8}$ және $3 \cdot 10^{-5}$ Кл.

Шешуі:

Зарядтардың әсерлесу күші:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_a r^2} = \frac{2 \cdot 10^{-8} * 3 \cdot 10^{-5}}{4 * 3.14 * 8.86 * 10^{-12} * 1 * 0.5^2} = 2.16\text{Н}$$

Сол қашықтықта, керосинде орналасқан екі зарядтың өзара әсерлесу күші:

$$F = \frac{2 \cdot 10^{-8} * 3 \cdot 10^{-6}}{4 * 3.14 * 8.86 * 10^{-12} * 2 * 0.5^2} = 1.08\text{Н}$$

яғни, күш екі есе кеміді.

! Есте сақтаңыз

Үлкен электр зарядтары, кішілеріне қарағанда күштірек әсерлеседі. Заряд арасы қашықтығы өскен сайын, олардың әсерлесу күші бәсеңдейді.

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Кулон заңының мәнісі неде? Оны атаңыз.
2. Ортаның абсолютті диэлектрлік өткізгіштігі қандай өлшеммен өлшенеді және ол нені сипаттайды?

П ТӘЖІРИБЕЛІК ЖҰМЫС

1. Бір зарядтың өлшемі $2 \cdot 10^{-5}$ Кл, екіншісі — $4 \cdot 10^{-4}$ Кл құрайды. Олардың вакуумдағы өзара әрекеттесу күшін табыңыз. Егер олар бір – бірінен 10 см қашықтықта орналасса ғана болады.

2. $2 \cdot 10^{-7}$ тең зарядқа 0,1 Н күш әсер етеді. $4,5 \cdot 10^{-7}$ Кл тең екінші заряд орналасқан қашықтықты табыңыз. Екі зарядта вакуумда орналасқан.

1.3. ПОТЕНЦИАЛ

Электр өрісінің әр нүктесін сипаттайтын негізгі өлшемдер потенциал мен өріс кернеулігі болып табылады. Электр өрісіне электр зарядын енгізгенде осы өріс күшін еңсеру үшін айтарлықтай жұмыс жасау керек болады.



Электрлік потенциал — бұл электр өрісінің аталған нүктесінде орналасқан, электрлік мөлшерінің бірлігін, энергия (потенциалды энергия) қорын анықтайтын өлшем



Аталған өріс нүктесінің потенциалы - электр өрісі оң заряд бірлігін аталған өріс нүктесінен шексіз алшақтатылған нүктеге орналастырған кезде жұмсайтын жұмысы.

$+q$ зарядын шексіз алшақтатылған нүктеден В нүктесіне қайта орналастыру үшін, ішкі күш өрістің электрлік нүктесін еңсеруге кететін, А жұмыс атқару керек

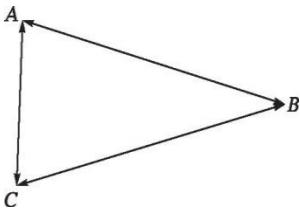
В нүктесінің F потенциалы жұмыс пен электр өлшемінің қатынасына тең:

$$\Phi = \frac{A}{q} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В.}$$

Электр өрісінің А жұмысы, H , жолға, m , кеткен күш туындысымен анықталады:

$$A = FS,$$

Мұндағы F — күш, H ; S — жол, m .



1.2 сурет. Электр өрісінің әр нүктедегі потенциалдардың әр түрлілігі

Оң зарядты электр өрісінде кез келген нүктенің потенциалы *оң*, ал, теріс заряд — өрісі — *теріс*.

Электр өрісінде зарядтардың А нүктесінен В нүктесіне қозғалуы (1.2 сурет), сәйкесінше, Φ_A және Φ_B — ға тең, өріс күші орындайтын жұмыс, зарядтың жол басындағы және соңындағы нүктелеріндегі, А және В, потенциалды энергияның түрлілігіне тең болады. Сөйтіп, зарядтың А жұмысы келесі формуламен өрнектеледі:

$$A = q(\Phi_A - \Phi_B) = qU_{AB}.$$

Потенциалдардың φ_A, φ_B әртүрлілігін, U әріпімен белгілеп, *потенциал сияқты вольтпен өлшеп, кернеу* деп атайды.

1.2.мысал. Электр өрісінің А нүктесіндегі потенциал жерге қатысты $\varphi_A = 16$ В, В нүктесінде потенциал $\varphi_B = 10$ В, С нүктесінде потенциал $\varphi_C = -4$ В. Осы нүктелер арасындағы кернеу потенциалының түрлілігін анықтау.

Шешуі:

$$\begin{aligned}\varphi_A - \varphi_B &= U_{AB} = 16 - 10 = 6 \text{ В}; \\ \varphi_B - \varphi_C &= U_{BC} = 10 - (-4) = 14 \text{ В}; \\ \varphi_{CA} - \varphi_A &= U_{CA} = -4 - 16 = -20 \text{ В};\end{aligned}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Электр өрісінің әр нүктесін сипаттайтын өлшемдер қандай?
- 2.Электрлік потенциал дегеніміз не?
- 3.Өрістің аталған нүктесінің потенциалы дегеніміз не?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

- 1.Электр өрісінің А нүктесіндегі потенциал 60 В, В нүктесінде – 7В. $q = 6$ Кл заряды А нүктесінен В нүктесіне жылжытылды. Орындалған жұмысты есептеңіз.
- 2.Электр өрісінің нүктесіндегі потенциалды анықтаңыз, егер $q = 5 \cdot 10^{-7}$ Кл зарядын өріс нүктесіне жылжытқанда, 0,05 Дж жұмыс атқарылса.

1.4. ӨРІС КЕРНЕУЛІЛІГІ

Электр өрісінің әр нүктесіндегі электр өрісі кернеумен сипатталады. Электр өрісінің q зарядқа әсер ететін, F күші көп болған сайын, өріс кернеулілігі де көп болады. Электр өрісінің әр нүктесіндегі кернеу әр түрлі болуы мүмкін. Өріс кернеулілігі В/м сипатталып, келесі формуламен анықталады.

$$E = \frac{F}{q},$$

мұндағы, F — электр өрісінің зарядқа әсер ету күші, Н; q — электр зарядының мөлшері, Кл.

«Электр өрісінің кернеулілігі» мен «кернеу» екі түрлі ұғымдар екенін есте ұстау керек.



Есте сақтаңыз

Электр өрісінің кернеулілігі өрісті қандай да бір, жекеленген зарядқа әсер ететін нүктеде, осы нүктеге енгізілген күш арқылы сипаттайды. Ал кернеу – электр өрісінің екі нүктесі арасындағы потенциалдардың әр түрлілігі, яғни, жекеленген зарядтарды бір нүктеден екіншісіне қозғалтқанда өріс күштері орындайтын жұмыс .



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Электр өрісінің кернеулілігі дегеніміз не?
- 2.Электр өрісінің кернеулілігінің кернеуден айырмашылығы неде?

1.5. ЭЛЕКТР ТОГЫ ҰҒЫМЫ



Электр тогы — электр зарядтарының өткізгіштер бойымен бағытталған қозғалысы.

Электр тогының бағыты деп электрондардың металл өткізгіштер арқылы қозғалу бағытын атауға болар еді. Алайда, өткізгіштер арқылы оң зарядтардың қозғалу бағытын атау шартты түрде ұсынылған. Бұл шарт ертеректе қалыптасып, бүгінгі күнге дейін электротехникада өз күшін жоғалтпады.

Электр тогын арнайы көздерден алады. Олар: гальваникалық элементтерден, аккумуляторлардан, генераторлардан тұрады.

Электр тогын бақылау мүмкін емес. Токтың өтуін ол көрсететін әрекет арқылы ғана талдауға болады.



Есте сақтаңыз

Электр тогының бар екенін топшылайтын белгілер:

- Электр тогы өтетін өткізгіш қызады;
- Электр тогы өткізгіштен өте отырып, оның айналасында магниттік өріс туғызады;
- Тұз ерітіндісі, сілті, қышқылдар арқылы, сонымен қатар ерітілген тұздар арқылы өтетін ток оларды ыдыратады.

Егер өткізгіштің көлденең қимасы арқылы q Кл (кулон) электр t с өтсе, онда өткізгіштің көлденең қимасы арқылы 1 с өткен электр ток мөлшері деп аталады. Және I әріпімен белгіленеді:

$$I = \frac{q}{t}.$$

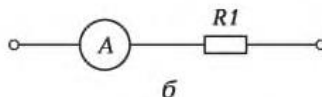
Токтың өлшем бірлігі ампер(А), өткізгіштің көлденең қимасы арқылы 1 с өткен 1 Кл электр мөлшері.

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}.$$

Электр тізбегіндегі ток амперметрмен өлшенеді (1.3 сурет). Амперметр электр тізбегіне тізбектей қосылады. (1.3 б сурет). Мөлшері мен бағыты бойынша өзгермейтін ток, **тұрақты ток** деп аталады. Торақты токты гальваникалық элементтер, аккумуляторлар, тұрақты ток генераторлары береді.



a



б

1.3 сурет. Амперметр:

a —сыртқы түрі; *б* — қосылу схемасы



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Электр тогын қандай құралдардан алуға болады?
- 2.Электр тогының бар екенін қандай сипаттар арқылы білуге болады?
- 3.Амперметр электр тізбегіне қалай қосылады?

1.6.

ӨТКІЗГІШТЕР МЕН ДИЭЛЕКТРИКТЕР

Электрондардың белгілі бір бағыт бойынша қозғалуы және электр тогының тууы барлық материалдарда бірдей мүмкін бола бермейді. Мысалы, фарфорда, резинкада, мраморда, шақпақ тас, бос электрондар жоқ, барлық электрондар ядромен байланысқан. Сондықтан, электр өрісінің зарядтары электрондарды нақты бағыт бойынша қозғалта алмайды және ондай материалдарда ток жүрмейді. Ондай материалдар *диэлектриктер* мен *изоляторлар* деп аталады.

Диэлектриктерге ауа, газ, шақпақ тас, мрамор, пластмасса, лак және эмаль, электрофарфор, лактыматалар, шыныталшықтар және т.б материалдар жатады.

Керісінше, металдарда бос электрондар көп және электр өрісі күшінің әсер етуінен электр зарядтарының қозғалуы жүзеге асады. Сондықтан металл арқылы ток жүреді. Электр тогын өткізетін материалдар *өткізгіштер* деп аталады. Алғаш рет өткізгіштердің сипаттамалары XIV ғ. келтірілген. Оларға металдар, тұз, қышкыл ерітінділері және үгінділер жатады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Қандай материалдар диэлектриктер деп аталады?
- 2.Электр тогын өткізетін қандай материалдарды білесіздер?

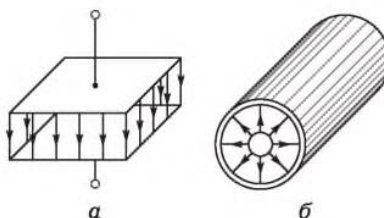
1.7.

ЭЛЕКТРЛІК СЫЙЫМДЫЛЫҚ. КОНДЕНСАТОРЛАР



Диэлектрикпен бөлінген, екі өткізгіштен тұратын, өгізгіштің немесе құралдың электрлық сыйымдылығы олардың электр зарядтарын жинау қабілеттерімен сипатталады.

1.4.сурет. Конденсаторлар:
a — жалпақ; *б* — цилиндрлік



Техникада конденсаторлар-салыстырмалы кіші өлшемдерде айтарлықтай электр зарядтарын жинай алатын, құралдар, кеңінен қолданылады. Конденсаторлардың электрлік сыйымдылықтары өте үлкен және энергетикалық орнатуларда, электроника, автоматика құралдарында қолданылады. Қарапайым конденсатор ортасында диэлектрик (ауа, шақпақ тас, фарфор, қағаз және т.б.) бар екі жақын орналасқан металл пластиналардан (астардан) тұрады. Конденсатор электрондары аумағын үлкейту үшін оны көп қабатты етіп жасайды. Жалпақ конденсатордың схемалық түрі 1.4. а суретте, ал цилиндрлік – 1.4 б суретте көрсетілген.

Конденсаторлардың әр түрі 1.5 суретте көрсетілген.



1.5. сурет. Конденсаторлардың әр түрі

Конденсаторлардың электрлік сыйымдылығы оның пластиналарындағы заряд мөлшер мен олардың арасындағы кернеу қатынасына тең:

$$C = \frac{q}{U},$$

Конденсатордың электр сыйымдылығы фарадпен өлшенеді (Ф). Егер зарядтарының электрінің 1 Кл өсуі оның астарлары арасындағы кернеудің 1В (вольт) өсуіне әкеп соқса, онда конденсатордың электр сыйымдылығы 1 Ф-қа тең болады.

$$1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}},$$

Фарад — сыйымдылықтың өте үлкен бірлігі, ол көп қолданылмайды. Әдетте, сыйымдылықтың одан кіші бірліктерін қолданады— микрофарад (мкФ), нанофарад (нФ) и пикофарад (пФ):

$$1\text{ Ф} = 10^6\text{ мкФ} = 10^9\text{ нФ} = 10^{12}\text{ пФ}.$$

Тәжірибелік жолмен конденсатордың сыйымдылығы конденсатордың пластиналарының арасына орналасқан. Диэлектриктің электрлік өткізгіштігіне тура пропорционалды, сондай-ақ, пластиналардың ара қашықтығына байланысты. Пластиналары бір бірінен алшақ орналасқан конденсатордың сыйымдылығы аз. Пластиналарының аумағы үлкен конденсаторлар үлкен көлемді электрмен қуатталады. Жоғарыда аталғандардан жазық конденсаторлардың сыйымдылығының келесі формуласы туындайды:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{4\pi d},$$

мұндағы, ε_0 — вакуумның қатысты электрлік өткізгіштігі; ε_1 — диэлектриктің қатысты электрлік өткізгіштігі; S — конденсатордың бір пластинасының ауданы, м^2 ; d — пластиналардың арасындағы қашықтық, м.

Мысал 1.3. Конденсатордың екі пластинасы бар. Әр пластинаның ауданы 15 см^2 . Пластиналар арасында диэлектрик – ені $0,02\text{ см}$ парафинделген қағаз орналасқан. Конденсатордың сыйымдылығын анықтау керек.

Шешуі:

1.1 кестеде парафинделген қағаздың диэлектрлік өткізгіштігі $= 2,2$. Конденсатордың сыйымдылығы:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{4\pi d} = \frac{2,2 * 15 * 10^{-4}}{4 * 3,14 * 0,02 * 10^{-2}} = 1650\text{ пФ}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Конденсатордың электрлік сыйымдылығы дегеніміз не?
2. Конденсатордың электрлік сыйымдылығы қандай параметрлерге байланысты?
3. Материалдардың диэлектрлік қасиеттері конденсатордың электрлік сыйымдылығына қалай әсер етеді?

1.8.

КОНДЕНСАТОРЛАРДЫҢ ЖАЛҒАНУЫ

Тәжірибеде конденсаторлардың жалғануының үш түрі қолданылады: кезекті, параллельді, аралас. Конденсаторлардың электр схемасында жалғануы 1.6 суретте көрсетілген.

Конденсаторлардың тізбекті жалғануы. Конденсаторлардың тізбекті жалғануында (1.7 сурет) бірінші конденсатордың оң пластинасы екінші конденсатордың сол пластинасына, екінші конденсатордың оң пластинасы үшінші конденсатордың сол пластинасына және ары қарай жалғанады.

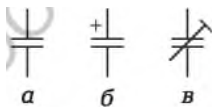
Бұндай жағдайда олардың эквивалентті сыйымдылығы азаяды. Диэлектриктің жалпы қалыңдығы үлкейгендіктен солай болады. Осыдан жалпы сыйымдылық кемиді. Тізбекті жалғану кезіндегі эквивалентті сыйымдылықты келесі формуламен анықтайды.

$$\frac{1}{C_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

Егер екі конденсатор тізбекті жалғанған болса, онда эквивалентті сыйымдылық келесі формуламен анықталады:

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Егер бірнеше конденсатор тізбекті жалғанған болса, онда эквивалентті сыйымдылық келесі формуламен анықталады:



а

б

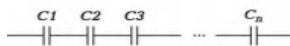
в

1.6. сурет Электрлік схемалардағы конденсаторлардың белгіленуі:

а — тұрақты сыйымдылықты конденсатор;

б — поляризацияланған конденсатор;

в — айнымалы сыйымдылықты орнатылған конденсатор



1.7.сурет. Конденсаторлардың тізбекті жалғануының схемасы

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{C}{n}$$

мұндағы, C — бір конденсатор сыйымдылығы, F ; n — тізбекті қосылған конденсаторлардың саны.

Жалпы кернеу тізбекті қосылған конденсаторлардың кернеуінің қосындысына тең:

$$U_{\text{жалпы}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$



Есте сақтаңыз

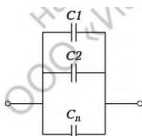
- Конденсаторлардың тізбекті жалғануы, тізбектегі кернеу бір конденсатордың жұмыс кернеуінен көп болған жағдайда қосылады.
- Тізбекті жалғану кезінде эквивалентті сыйымдылық жалғанған сыйымдылықтың ең азынан кем болады.

Мысалы, егер тізбектің кернеуі 600В тең болса, үш бірдей конденсатор және олардың жұмыс кернеуі 200 В болса, онда оларды тізбектей қосуға болады. Бұл жалпы сыйымдылықты есептемей, шамамен оның мөлшерін анықтауға мүмкіндік береді. Дербес жағдайда, егер сыйымдылықтары 0,1,3 жыне 10 мкФ үш конденсатор берілген болса, олардың жалпы сыйымдылықтары 0,1 мкФ кем болады деп айтуға болады. Формула (1.1) бойынша сыйымдылық 0,096мкФ тең.

Конденсаторлардың параллельді жалғануы. Параллельді жалғану схемасы 1.8. суретте көрсетілген.

Конденсаторлардың параллельді жалғануының эквивалентті сыйымдылығын келесі формуламен анықтайды:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$



1.8. сурет.

Конденсаторлардың параллельді жалғануының схемасы.

Яғни, конденсаторлардың параллельді жалғануының эквивалентті сыйымдылығы жалғанған барлық конденсаторлардың сыйымдылығының қосындысына тең. Бұл конденсаторлардың параллельді жалғануынан пластиналардың көлемі ұлғаяды, соның салдарынан конденсатордың сыйымдылығы артады.

Егер n бірдей конденсаторлар параллельді жалғанған болса, онда эквивалентті сыйымдылығын келесі формула бойынша есептейміз:

$$C_{\text{экв}} = nC.$$

Әр параллельді жалғанған конденсатордың кернеуі U_C тізбектің U кернеуіне тең.



Есте сақтаныз

- Параллельді жалғанған конденсаторларға кернеуді олардың әрқайсысының жұмыс кернеуінен аспайтындай етіп беру керек.

Конденсаторлардың аралас жалғануы. Бұндай жалғану параллельді және тізбекті жалғану жиынтықтарын құрайды (1.9 сурет). Оны параллельді және тізбекті жалғанулардың ұтымды жақтарын пайдалану керек кезде қолданады.

Мысал 1.4. Кернеуі 600 В болатын тізбекке 2 мкФ сыйымдылық қосу керек. Әр қайсысының сыйымдылығы 2мкФ төрт конденсатор бар. Олардың әрқайсысының кернеуі 300 В тең. Конденсаторларды тізбекке қалай қосу керек?

Шешуі:

Конденсаторлардың жұмыс кернеуі тізбек кернеуінен екі есеге кем. Сондықтан конденсаторларды тізбектей жалғау керек (1.9 суретті қараңыз). Сонда әр конденсатордың кернеуі 300 В, ал эквивалентті сыйымдылық $C = 1$ мкФ:

$$C_{\text{экв}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 * 2}{2 + 2} = 1 \text{ мкФ}$$

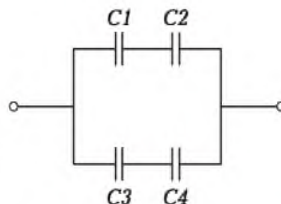
C_1 және C_2 параллельді жалғанған және оған тізбектей тағы екі C_3 және C_4 параллельді конденсаторлары жалғанған тізбек үшін керек 2 мкФ қуатты алу үшін, C_3 және C_4 конденсаторларының эквивалентті сыйымдылығын келесі формула бойынша есептейміз:

$$C_{\text{экв}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 * 2}{2 + 2} = 1 \text{ мкФ}$$

$C'_{\text{экв}}$ және $C''_{\text{экв}}$ сыйымдылықтары параллельді жалғанғандықтан, төрт конденсатордың эквивалентті сыйымдылықтары:

$$C_{\text{экв}} = C'_{\text{экв}} + C''_{\text{экв}} = 2 \text{ мкФ}.$$

Сәйкесінше, әр конденсатордың сыйымдылықтары 300 В болады.



1.9 сурет. Аралас жалғанған конденсаторлардың схемасы



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электрлік сыйымдылықтың өлшем бірліктері және оның қатынастары қандай?
2. Диэлектрик конденсатордың сыйымдылығына қалай әсер етеді?
3. Қандай жалғану түрінде жалпы сыйымдылық азаяды?
4. Қандай жағдайда конденсаторлардың параллелді жалғануы жүзеге асады?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Әр пластинасының ауданы 50 см^2 , пластиналарының қашықтығы — 5 мм болатын жалпақ шыны конденсатордың сыйымдылығын табыңыз. Шынының қатыстық диэлектрлік өткізгіштігі — 5.
2. Сыйымдылығы 600 пФ болу үшін, параллельді түрде сыйымдылығы 150 пФ болатын неше конденсаторды жалғау керек.
3. Сыйымдылығы 1 мкФ болатын бес конденсатор тізбекке кернеуі $U = 1\,500 \text{ В}$ тізбектей қосылған. Жалпы сыйымдылық пен әрқайсысындағы кернеуді табыңыз.

ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

К

Бұл бөлімді оқу нәтижесінде Сіз мына мәселелерді білетін боласыз:

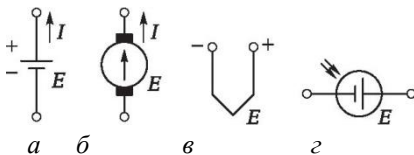
- электр тізбектерінің қарапайым схемаларын құра алу;
- электр тізбектерін есептеу үшін Ом заңын қолдана алу;
- электр тізбектерін параллельді, тізбекті және аралас жалғау элементтерін қолдану арқылы түрлендіре алу;
- электр тізбектерін есептеу үшін Кирхгоф теңдеуін қолдана алу;
- *Сонымен қатар:*
- толық тізбек және оның бөліктері үшін Ом заңын;
- электр тізбектеріне амперметр мен вольтметр қосу схемасын;
- Кирхгофтың бірінші және екінші заңын білетін болсыз.

2.1. ТҰРАҚТЫ ТОКТЫҢ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ КӨЗДЕРІ МЕН ҚАБЫЛДАҒЫШТАРЫ

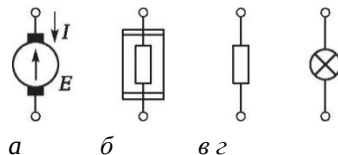


Электр тізбегі— электр тогы үшін тұйықталған жол жасайтын, құрылғылар жиыны. Электр тізбегі электр энергиясы көзінен, сым арқылы жалғанған қабылдауыштардан, көмекші және өлшеу құралдарынан тұрады.

Электр энергиясының көздері болып аккумуляторлар, термоэлектрикалық элементтер, электр генераторлары, фотоэлектрикалық элементтер және т.б. жатады. Түрлі энергияны (химиялық реакциялар энергиясы, жылулық, механикалық, жарық және т.б.) электр энергиясына түрлендіруші құралдар болып табылады (2.1 сурет).



2.1.сурет Тұрақты ток көздерінің электр схемаларындағы шартты белгіленуі: *a* — гальваникалық элемент; *б* — тұрақты ток генераторы; *в* — терможұп; *г* — фотоэлемент

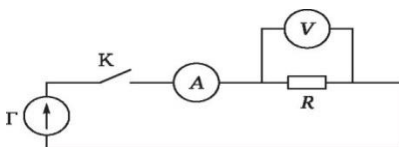


2.2. сурет. Электр энергиясын қабылдағыштарының электр схемаларындағы шартты белгіленуі: *a* — тұрақты ток қозғалтқыштары; *б* — электр пеш; *в* — резистор; *г* — қыздыру шамы

Электр энергиясын қабылдағыштар электро шамдар, электропештер, және энергиясы басқа түрлі энергияларға (жылулық, механикалық, жарық және т.б.) түрленетін құралдар. Кейбір электр энергиясын қабылдағыштардың шартты белгілері 2.2 суретте келтірілген.

Жалғаушы элементтер ретінде жалғаушы сымдар, электр тасымалдаудың ауалық түзулері, электрлік кабельдер қолданылады. *Қосымша құралдар* электр желілерін басқару режимі мен оларды қорғауға арналған. Оларға: қосқыштар, ауыстырып қосқыштар, штепсельді жалғағыштар, сақтандырғыштар және т.б жатады.

Өлшеу құралдары ретінде электр тізбектеріндегі тоқты, кернеуді және қуатты өлшеуге арналған құралдар, амперметр, вольтметр, ваттметр қолданылады. Тұрақты токтың қарапайым электр тізбегі 2.3 суретте көрсетілген.



2.3.сурет. Тұрақты ток электр тізбегінің схемасы:

Г — тұрақты ток генераторы; R — қабылдауыш (резистор); А — амперметр; V — вольтметр; К — ажыратқыш



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Электр тізбегі дегеніміз не?
- 2.Электр тізбегі қандай элементтерден тұрады?
- 3.Қосымша құралдардың қажеті не?

Кез келген өткізгіште электр зарядының бағытталған қозғалысына осы өткізгіштің атомдары мен молекулалары кедергі келтіреді. Сондықтан да электр тізбегінің сыртқы бөлігі де, ішкі бөлігі де (энергия көзінің ішінде) токтың өтуіне кедергі жасайды.



Электр тізбегінен электр тогының өту кедергісін сипаттайтын өлшем, **электрлік кедергі** деп аталады

Электрлік кедергі R әрпімен белгіленеді де, электр схемаларында 2.4 суреттегідей кескінделеді.

Кедергінің өлшем бірлігі Ом болып табылады. Потенциалдарының түрлілігі өзгермейтін 1 В, ток күші 1 А түзу өткізгіштің электрлік кедергісі 1 Ом:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1\text{В}}{1\text{А}}$$

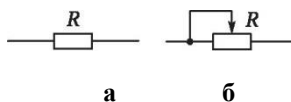
Үлкен кедергілерді өлшеген кезде 1 Ом-нан үлкен 1 000 (килоом) және 1 млн рет (мегаом) қолданылады:

$$\begin{aligned} 1 \text{ кОм} &= 1\,000 \text{ Ом}; \\ 1 \text{ МОм} &= 1\,000\,000 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Өткізгіш материалдың электрлік қасиетін салыстырмалы бағалау үшін меншікті кедергі қызмет етеді.



Салыстырмалы кедергі — бұл ұзындығы 1 м және көлденең қиылысты ауданы 1 мм^2 болатын металл өткізгіштің кедергісі; ρ әрпімен белгіленеді және $\text{Ом} \cdot \text{м}$ немесе $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ өлшенеді.



2.4. сурет. Резисторлардың шартты графикалық кескіні:
 a — тұрақты кедергімен;
 b — реттелетін кедергімен.

Егер салыстырмалы кедергісі ρ , ұзындығы l м, көлденең қиылысты ауданы S , m^2 , болатын салыстырмалы материалдан жасалған өткізгіш болса, онда бұл өткізгіштің R кедергісі, Ом келесі формуламен анықталады:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Өткізгіштің кедергісі температураға қатысты болады. Температурасы жоғары металл өткізгіштердің кедергісі жоғарылайды. Бұл тәуелділік өте күрделі, алайда температураның шекті ($200^\circ C$ дейін) аралығында әр металл үшін кедергінің анықталған, а температуралық коэффициенті бар, ол *AR өткізгішінің температура бастапқы кедергіге қарағанда, 1 Ом-ға қатысты $1^\circ C$ өзгергенде кедергі өсуін өрнектейді.* Сөйтіп кедергінің температуралық коэффициенті

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_2(T_2 - T_1)},$$

Өткізгіш материалының салыстырмалы кедергісіне тең өлшем салыстырмалы өткізгіштік деп аталады да, γ әрпімен белгіленеді. Сөйтіп, материалдың салыстырмалы кедергісі мен салыстырмалы өткізгіштігі арасында келесі қатынас болады:

Ал, кедергінің өсуі

$$\Delta R = R_1 - R_2 = \alpha R_2(T_2 - T_1)$$

Мұндағы, R_1 — T_1 температурадағы өткізгіш кедергісі; R_2 — сол өткізгіштің T_2 температурадағы кедергісі.

$$g = \frac{1}{p}$$

Түрлі өткізгіштердің салыстырмалы кедергісі 2.1 кестеде көрсетілген.

Өткізгіштің электр тогын өткізе алу қасиеті *өткізгіштігімен* сипатталып, кедергіге қарсы өлшеммен сипатталып және g әрпімен белгіленеді. Өткізгіштіктің ХБЖ өлшем бірлігі 1/Ом (сименс) болып табылады. Сөйтіп,

$$g = \frac{1}{R}$$

Мысал 2.1. Қимасы $0,5 \text{ мм}^2$ тең, ұзындығы 40 м сымның кедергісі 18 Ом. Өткізгіштің материалын анықтаңыз.

2.1. кесте. Өр түрлі өткізгіштердің салыстырмалы кедергілері

Өткізгіштер материалы	Салыстырмалы кедергі ρ, Ом·мм ^{1/2} /м
Күміс	0,016
Мыс	0,0175
Алюминий	0,03
Вольфрам	0,05
Темір	0,13
Қорғасын	0,2
Никелин (мыс, никель, цинк қорытпасы)	0,42
Манганин (мыс, никель және марганц	0,43
Сынап	0,94
Нихром (никель, темір және марганц	1,1

Шешуі:

Өткізгіш материалы оның салыстырмалы электрлік кедергісі арқылы сипатталады:

$$p = \frac{RS}{l} = \frac{16 * 0.5}{40} = 0.2 \text{ Ом} * \text{мм}^2/\text{м}$$

2.1 кестеден бұндай салыстырмалы кедергі қорғасынға тән екенін көреміз.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Металл өткізгіштің кедергісі қандай параметрлерге қатысты?
- 2.Электрлік өткізгіш ХБЖ –де қандай бірлікте сипатталады?
- 3.Кабель ұзындығының оның тармақтарының кедергілері және окшаулау кедергісіне қатысы қандай?
- 4.Температура өскенде металл өткізгіштің кедергісі қалай өзгереді?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Ұзындығы 200 м, қимасының ауданы 5 мм² тең, болат өткізгіштің кедергісін табыңдар.
2. Кедергілері 5 Ом, 1кОм, 120 кОм және 2 МОм болатын өткізгіштің өткізгіштігін табыңдар.
3. Ұзындығы 200м болатын мыс өткізгіштің қимасының ауданын табыңыз, оның кедергісі 26 Ом

2.3. ОМ ЗАҢЫ

Неміс физігі Георг Ом (1787 — 1854) тұйықталған электр тізбегіндегі электроқозғалтқыш күш (ЭҚК) E , кедергі R және ток I арасындағы тәуелділікті тәжірибелік түрде орнатты.



Ом заңы келесі түрде құрылады: тұйықталған электр тізбегіндегі ток күші электроқозғалтқыш күшке тура пропорционалды, барлық тізбек кедергісіне кері пропорционалды.

Тізбекте ток ЭҚК E әсерінен туындайды. Электр көзінің ЭҚК E көп болған сайын, тұйықталған токта ток I көп болады. Тізбек кедергісі R токтың өтуіне кедергі болады, сәйкесінше тізбектің R кедергісі көп болған сайын, ток I аз болады.

Ом заңын келесі формула бойынша өрнектейміз:

$$I = \frac{E}{R + R_1}$$

$$E = I(R + R_i),$$

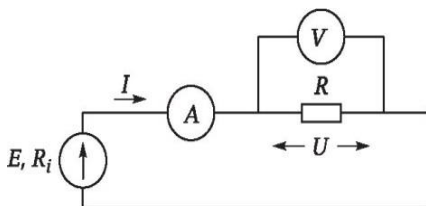
Немесе:

мұндағы R — тізбектің сыртқы бөлігінің кедергісі; R_i — көздің ішкі кедергісі.

Бұл формулаларда ток ампермен (А), ЭҚК – вольтпен (В), кедергі - оммен (Ом) өрнектелген.

Барлық тізбек кедергісі (2.5 суретті қараңыз)

$$R + R_i = \frac{E}{I}.$$



2.5 сурет. Ом заңы бойынша электр тізбегі

Тұйықталған тізбек үшін Ом заңынан алатынымыз:

$$E = IR + IR_i = U + IR_i, \quad (2.2)$$

Мұндағы, IR — R кедергідегі кернеудің түсуі, яғни, сыртқы тізбекте немесе энергия көзі (генератор) қыстырғышында; IR_i — R_i кедергідегі кернеудің төмендеуі, яғни электр көзі (генератор) ішіндегі болып табылады.



Есте сақтаныз

Ом заңы барлық тізбек үшін ғана емес, оның барлық бөліктері үшін де тура электр тізбегі бөлігіндегі ток күші осы бөліктегі қысқыштарының кернеуін оның кедергісіне бөлгенге тең.

$$I = \frac{U}{R}$$

Тізбек бөлігіндегі кернеу ток күші менің осы бөліктегі кедергісінің туындысына тең, яғни $U = IR$.

Электр тізбегіндегі ток күшін өлшеу үшін *амперметр* құралын, кернеуді өлшеу үшін – *вольтметрді* қолданады.

Ток тізбегіне амперметрді қосу үшін, ток үзіліп, сол жерлерге қысқыш арқылы амперметр қосылады (2.5 сурет). Сөйтіп, бүкіл өлшенетін ток құрал арқылы өтеді. Вольтметр тізбектің басына және соңына қосылады. Вольтметрдің бұндай қосылуы *параллельді* деп аталады (2.5 суретті қараңыз). Вольтметр сол бөліктегі кернеудің түсуін көрсетеді. Егер вольтметрді сыртқы тізбектің басына – энергия көзінің оң полюсіне қоссақ және сыртқы тізбектің соңына - энергия көзінің сол полюсіне қоссақ, ол бүкіл сыртқы тізбектегі кернеудің түсуін көрсетеді. Бұл энергия көзі қысқышындағы кернеу болып табылады.

Формуладан (2.2) энергия көзі қысқышындағы кернеу (генератордағы)

$$U = E - IR.$$

Бос жүріс кезінде сыртқы тізбек тұйықталмаған және тізбекте ток жоқ, соның нәтижесінде, $U = E$. Тұйықталған тізбекте кернеу ЭҚК тең емес және тізбектегі ток көп болған сайын, кернеу ЭҚК алшақтай береді.

Егер электр энергиясының қысқыштарын кедергісі нөлге тең өткізгіштерге қоссақ формула (2.1) келесідей түрге енеді:

$$I = \frac{E}{R_i}$$

Бұл өрнек аталған ток көзі тізбегінен алынатын, ең көп токты анықтайды. Сыртқы электрлік тізбетің кедергісі нөлге тең болса, онда ондай режим *қысқа тұйықталған* деп аталады.



Есте сақтаңыз

Қысқа тұйықталу тізбекті апаттық режимге алып келуі мүмкін.

Ішкі кедергісі аз көздер үшін, мысалы, электр генераторлары және қышқылдық аккумуляторлар үшін, қысқа тұйықталуы өте қауіпті.

Қысқа тұйықталу жиі орын алады. Мысалы, қабылдағыш пен электр энергиясын қосатын сымдардың окшаулануы бұзылған жағдайда орын алады. Электротехникалық құралдарды қысқа тұйықталулардан қорғау үшін автоматты сақтандырғыш құралдарды қолданады.

Мысал 2.2. Гальваникалық элементтің ішкі кедергісі $R_i = 0,3$ Ом және тұйықталған кедергісі $R = 2,7$ Ом болатын электроқозғалтқыш күші E . Тізбектегі ток күшін анықтау керек.

Шешуі:

Ом заңы бойынша ток күші:

$$I = \frac{E}{R + R_i} = \frac{1.5}{2.7 + 0.3} = 0.5 \text{ A}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Ом заңын электр тізбегінің қандай аралық мөлшеріне байланысты орнатады?
2. Кернеуді екі есе арттырсақ, тізбектегі ток қалай өзгереді?
3. Тізбек бөлігінен өтетін ток күші мен кернеуді біле отырып, осы бөліктегі кедергіні қалай анықтауға болады?
4. Қысқа тұйықталу режимінің қаупі қандай?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1.Электрлік шам желіге 220В кернеумен қосылған. Шам арқылы өтетін токты есептеңіз, оның жібінің кедергісі 240 Ом.

2.Желіге 220В кернеумен қосылған электрлік дәнекерлегіш, 0,3 А ток жұмсайды, электрлік дәнекерлегіштің кедергісін табыңыз.

3.ЭҚК 2,5 В және ішкі кедергісі 0,1 Ом, қышқылдық аккумуляторға кедергісі 12 Ом тұтынушы қосылған. Тізбектегі токты есептеңіз.

2.4. РЕЗИСТОРЛАРДЫҢ ТІЗБЕКТІ, ПАРАЛЛЕЛЬДІ ЖӘНЕ АРАЛАС ЖАЛҒАНУЫ

Резисторлардың тізбекті жалғануы. Электр тізбегі кедергілері әртүрлі бірнеше электрлік энергия қабылдағыштардан тұрады. Электр тізбектерін есептеген жағдайда «эквивалентті кедергі» $R_{\text{экв}}$ ұғымын қолданады.

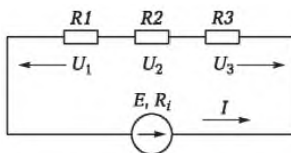
→ **Эквивалентті** (немесе жалпы) - кедергілердің осы тобының орнына қосқан кезде қалған тізбектің электр жағдайлары өзгеріссіз қалатын кедергісі аталады.

Айталық, мысалы, генератордың сыртқы тізбесі (2.6.-сурет) кедергілері R_1 , R_2 , R_3 болатын үш электрлік энергия қабылдағышынан тұрады. Әр қайсысы бір тұйық электр тізбегіне кезек-кезек қосылған электрлік энергиясы қабылдағыштың осындай жалғануы **тізбекті** деп аталады. Бұл ретте барлық қабылдағыштардағы ток бірдей, ал сыртқы тізбектің кедергісі қабылдағыштардың кедергілер жиынтығына тең.

Осы жағдай үшін Ом заңының формуласы келесідей:

$$I = \frac{E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3}.$$

Үш тізбектей жалғанған өткізгіштер үшін тізбектің жалпы кедергісі құрайды:



2.6.-сурет. Резисторлардың тізбекті жалғануы

Ал сыртқы тізбектің кедергісі:

$$R_{\text{вн}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Энергия көзінің қысқыштарындағы кернеу сыртқы тізбесіне келтірілген кернеуге тең:

$$U = E - IR_i = I(R_1 + R_2 + R_3).$$

Энергияның тізбекті жалғанған қабылдағыштарының әр қысқышындағы кернеу токтың осы қабылдағыштың кедергісінің көбейтіндісіне тең:

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3$$

тізбек учаскесінің жалпы кернеуі: $U = U_1 + U_2 + U_3$

Сонымен, тізбекті жалғанған қабылдағыштарындағы кернеулер қосындысы энергия көзінің қысқыштарындағы кернеуге тең.

Кернеу өзгеріссіз болған жағдайда ток тізбектің кедергісіне байланысты. Тізбекті қосылған қабылдағыштардың бірінің кедергісінің өзгеруі бүкіл тізбектің жалпы кедергісінің өзгеруіне, сондай-ақ, оның ішіндегі токқа да ықпалы бар.

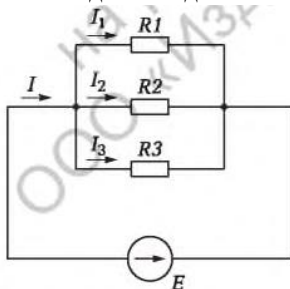


Есте сақтаныз

Қосымша резисторлардың тізбекті қосылуы іс жүзінде кернеуді (іске қосу және реттеу реостаттары) төмендету, сонымен қатар, өлшеуіш аспаптарының (мысалы, вольтметрлер) өлшеу шектерін кеңейту үшін пайдаланылады.

Резисторлардың параллель жалғануы.

Бір кернеудің әсеріндегі электр тізбегінің элементтерін **параллель жалғанған** деп атайды.



2.7.-сурет. Резисторлардың параллель жалғануы.

Резисторлар параллель жалғанғанда (2.7.-сурет) ток үш тармаққа тармақталады. Осылайша, жалпы кедергіні азайтып, немесе тізбектің жалпы өткізгіштігін g көбейтеді:

$$g_{\text{экв}} = g_1 + g_2 + g_3.$$

$$g = \frac{1}{R}.$$

Мұнда:

өткізгіштік кедергіге кері шама болғандықтан, жалпы кедергі келесідей түрде жазылуы мүмкін:

$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Анықталған ара-қатынас параллель жалғанған резисторларының кез келген санына әділ болады.

Жеке жағдайда, егер электр тізбегінде R_1 және R_2 екі параллельді жалғанған резисторлары болатын болса, онда жалпы кедергісі үшін келесідей өрнекті жазуға болады:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Егер R бірдей резисторлардың қандай да болмасын n саны параллель жалғанған болса, онда осындай тізбектің жалпы кедергісі бір резистордың кедергісінен n рет аз болады.

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R}{n}.$$

2.7.-суретінің схемасы үшін келесі ара-қатынастары да дұрыс болады:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = U_i$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}; \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}$$

және т.б.

Бұл ара-қатынастары резисторлары параллель қосылған тізбектеріндегі токтар осы кедергілерге кері пропорционал немесе осы өткізгіштердің өткізу қабілеттеріне тура пропорционал үлестірілетінін көрсетеді.

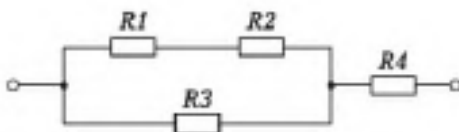
Осымен, параллель қосылған резистордың мәні неғұрлым көп болса, соғұрлым ішіндегі ток аз және керісінше болады.



Есте сақтаңыз

Іс жүзінде электр тізбегінің учаскесінде резистордың параллель қосылуы осы учаскедегі тоқты азайту үшін пайдаланылады. Соның

ішінде, шунт деп аталатын параллель қосылатын резистор амперметрмен токтарды өлшеу шектерін кеңейту үшін қолданылады. Шунт болған жағдайда құралға қарай өлшенетін токтың бөлігі тармақталады.



2.8.-сурет. Резисторлардың аралас жалғануы

Резисторлардың аралас жалғануы. Егер электр тізбегінде өзара параллель жалғанған резисторлар басқа резисторлармен ретті қосылған болса, онда мұндай жалғану **аралас** деп аталады. (2.8.-сурет).

Резисторлар аралас жалғанғанда электр тізбегінің жалпы немесе эквивалентті $R_{эқв}$ кедергісін анықтауды кезең-кезең жүзеге асырады. Мысалы, 2.8.-суретінің схемасы үшін ең алдымен R_1 және R_2 резисторлары тізбекті қосылған R_{12} кедергісін анықтайды, содан соң параллель жалғанған R_{12} және R_3 эквивалентті R_{123} кедергісін, әрі қарай – бүкіл тізбектің эквивалентті $R_{эқв}$ кедергісін анықтайды.

$$R_{12} = R_1 + R_2;$$

$$R_{123} = \frac{R_{12}R_3}{R_{12} + R_3};$$

$$R_{эқв} = R_{123} + R_4.$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

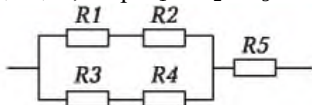
1. Электр тізбегі қабылдағыштарының қандай жалғануы параллель болады?
2. Тізбекті жалғанған қабылдағыштардың кернеулер сомасы нешеге тең?

3. Резисторлардың қандай жалғануы аралас болады?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Суретте келтірілген электр тізбегінің эквивалентті кедергісін анықтаңыз, егер $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10 \text{ Ом}$



2. Әр қайсысының кедергісі 10 Ом сегіз өткізгіш төрт бірдей параллель топтарына біріктірілген. Тізбектің эквивалентті кедергісін табыңыз және электр схемасын сызыңыз.

3. Кедергілері 3,8 және 6 Ом болатын параллель қосылған үш резисторлардың тармақталуы ретті түрде кедергілері 5 Ом болатын төрт резистордан тұратын тармақталумен ретті қосылған. Тізбектің эквивалентті кедергісін табыңыз және электр схемасын сызыңыз.

4. Кедергі 8 Ом құрайтын қабылдағышқа параллельді етіп тізбектің жалпы кедергісі 1,6 Ом болатындай қандай кедергі қосу керек екендігін есептеңіз.

2.5. КИРХГОФ ЗАҢЫ

Күрделі электр тізбектерді есептеу және олардың электр жағдайын анықтау үшін Густав Кирхгоф 1845ж. тұжырымдалған, сондай-ақ, кейбір дереккөздерде Кирхгоф ережелері деп аталатын Кирхгоф заңдары қолданылады.

Күрделі электр тізбектері үшін «тармақ», «түйін» және «контур» ұғымдары қолданылады.



Электр тізбегінің тармағы – бойымен бір ток өтетін тізбекті жалғанған элементтерден (резисторлар, ЭҚК және т.б.) тұратын тізбектің учаскесі.

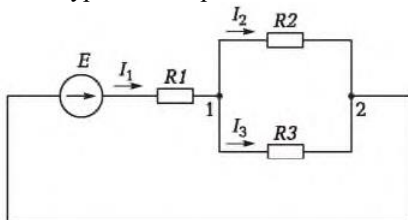


Электр тізбегінің түйіні – үш және одан көп тармақтар бірігетін жер.



Электр тізбегінің контуры – бірнеше тармақтар бойымен жылжып, айналып өтуге болатын кез келген тұйық жол.

Үш тармақтан, екі түйіннен және үш контурдан тұратын электр тізбегі 2.9.-суретінде көрсетілген.



2.9.-сурет. Электр тізбегі.

Кирхгофтың бірінші заңы (токтарға арналған заң) электр тізбегінің түйіндеріне жатады және келесідей тұжырымдалады.

Электр тізбегінің түйініндегі токтардың алгебралық қосындысы кез келген мезгілде нольге тең:

$$\sum I_k = 0.$$

Бұл ретте, түйінге бағытталған токтарды «+» таңбасымен, ал түйіннен бағытталған токтарды – «-» таңбасымен қабылданады.

2.9.-суретінің (1-түйін) схемасы үшін Кирхгофтың бірінші заңының теңдеуін жазамыз:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

Энергияның бірнеше көздері бар күрделі электр тізбектерін есептеу үшін келесідей тұжырымдалатын **Кирхгофтың екінші заңын** пайдаланады.

Тұйық электр контурдағы тізбектің учаскелеріндегі кернеудің төмендеу алгебралық қосындысы осы контурда әрекет ететін ЭҚК алгебралық қосындысына тең:

$$\sum U_k = \sum E_k \quad \text{немесе} \quad \sum I_k R_k = \sum E_k.$$

Теңдеулерді құрастырған кезде қосылғыштарды «+» таңбасымен алады, егер учаскеде әрекет ететін кернеу және ЭҚК айналманың бағытымен дәлме-дәл келетін болса, және «-» таңбасымен, егер олардың әрекеттері айналманың бағытына қарсы болатын болса.

2.9.-суретінің схемасы үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша үш контурларына теңдеулер жазамыз:

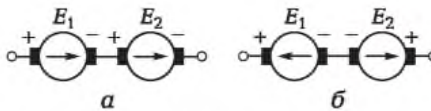
$$E = I_1 R_1 + I_2 R_2;$$

$$E = I_1 R_1 + I_3 R_3;$$

$$0 = I_2 R_2 + I_3 R_3.$$

ЭҚК бағытына сәйкес келетін электр энергия көздерін электр тізбегіне қосқан кезде (2.10, а-сурет), ЭҚК тізбек бойына осы көздердің ЭҚК қосындысына тең (келісімді қосылу):

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = \sum E_k.$$



2.10.-сурет. Қоректендіру көздерін қосу:

а – келісімді, б – қарсы

Егер тізбектегі көздердің ЭҚК бағыттары қарама-қайшы болатын болса, онда нәтижелік ЭҚК осы көздердің ЭҚК тең болады (қарсы қосылу):

$$E = E_1 - E_2 - E_3 - \dots$$

Тендеулерді құрастырған кезде тізбектің айналмасының бағытын таңдау қажет және токтардың бағыттары еркін беріледі.

Бірнеше ЭҚК бар күрделі электр тізбегін есептеуді Кирхгофтың 1-ші және 2-ші заңдарының тендеулері арқылы келесі тәртіпте жүзеге асырылады.

1. Тізбектің әртүрлі учаскелерінде токтың шартты бағыттарын береді.

2. Есепті шешуге қажет тендеулердің санын анықтайды. Егер барлық ЭҚК және тізбектің кедергілері белгілі болса, тендеулер саны белгісіз токтар санына тең болуы тиіс.

3. Тендеулерді Кирхгофтың 1-ші заңының тендеулерімен құрастырады. Кирхгофтың 1-ші заңы бойынша тендеулер саны электр схемасының түйіндер санынан бір бірлікке аз болады. Қалған тендеулері Кирхгофтың 2-ші заңы бойынша құрастырылады.

4. Тәуелсіз контурларды, аталмыш контурлардың айналма бағыттарын белгілейді және Кирхгофтың 2-ші заңы бойынша тендеулер құрастыруға кіріседі. Егер айналманың бағыттары ЭҚК

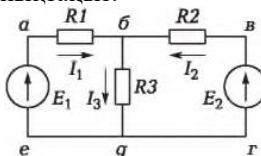
бағыттарымен немесе контурдың жекелеген учаскелердегі токтардың бағыттарына сәйкес келмейтін болса, онда ЭҚК шамалары және кернеудің төмендеуін теңдеуде «-» таңбасымен жазылады.

5. Алынған теңдеулер жүйесін шешеді. Егер теңдеулерді шешу барысында токтардың қайсы бірі теріс болып шыққан болса, онда бұл токтардың бағыттары дұрыс таңдалмағанды білдіреді. Схемадағы токтардың бағыттарын өзгерту қажет.

6. Токтардың алынған мәндерін құрастырылған теңдеулердің біріне алмастырып қою жолымен шешілген теңдеудің шешімінің дұрыстылығын тексереді.

2.3.-мысал. Суретте сызылған электр тізбегінің келесідей шамалары бар, яғни:

$E_1 = 6\text{В}$, $E_2 = 2\text{В}$, $R_1 = 2\text{Ом}$, $R_2 = 4\text{Ом}$, $R_3 = 5\text{Ом}$. Схеманың барлық тармақтарындағы тоқты анықтаңыз.



Шешімі:

Тізбектің тармақтарындағы токтардың бағыттарын еркін таңдаймыз. б түйіні үшін Кирхгофтың 1-ші заңының теңдеуін жазамыз: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$.

а-б-г-е – контуры және а-в-г-е – контуры үшін Кирхгофтың 2-ші заңының теңдеуін құрастырамыз: $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$; $E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$

Сонымен, үш белгісізі бар үш тәуелсіз теңдеу бар. Аталмыш теңдеулеріне сандық мәндерін қоямыз:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$6 = I_1 \times 2 + I_3 \times 5$$

$$6 - 2 = I_1 \times 2 - I_2 \times 4$$

$$I_1 = 1,1578 \text{ А}$$

$$I_2 = -0,4211 \text{ А}$$

$$I_3 = -0,7368 \text{ А}$$

«-» таңбасы I_2 токтың шынайы бағыты қабылданған бағытына кері екендігін білдіреді.

Токтың алынған мәндерін Кирхгофтың 1-заңының теңдеуіне қойып, тексереміз.

$$1,578 - 0,4211 - 0.73688 = 0$$



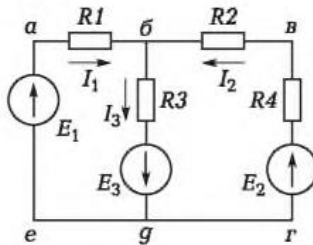
БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электр тізбегінің түйіні, тармағы және контуры дегеніміз не?
2. Кирхгофтың 1-ші және 2-ші заңдарының мәні қандай? Оларды тұжырымдаңыз.
3. Теңдеулерді құрастырғанда электр тізбегінің айналмасының бағытын қалай таңдау қажет?
4. Электр тізбегіне электр энергиясының көздерінің қандай қосылуларын келісімді деп атайды? Қайсысын – қарсы деп атайды?

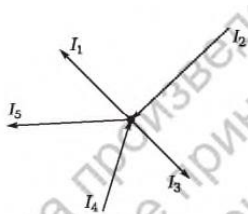


ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. суретте бейнеленген электр тізбегінің қанша түйіндер, тармақтар және контурлар бар екендігін анықтаңыз:



2. суретте бейнеленген түйіні үшін Кирхгофтың 1-ші заңы бойынша теңдеу жазыңыз.



3. 1-тапсырманың суретінде бейнеленген а-б-д-е және б-в-г-д контурлары үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеулер жазыңыз.
4. Желінің кернеуі 16В құрайды, төрт параллель қосылған бірдей шамдар тұтынатын жалпы ток – 2А. Әр шамның кедергісін анықтаңыз.

2.6. ЭЛЕКТР ТОГЫНЫҢ ЖҰМЫСЫ МЕН ҚУАТЫ.

Дененің жұмыс жасау қабілеті осы дененің энергиясы деп аталады. Энергия жоғалмайды, ол бір түрінен басқа түріне айналады.

Электрлік энергия механикалық, жылулық, химиялық және т.б. түрлеріне айналуы мүмкін. Дене өзінің қозғалысы барысында қаншалықты көп жұмыс жасаса, соғұрлым дененің энергиясы көп болмақ.

Тұйық тізбегіндегі зарядтардың ауысуы үшін электрлік энергиясының көзі белгілі энергиясын жойып, жұмыс жасайды, Дж:

$$A = Eq,$$

мұнда E – электр энергиясы көзінің ЭҚК, В;

q – электр саны, Кл.

Алайда, энергия көзі өндірген жұмыстардың барлығы дерлік емес энергия қабылдағышына беріледі, себебі, оның бір бөлігі көздің және сымдардың ішкі кедергісін еңсеруге жұмсалады. Сонымен, электрлік энергиясының көзі пайдалы жұмыс жасайды: $A = Uq$, мұнда U – қабылдағыштың қысқыштарындағы кернеу, В.

Ток өзгеріссіз болғанда электр саны тізбектегі ток күші және өту уақытының көбейтіндісіне тең.

$$q = It.$$

Олай болса, жұмыстың формуласы келесідей болады:

$$A = UI t.$$

Электр тогының жұмысы кернеудің, тізбектегі ток күшінің және оның өту уақытының көбейтіндісіне тең.

Ом заңына сәйкес $U = IR$, сондықтан жұмыстың формуласын келесідей жазуға болады, яғни:

$$A = I^2 R t.$$

Алайда, келтірілген формулалардың бірде біреуі осы жұмысы алынған электрлік энергиясының генераторының мөлшерлерін анықтамайды, себебі, үлкен және шағын генераторлары бірдей жұмысты жасай алады, бірақ әртүрлі уақыт аралықтарында. Сондықтан, генератордың мөлшерлері орындалған жұмыспен емес, оның қуатымен анықталады. Бұл кез келген электр техникалық аппаратына және кез келген машинасына қатысты (электр қозғалтқыштары, электр шамдары, қыздыру құралдары және т.б.).

Қуат дегеніміз 1 с орындалатын (тұтынылатын) жұмыс.

Қуатты келесідей формуласымен өрнектеуге болады:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Uq}{t} = UI = I^2 R.$$

Қуаттың өлшем бірлігі ватт (Вт): $1 \text{ Вт} = 1\,000 \text{ мВт} = 1\,000\,000 \text{ мкВт}$.

Үлкен қуаттарды өлшеу үшін мега- және киловаттарды қолданады.
 $1 \text{ МВт} = 1000 \text{ кВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}$.

Ватт-секунд (джоуль) шағын бірлік болғандықтан жұмыс едәуір ірі бірлікте өрнектеледі: ватт-сағат (Вт.сағ), киловатт-сағат (кВт.сағ).
 Аталмыш бірліктердің және джоульдің ара-қатынасы келесідей:

$$1 \text{ Вт.сағ} = 3600 \text{ Дж}; 1 \text{ кВт.сағ} = 3600000 \text{ Дж}.$$

Генератордың қысқыштарындағы кернеу U болғандағы сыртқы тізбектің қуаты:

$$P = UI$$

Электр тогының қуатын өлшеу үшін ваттметр құралы қолданылады.



Есте сақтаңыз

Энергия көзі қабылдағышқа ең көп қуатын беретін сыртқы тізбектің R кедергісі көздің ішкі кедергісіне тең: $R = R_i$.

Алайда, генератордың ішкі кедергісі сыртқы тізбектің кедергісіне тең болған жағдайда генератордың пайдалы қуаты жеткіліксіз және мұндай жағдайдағы оның жұмысы үнемсіз, себебі генератор дамытатын бүкіл қуаттың жартысы оның ішкі кедергісін еңсеруге жұмсалады.

2.4.-мысал. Энергия көзі ЭҚК қоса $E = 120 \text{ В}$ және ішкі кедергісімен $R_1 = 10 \text{ Ом}$ кедергісі тізбекті түрде келесідей мәндерін қабылдайтын: $R = 50, 20, 10, 5 \text{ Ом}$ жүктемесінде тұйықталады.

Жүктеменің әртүрлі кедергілерінде энергия көзі сыртқы тізбекке берілетін қуатты анықтау.

Шешімі:

Тұйық тізбегіндегі токтың күші:

$$I = \frac{E}{R_i + R}.$$

Сыртқы тізбектегі қуат:

$$P = I^2 R$$

$R = 50 \text{ Ом}$ болғанда:

$$= 120 / 50 + 10 = 2 \text{ А}; P = 4 \times 50 = 200 \text{ Вт}$$

$R=20 \text{ Ом}$ болғанда: $I_2= 120/20+10=4\text{A}$; $P=16 \times 20 = 320\text{Вт}$

$R=10 \text{ Ом}$ болғанда: $I_3= 120/10+10=6\text{A}$; $P=36 \times 10 = 360\text{Вт}$

$R=5 \text{ Ом}$ болғанда: $I_4= 120/5+10=8\text{A}$; $P=64 \times 5 = 320\text{Вт}$

Келтірілген есептен көрініп тұрғандай, энергия көзінің ішкі кедергісіне тең жүктеме кедергісінде сыртқы тізбектегі ең көп қуаты 360Вт болады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электр тогының жұмысы туралы қандай әрекеттерінен білуге болады?
2. Электр тогының жұмысы қандай өлшем бірліктерінде өлшенеді?
3. Электр қуаты дегеніміз не және ол қандай бірлік өлшемдерімен өлшенеді?
4. Электр энергиясының қандай жағдайларында қабылдағышқа ең көп қуат береді?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Электр қозғалтқышының қуаты 3 кВт. Осы қозғалтқыштың орамындағы токты анықтаңыз, егер желінің кернеуі 380 В құрайтын болса қандай болады?
2. Кернеуі 220 В желісіне қосылған электрқозғалтқышы 6 А құрайтын токты тұтынады. Қозғалтқыштың қуатын және ол 6 сағат жұмыстың ішінде тұтынатын энергия мөлшерін есептеңіз.

2.7. ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІ

Электрлік энергия көзі механикалық, химиялық, жылулық және басқа энергияны электр энергиясына түрлендіреді. Энергия көзі сыртқы тізбекке беретін қуат пайдалы (P_2) болып табылады. Ал сырттан (механикалық, химиялық және энергияның басқа түрлерінің көздерінен) алатын қуат – тұтынылатын (P_1).

Энергияны электрлік энергия көзінің желісінен тұтынып, электрлік энергия қабылдағышы оны энергияның өзге түріне айналдырады.

Энергияның сақталу заңына сәйкес көздің немесе электрлік энергияны қабылдағышының пайдалы қуаты тұтынылатын қуатынан аз, яғни, $P_2 < P_1$, себебі, көздің немесе қабылдағыштың жұмысы барысында сөзсіз энергияның жоғалуы орын алады. Энергия түрлендіргіштерінде, мысалы, қозғалтқыштарда, ішінде өтетін токтармен сымдардың орамалардың қызып кету, болаттың қайта магниттелуінің, құйынды токтардың әсерімен энергияның жоғалуы пайда болады.

Энергия көзінің немесе электрлік энергия қабылдағышының энергетикалық көрсеткіштерін бағалау үшін көздің немесе қабылдағыштың пайдалы қуатының және тұтыну қуатына қатынасына тең пайдалы әсер коэффициенті (ПЭК) қолданылады:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P'}$$

мұнда, ΔP көздің ішіндегі немесе энергия қабылдағышындағы жоғалтуларды еңсеруге жұмсалатын қуат.



Есте сақтаныз

Көздің немесе электрлік энергия қабылдағышының ПЭК неғұрлым жоғары болады. Егер оның ішіндегі жоғалтулар соғұрлым аз болса әрине. Мысалы, трансформатордың ПЭК жеткілікті жоғары және ол 95-98% құрайды. Ал асинхронды қозғалтқыштардың ПЭК – 70-95% болады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электрлік энергия көзінің қандай қуаты пайдалы және тұтыну қуаты болады?
2. Көздің, қабылдағыштың ПЭК қандай энергетикалық көрсеткіштеріне байланысты?

2.8. ДЖОУЛЬ-ЛЕНЦ ЗАҢЫ

Орыс ғылымы Э.Ленц және ағылшын физигі Дж.Джоуль бір уақытта және бір-бірінен тәуелсіз екенін анықтады. Яғни, электр тогы өткізгіш арқылы өткен кезде өткізгіштің шығаратын жылуы ток

күшінің, өткізгіштің кедергісінің және электр тогы өткізгіштің бойымен өткен уақыттың квадратына тік пропорционалды болады.

Бұл тәуелділік Джоуль-Ленц заңы деп аталады және келесідей жазуға болады:

$$Q = I^2 R t,$$

мұнда Q – ток дамытатын жылудың саны, Дж; I – өткізгіш арқылы өтетін токтың күші, А; R – өткізгіштің кедергісі, Ом; t – ток өткізгіш арқылы өткен уақыты, с.

Ом заңын пайдалана отырып, былай жазуға болады:

$$Q = \frac{U^2 t}{R} = U I t.$$

Өткізгіштердің электр тогымен қызуы өнеркәсіпте және тұрмыста тәжірибелік мақсатта кеңінен пайдаланылады. Электрлік қызу лампаларының, электржылытқыш құралдарының, электрпештердің, басқадай өлшеу және медициналық аппаратураларының және т.б. құрылыстары осы құбылысқа негізделген.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Джоуль-Ленц заңының мәнісі қандай? Оны тұжырымдаңыз.
2. Электр тогының жылу әсерінің тәжірибелік қолдануы қандай?

2.9. ЭЛЕКТР ТОГЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ӘСЕРІ

Тұздар және қышқылдардың судағы немесе қандай да болмасын басқа еріткіштердегі ерітінділері электр тогын өткізеді және олар **электролиттер**, немесе **екінші түрдегі өткізгіштері** деп аталады. Ал **металл өткізгіштері бірінші түрдегі өткізгіштер** болады.

Электр ток электролит арқылы өткен кезде электродтарда электролиттің құрамында химиялық қосылысы түріндегі заттардың белгілі мөлшері бөлінеді. Бөлініп шыққан заттың ток күшіне тәуелділігі төмендегідей тұжырымдалатын Фарадейдің бірінші заңымен орнатылады.

Ток электролит арқылы өткен кезде электродтарда бөлініп шыққан заттың мөлшері электролит арқылы өткен электр санына тіке пропорционал болады.

Бір ток әртүрлі электролиттер арқылы бірдей уақыттың ішінде өткенде электродтарда заттың әртүрлі мөлшерін шығарады. Электродтардағы 1 А токтың 1 с ішінде шығаратын заттың көлемі

миллиграмға шеккенде **электрхимиялық эквиваленті** деп аталады. Және ол α әрпімен белгіленеді.

Фарадей заңы келесідей формуласымен өрнектеледі:

$$M = \alpha It = \alpha q,$$

мұнда M – заттың мөлшері, мг; α – электрхимиялық эквивалент; I – ток, А; t – уақыт; q – электр мөлшері, К.

Электролиз техникада металдарды басқа металл қабатымен жабу (гальваностегия) түрінде, заттарды көшірме түсіргенде (гальванопластика), металдарды тазалау (тазарту) және т.б. кең тараған.

Электролиз құбылысы бір қатар жерасты құрылымдарына қауіп төндіреді. Электролиздің әсерінен кезбе токтары кабельдердің сауыттарын, су және газ құбырларын және басқа металл құрастырылымдарды бұзады. Аталмыш токтардың ең басты көзі болып – көліктің – электржабдықтары - трамвайлар және электрленген темір жолдары болып табылады. Әсіресе кезбе токтардың әсері жерасты телефон кабельдеріне зиянды.

?

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Фарадей заңының мәнісі қандай? Заңды тұжырымдаңыз.
2. Қандай заттар электролиттер немесе екінші түрдегі өткізгіштері деп аталады?
3. Электрхимиялық эквивалент дегеніміз не?
4. Электролиздің өнеркәсіпке келтіретін қаупі қандай?

БАЯНДАМАЛАР ЖӘНЕ РЕФЕРАТТАРДЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ:

1. Электр тогының жылу әсерін өнеркәсіпте пайдалану.
2. Электролиздің техникалық қолдануы.
3. Электр қыздыру құралдары.
4. Термоэлектрлік. Терможұптар.
5. Электр тізбектерін есептеу үшін Кирхгоф заңдарын қолдану.

3 тарау

ЭЛЕКТРМАГНЕТИЗМ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ

Осы тарауды зерделеу нәтижесінде сіз:

Мына дағдыларды меңгересіз:

- магниттік тізбесі элементтерінің шамаларын олардың сипаттамалары бойынша табуды;
- толық ток заңын қолдану;
- ықпалдандырылған ЭҚК анықтау;
- индуктивтік шарғыларды анықтау;

Сіз білетін боласыз:

- магниттік өрісті сипаттайтын шамаларды;
- магниттік тізбектерінің элементтері;
- толық ток заңының теңдеуі;
- магниттік өрісінің токты өткізгішіне әсер етуі;
- электрмагниттік индукция заңы;
- өзіндік индукция ЭҚК шамасын және бағытын;
- өзара индукциясын және осы құбылысты өнеркәсіпте қолдануын;
- құйындық токтар;
- магниттік өрістерді техникада қолдану саласы.

3.1. МАГНИТТІК ТІЗБЕКТЕР

3.1.1. МАГНИТТІК ӨРІС ТУРАЛЫ НЕГІЗГІ МӘЛІМЕТТЕР

Магниттік өріс дегеніміз магниттің әсері осы арқылы басқа денелерге берілетін ерекше заттан өзгеше материяның түрі.

Магниттік өріс қозғалыстағы электр зарядтарының және тұрақты магниттер айналасындағы кеңістікте пайда болады. Ол тек қана қозғалыстағы зарядтарына әсер етеді. Электрмагниттік күштерінің әсерінен қозғалыстағы зарядталған бөлшектер өздерінің бастапқы жолынан өріске перпендикуляр бағытына қарай ауытқиды.

Магниттік және электрлік өрістері ажырағысыз байланыста болады және бірлесіп бірыңғай **электрмагниттік өрісін** түзеді. Электрлік өрісінің қайсы бір өзгерісі магниттік өрісінің пайда болуына әкеліп соғады. Және керісінше, магниттік өрістің кез келген өзгерісі электрлік өрісінің пайда болуымен сүйемелденеді. Электрмагнитті өрісі жарықтың жылдамдығымен тарайды. Яғни, 300000 км/с.

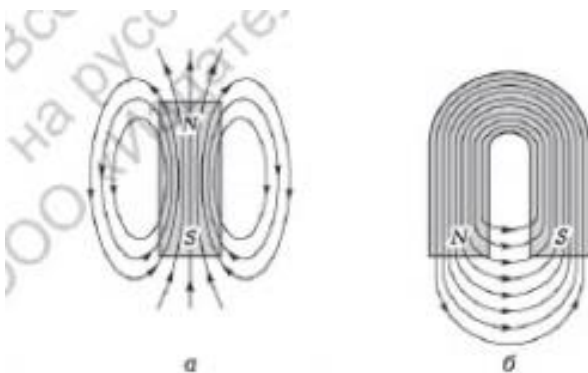
Тұрақты магниттердің және электрмагниттердің ферромагниттік денелеріне әсер етуі, магниттердің полюстарының және өзара әрекет етулерінің (әр аттас полюстар бір біріне тартылады. Бір аттастар – кері тартылады) болуы және ажырағысыз тұтастығына әсері жалпыға

мәлім. Жердің магниттік полюстарына ұқсастығы бойынша магниттер солтүстік және оңтүстік болып аталады.

Магниттік өрісі көрнекі түрінде магниттік күш сызықтарымен бейнеленеді. Олар магниттік өрістің кеңістіктегі бағытын береді (3.1.-сурет). Аталмыш сызықтардың басы да, аяғы да жоқ. Яғни, олар тұйық болып табылады.

Тік сызықты өткізгіштің магниттік өрісінің күш сызықтары – сымды қармап тұрған концентрлік шеңбер. Ток неғұрлым күшті болса, соғұрлым сымның айналасындағы магниттік өрісі күштірек болады. Токты сымнан алыстаған сайын магнитті өрісі әлсізденеді.

Магниттің немесе электромагниттің айналасындағы кеңістігінде магниттік күш сызықтарының оң бағыты шартты түрде солтүстік полюстан оңтүстікке қарай деп аталады.

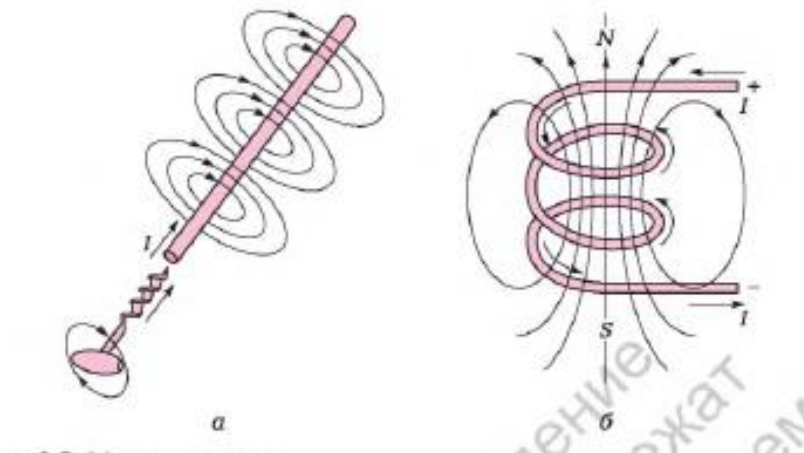


3.1.-сурет. Магниттердің магниттік өрісі:

а – тік, б – таға тәрізді

Магниттік өрісі неғұрлым қарқынды болса, күш сызықтарының тығыздылығы соғұрлым жоғары. Магниттік күш сызықтарының бағыты **бұрғы қағидасы** бойынша анықталады.

Егер винтті токтың бағытымен бұрандалатын болса, онда магниттік күш сызықтары винт жолымен бағытталады (3.2а-сурет).



Күштірек магниттік өрісін алу үшін сымнан жасалған орамасымен индуктивті шарғыны қолданады. Мұндай жағдайда индуктивті шарғының жекелеген орамдарының магниттік өрістері бүктеледі және олардың күш сызықтары жалпы магниттік ағынға құйылады.

Магниттік күш сызықтары индуктивтік шарғысынан ток сағат тіліне қарсы бағытталған ұшында шығады. Яғни, бұл ұшы солтүстік магниттік полюсы болып табылады (3.2, б-сурет). Индуктивтік шарғының ішіндегі токтың бағыты өзгерген жағдайда магниттік өрісінің де бағыты өзгереді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

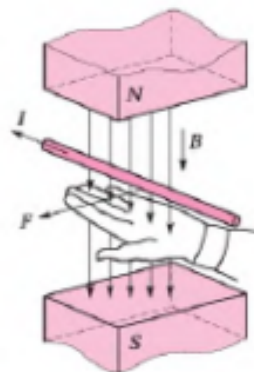
1. Магниттік өрісі дегеніміз не?
2. Магниттік өрісі электр өрісінен тәуелсіз бола ала ма?
3. Магниттік күш желілерінің бағыттары қандай ережемен анықталады?
4. Тік сызықты өткізгіштің магниттік өрісінің күш сызықтары қандай болатынын білесіз бе? Суретін салыңыз.

3.1.2. МАГНИТТІК ӨРІСТІҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

Магниттік индукция. Магниттік өрісінің қарқыны магниттік индукциясымен B сипатталады. Тұрақты магнит немесе

электрмагнитпен жасалған магниттік өрісі неғұрлым күштірек болса, соғұрлым индукциясы үлкен. Электрмагнитті күштің F өткізгішке келтіретін әсерінің бағыты **сол қол ережесімен** анықталады (3.3.-сурет) .

Егер сол қолды магниттік сызықтары алақан арқылы өтетіндей етіп, ал созылған төрт саусақ өткізгіштегі токтың бағытын көрсететіндей етіп орналастырсақ, онда қайырылған бас бармақ электрмагниттік күш әсерінің бағытын көрсетеді.



3.3.-сурет. Электрмагниттік күшінің токты өткізгішке әсер ету бағытын сол қол ережесіне сай анықтау.

Осы күш бойынша **магниттік өрістің қарқындылығы**, яғни оның

магниттік индукциясы туралы айтуға болады. Егер біркелкі магниттік өрісінде магнитті сызықтарына перпендикуляр орналасқан ұзындығы 1 м ток 1 А болатын өткізгішке 1 н болатын күш әсер ететін болса, онда аталмыш өрістің магниттік индукциясы 1 Тл (тесла) тең болады.



Есте сақтаңыз

Магниттік индукция – векторлық шама: өрістің әр бір нүктесінде магниттік индукциясының векторы жанама бойымен магниттік күш сызықтарына қарай бағытталған.

Магниттік ағын. Магниттік B индукцимен S ауданның көбейтіндісімен өлшенетін, магниттік индукцияның векторына перпендикуляр болатын шама **магниттік ағын Φ** деп аталады: $\Phi = BS$

Магниттік индукцияны тесламен өрнектейді. Ал ауданды – шаршы метрмен, сондықтан магниттік ағынның өлшем бірілігі – вебер: $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \times 1 \text{ м}^2$.

Магниттік қозғаушы күш. Токтың магниттік өрісін қоздыру қабілеттілігі тұйық магниттік күш сызығының бойымен әрекеттенетін магниттік қозғаушы күшімен (МҚК) сипатталады. Магниттік қозғаушы күші магнитті өрісін туындататын токтың күшіне тең, және ол ампермен өрнектеледі.

Ток I өткізгіші үшін МҚК I тең болады. Жалпы жағдайда, магниттік күш сызығының тұйық контуры бірнеше токтарды қамтитын болса, онда жиынтық МҚК токтар қосындысына тең болады.

Орамдар саны w тең және ток I шарғысы үшін (3.4-сурет) МҚК тең:

$$\sum I = Iw.$$

Магниттік өрістің кернеуі. Магниттік күш сызығы ұзындығының бірлігіне келетін магниттік қозғаушы күші **магниттік өрістің кернеуі H** деп аталады және ампер/метрмен (А/м) өрнектеледі.

Егер магниттік сызығының ұзындығы бойына l физикалық жағдайлары бірдей болса, онда:

$$H = \frac{\sum I}{l}.$$

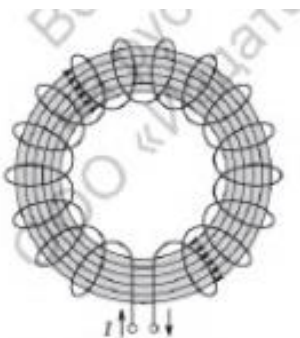
мысалы, магнитті өрісінің сызығының тогы I тік сызықты өткізгіштің айналасы радиусы x айнымалы концентрлі шеңберлері болады, әр қайсысының ұзындығы: $l = 2\pi x$.

$$H = \frac{I}{2\pi x}.$$

Бұл ретте кернеу:



Есте сақтаңыз



Өткізгіштен алыстаған сайын өрістің кернеуі төмендейді.

Магниттік өтімділік. Магниттік индукция тік сызықты өткізгіштің немесе индуктивтік шарғының бойымен өтетін токтың күшіне ғана байланысты емес, сонымен қатар, магниттік өріс түзілетін ортаның қасиеттеріне де байланысты. Ортаның магниттік қасиеттерін сипаттайтын шамасы болып **абсолютті магниттік өтімділік μ**

табылады. Ол магниттік индукцияның B магниттік өрістің H кернеуіне қатынасымен анықталады және генри/метр (Гн/м) өлшенеді:

3.4.-сурет. Тороидалды шарғы.

$$\mu_a = \frac{B}{H}.$$

Вакуумның абсолют магниттік өтімділігі:
 $\mu_a = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Ауа және басқа ферромагниттік емес материалдары үшін ол вакуумның магниттік өтімділігінен аздап өзгеше және техникалық есептеулерінде тең деп қабылданады. Вакуум және бұрын аталған материалдары үшін абсолют магнитті өтімділік іс жүзінде бірдей, онда μ_a – **магниттік тұрақты μ** деп аталады.

Ферромагниттік материалдардың абсолютті магнитті өтімділігі μ тұрақты емес, және де ол вакуумның магнитті өтімділігінен бірнеше есе көп.

Ферромагниттік материалдың абсолютті магниттік өтімділігі μ магниттік тұрақтыдан μ қанша есе көп екенін көрсететін саны **салыстырмалы магниттік өтімділігі μ** немесе (қысқартылып) магнитті өтімділік деп аталады:

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}.$$

3.1.-мысал. Болат белгілі бір жағдайларында 0,0008792 Гн/м тең абсолютті магниттік өтімділігіне μ тең. Осы болаттың салыстырмалы магниттік өтімділігін μ анықтаңыз.

Шешімі:

Салыстырмалы магниттік өтімділік:

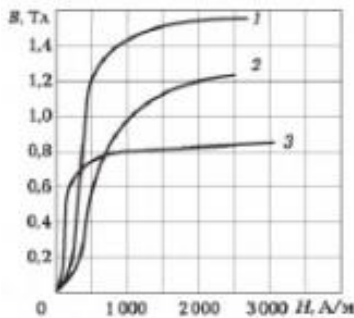
$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0} = \frac{0,0008792}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 700$$

Техникалық таза темір (1), электртехникалық болат (2) және пермаллой (3) магниттеу қисықтарының үйірі 3.5-суретінде келтірілген. Аталмыш материалдары трансформаторларда, электртехникалық машиналарда және аппараттарда кеңінен қолданылады.

Магниттеу қисықтарынан көрініп тұрғандай, (3.5.-сурет) материалдардың магниттелуге қабілеті (олардың магниттік өтімділігі) әлсіз өрістерінде зор, ал индукция өскен сайын біртіндеп азаяды.

Магниттік материалдардың магниттік өтімділігі – олардың магниттеу дәрежесіне байланысты өзгеріп тұратын шама.

Магниттік өрістің кернеулігі бір болғанда (3.5.-суретін қараңыз) магниттік индукция электротехникалық болаттағыдан таза темірде көп. Бұл жағдай таза темірдің магниттік өтімділігі электротехникалық болаттың магниттік өтімділігінен көп екендігімен түсіндіріледі.



3.5.-сурет. Магниттелу қисықтарының тобы:

1 – техникалық таза темір, 2 – электротехникалық болат, 3 – пермаллой

3.2.-Мысал. Шарғының магниттік өрісінің кернеулілігі $H = 750$ А/м, өзекшенің абсолютті өтімділігі $\mu = 0,0008792$ Гн/м. Өзекшенің магниттік индукциясын анықта.

Шешімі:

Өзекшенің магниттік индукциясы: $B = \mu_a H = 0.0008792 \times 750 = 0.65$ Тл.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Магниттік өрістің кернеулілігі қандай шамаларға тәуелді?
2. Магниттік индукцияның өлшем бірліктері қандай?
3. Магниттік өтімділік μ дегеніміз не?
4. Магниттік индукция қандай параметрлерге тәуелді?
5. Магниттік ағынның өлшем бірліктері қандай?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Электротехникалық болаттың магниттік индукциясы 1,5 Тл құрайды, осы болаттан дайындалған өзекшенің көлденең қимасының ауданы – $0,003\text{м}^2$. Өзекшеден өтетін магниттік ағынды анықтаңыз.

2. Магниттік өтімділігі 10,5 альсиферден дайындалған өзекшедегі магниттік индукциясын табыңыз, егер ол кернеулілігі 1 000 А/м болатын магниттік өріске орналастырылған болса.

3. Кернеулілігі 1 200 А/м болатын біркелкі магниттік өріске орналастырылған никельдің кесегінде өтетін магниттік ағынды

есептеңіз. Никель кесегінің көлденең қимасының ауданы 25 см құрайды (никельдің салыстырмалы магниттік өтімділігі $\mu=300$).

3.1.3. МАГНИТТІК ӨРІСТЕ ТОГЫ БАР ӨТКІЗГІШ

Магниттік өрістің ішіне алынған энергия қозғалып тұрған электр зарядтарымен магниттік өрісімен өзара әрекеттескенде пайда болатын электромагниттік күштері түрінде өзін білдіруі мүмкін.

Егер магниттік өрістің ішіне I тогын орналастыратын болсақ, онда өткізгіштің бойымен өтетін электрондарының және магниттік өрістің арасында электромагниттік күштері пайда болады. Олар өз кезегінде, бүктеліп, өткізгішті магниттік өрістен итеріп шығуға тырысатын F салдарлы күшін түзеді. Магниттік өрісте және өрістің бағытына перпендикуляр орналасқан ток бар өткізгішіне әсер ететін электромагниттік күші F ток күші I , магниттік өрістің индукциясы B және өткізгіштің l көбейтіндісіне тең.

$$F = BIl.$$

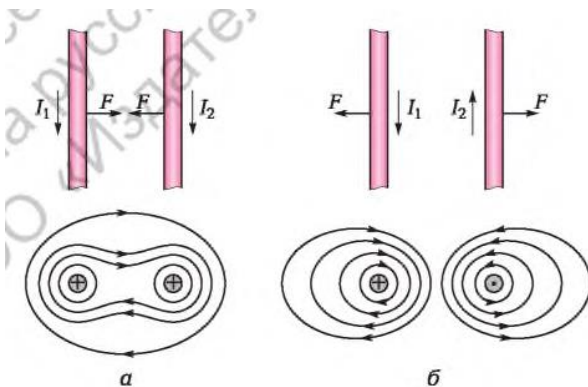
Егер өткізгіш магниттік күштеріне α бұрышымен орналасқан болса, онда күш, H :

$$F = BIl \sin \alpha.$$

F күштің бағытын әдетте сол қолдың ережесі бойынша анықтайды (3.3-сурет). Ток бағыттары бірдей болуымен осындай механикалық күштердің әсерінің нәтижесінде қасында орналасқан өткізгіштер **бір біріне тартылатын** болады (3.6,а-сурет), ал токтың бағыты әртүрлі болғанда – кері тартылады. (3.6 б-сурет).

Магниттік өрістің және тогы бар өткізгіштің өзара әсер ету құбылысында әртүрлі электр машиналардың және құралдардың, мысалы, магниттік электр жүйелерінің өлшеу құралдарының құрылымдары негізделген.

Өткізгіштердің арасында әсіресе үлкен күштері қысқа тұйықталуларында электрлік тізбектерінде пайда болады.



3,6-сурет. Тоғы бар екі өткізгіштердің өзара әсер етуі.

а - токтың бағыты бірдей, б – токтың бағыты әртүрлі.

3.3.-мысал. Ток құрған магниттік өрісі қандай күшпен өткізгішке әсер ететін анықтаңыз. Егер өрістің магниттік индукциясы $B=1,5$ Тл, өткізгіштің жұмыс ұзындығы $l = 0,4$ А.

Шешімі:

Өткізгішке әсер ететін күш: $F = BIl = 1,5 \times 0,4 \times 0,5 = 0,3H$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Магниттік өріске орналастырылған тоғы бар өткізгішке әсер ететін күштің бағытын анықтаудың қандай ережесі бар?
2. Магниттік өріске орналастырылған тоғы бар өткізгішке әсер ететін күш қандай параметрлерге тәуелді?
3. Магниттік өріске магниттік күш сызықтарына параллель орналастырылған өткізгішке күш әсер ете ме?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Өрістің магниттік индукциясын анықтаңыз, егер ол өткізгішке 6 Н күшімен әсер ететін болса. Магниттік өріске орналастырылған өткізгіштің жұмыс ұзындығы 0,4 құрайды. Ал оның бойымен өтетін ток – 15 А.
2. Тоғы бар өткізгішпен құрылған магниттік өрісі өткізгішке әсер ету күші қандай болады. Егер өрістің магниттік индукциясы 1,5 Тл тең, ал өткізгіштің жұмыс ұзындығы – 0,6м және оның бойымен 5 А ток өтеді.

3.1.4. МАГНИТТІК ТІЗБЕКТІ ЕСЕПТЕУ

Магниттік тізбек дегеніміз МҚК көзінің (электрмагниттің немесе тұрақты магниттің) жуықтығы. Сондай-ақ, құрылған өрістің магниттік сызықтарының негізгі бөлігі тұйықталатын бір қатар денелер және орталар болып табылады.

Электрмагниттік реленің магниттік тізбегі (3.7-сурет) үш учаскеден тұрады. Олар: өзекше 2, зәкір 4 және ауалық саңылау 6. Аталмыш учаскелерімен түзілген тұйық контурдың бойымен индуктивтік шарғының 1 тоғымен құрылатын магниттік ағын 3 өтеді. Өзекшені және зәкірді бөліп тұрған ауа саңылаулары арқылы өткен кезде магниттік ағынның бөлігі ауамен тұйықталады. Яғни, зәкір арқылы өтпейді - шашырау ағыны 5 пайда болады.

Магниттік тізбегін есептеу кезінде екі мәселе қойылуы мүмкін:

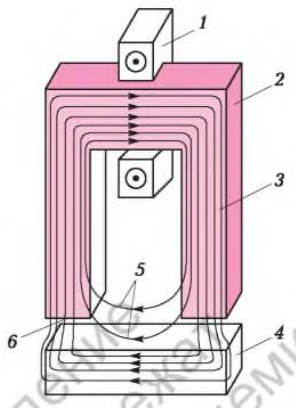
1) Тік. Мұнда геометриялық өлшемдері және магнит өткізгіш материалының магниттік қасиеттері, сонымен қатар, магниттік ағынның Φ мәні белгілі болса, магниттік қозғаушы күші және орамның айналымдарындағы күш I анықталады.

2) Кері. Мұнда МҚК беріледі, геометриялық өлшемдері және магнитөткізгіш материалы беріледі – магниттік ағын Φ анықталады.

Магниттік тізбектердің есептеуі магниттік жағдайы теңдеулері арқылы толық ток заңының негізінде жүзеге асырылады. Электрлік тізбектеріндегі сияқты, мұнда да магниттік жағдайының теңдеулері пайдаланылады.

Түйінді теңдеу – кез келген түйінде (тұйық қабаты арқылы өтетін ағын) түйісетін магниттік ағындардың алгебралық қосындысы әрқашан нольге тең:

$$\sum \Phi = 0.$$



3.7.-сурет. Электрмагниттік релесінің магниттік тізбегі:

1-индуктивтік шарғы, 2-өзекше, 3- магниттік ағын, 4- зәкір, 5- шашырау ағыны, 6-ауалық саңылау.

Контурлық теңдеу – магниттік тізбектің кез келген тұйық контурындағы магниттік кернеудің төмендеудің алгебралық қосындысы контурдағы МҚК алгебралық қосындысына тең:

$$\sum U_{\mu} = \sum wI.$$

Магниттік кернеудің төмендеуі – магниттік тізбегінің берілген учаскесінде магниттік өрістің кернеулілігінің тізбектің учаске ұзындығының (немесе магниттік кедергі учаскесінің магниттік ағынға) көбейтіндісі ретінде анықтайды және ампермен өрнектейді:

$$U_{\mu} = Hl = \frac{\Phi l}{\mu_0 \mu_a S} = R_{\mu} \Phi,$$

$$R_{\mu} = \frac{l}{\mu_0 \mu_a S}.$$

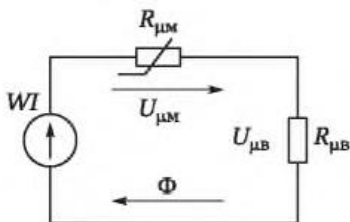
Мұнда R_{μ} - учаскенің магниттік кедергісі,

Мысалы, құрамында МҚК және магниттік кедергілері $R_{\mu м}$ $R_{\mu в}$ екі учаскесі бар (3.8.-сурет) магниттік схемасы үшін магниттік жағдайының келесі теңдеуін жазуға болады:

$$wI = U_{\mu м} + U_{\mu в}$$

Мұнда $U_{\mu м}$ – ферромагнетик учаскесіндегі магниттік кернеу; $U_{\mu в}$ – ауалық саңылау учаскесіндегі магниттік кернеу.

Электрлік және магниттік тізбектердің аналогиясы немқұрайлы. Өзіндік ішкі құрамы бойынша олар елеулі түрде өзгеше: көздің МҚК бар және электрлік тізбектің кез келген режимінде (бос жүрісінде, номиналды режимінде, қысқа тұйықталуында) өзгеріссіз қалады. МҚК әрқашан бір уақытта магниттік ағынмен бірге болуымен байланысты. Әйтсе де аналогия әр магниттік тізбегі үшін орын басудың эквиваленттік схемасын құрастыруға мүмкіндік береді.



3.8.-сурет. Магниттік тізбегінің эквивалентті схемасы.

Магниттік өрістерді қолдану салалары техникада әртүрлі және олар кеңеюде. Магниттік өрістер электрлік машиналарында және трансформаторларында, электрлік аппараттарында, өлшеу құралдарында және басқа электртехникалық құрылғыларында пайдаланылады. Магниттер магнитофондарда, күй табақ ойнатқыштарында, радиоқабылдағыштарында және теледидарларда, шаңсорғыштарда болуы қажет.

Қуатты магниттік өрістер заманауи энергетикалық және физикалық құрылғыларында қажет. Мысалы, үдеткіштердегі зарядталған бөлшектердің ағынын қалыптастыру үшін, физикалық қондырғыларында магниттік тұзақтар камераларында плазманы ұстау үшін қажет. Күшті магнитті өрісті электрэнергетиканың дамуында озық бағыттары байланысты магниттік гидродинамикалық генераторларында құрылады.

Электрмагниттер көптеген технологиялық қондырғылардың және механизмдердің элементтері болып табылады. Осылайша, ферромагниттік материалдарды көтеру және тасымалдау үшін көтергіш электрмагниттерді қолданады. Станоктардың кинематикалық тізбектерінде жылдамдықтарды қосу, тежеу және ажыратып-қосу үшін электрмагниттік муфталары кең тараған. Тегіс ажарлау станоктарында бөлшектерді ұстау үшін – электрмагниттік таспаларды, өңделетін сусымалы материалы массасынан болат және шойын денелерді шығарып алу үшін – магниттік сепараторларды пайдаланамыз. Газдар және сұйықтықтардың ағындарын басқару үшін

– электрмагниттік қрандарды және клапандарды іске асырамыз. Электрмагниттік өрісті технологиялық үрдістерінде тікелей пайдаланады.



Есте сақтаңыз

- Ферромагнитті материалдары бар магниттік тізбектерді есептеу тұрақты токтың электрлік тізбектерін есептеуіне ұқсас.
- Магниттік және электрлік тізбектерді есептеу кезінде түйінді және контурлық теңдеулерді пайдаланады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ:

1. Магниттік тізбек дегеніміз не?
2. Электрлік тармағының теңдеуінің және оның магниттік тізбегі үшін аналогы арасындағы өзгешелігі қандай?
3. Магниттік тізбегінің магниттік кедергісі қалай анықталады?

3.2. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ

3.2.1. ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ ЗАҢЫ

Көптеген электртехникалық құрылғылардың (электрмеханикалық генераторлардың, трансформаторлардың) жұмыстарының негізінде 1831 жылы М.Фарадей ашқан электрмагниттік индукция құбылысы жатыр. Кешірек Ресей академигі Э.Ленц электрқозғаушы күшінің бағытын анықтады. Ал индукцияланған ЭҚК магниттік ағынның өзгеру жылдамдығынан сандық тәуелділігін Дж.Максвелл анықтады.

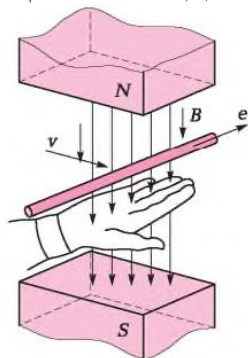
Электрмагниттік индукция құбылысының мәнісі келесідей. Яғни, өткізгішті магниттік күш сызықтарымен қиылысуымен байланысты өткізгіштің айналасындағы магниттік өрістің өзгеруі осы өткізгіште ЭҚК пайда болуын тудырады. Бұл ретте магниттік өріс өткізгішке қатысты өзгере ме немесе өткізгіш магниттік өрісте жылжи ма бәрібір. Индукцияланған ЭҚК мәні М.Фарадейдің **электрмагниттік индукция заңымен** анықталады.

Индукцияланған ЭҚК B индукциясына, l өткізгіштің белсенді ұзындығына және оның магниттік өрістің сызықтарына перпендикуляр бағытында жылжуларының v жылдамдығына тік пропорционалды болады.

$$e = Blv \sin \alpha,$$

Мұнда α - v жылдамдықтың және өрістің бағыттары арасындағы бұрыш. Егер $\alpha=90^\circ$ болса (жиі орын алады), онда $e=Blv$.

ЭҚК бағытын оң қол ережесіне сай анықтайды (3.9.-сурет).



3.9.-сурет. ЭҚК бағытын оң қол ережесіне сай анықтау

Егер оң қолды магниттік сызықтары алақанға кіріп тұратындай, ал қайырылған бас бармақ өткізгіштің қозғалысының бағытын көрсетіп тұратындай қойса, онда созылып тұрған төрт саусақ индукцияланатын ЭҚК бағытын көрсетеді.

Тұйық контурымен қамтылған магниттік ағын өзгерген кезде оның ішінде ЭҚК индукцияланады:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

Мұнда магниттік ағын өзгеретін уақыт аралығы.

$$e = -w \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

Айналымдары w бар шарғыда «-» таңбасы **Ленц ережесін** бейнелейді.

Индукцияланған ЭҚК ол құрған ток ЭҚК пайда болуын туындатқан салдарына қарсы әсер ететін бағыты болады. Яғни, магниттік ағынның өзгеруіне қарсы әсер етеді.



Есте сақтаныз

• Электрмагниттік индукция құбылысы әртүрлі электрмашиналарда және құрылғыларда кеңінен пайдаланылады. Электрлік генераторлардың, қозғалтқыштардың және трансформаторлардың құрылысы осы ұстанымда негізделген.

• ЭҚК бағытын оң қол ережесіне сай анықтайды.

• ЭҚК өткізгіштегі индукциялануы ол қандай да болмасын электрлік желісіне қосылған, қосылмағандығына тәуелсіз болады. Егер осы өткізгіштің ұштарын қандай да болмасын электрлік энергия қабылдағышына жалғаса, онда өткізгіштің ұштарындағы потенциалдарының айырмасының әсерінен тұйық тізбегімен электр тогы ағатын болады.

• Индукцияланатын ЭҚК оны туындататын себебіне қарсы әсер етуге тырысады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1.Электрмагниттік индукция заңының мәнісі қандай? Заңды тұжырымдаңыз.

2.Индукцияның ЭҚК қандай шамаларына байланысты?

3.Индукцияланған ЭҚК бағытын қалай анықтайды?

4.Электрмагниттік индукция құбылысын техникада қайда пайдаланылады?

3.2.2. ӨЗДІК ИНДУКЦИЯ. ИНДУКТИВТІЛІК

Өткізгіштегі, айналымдағы немесе индуктивтік шарғыдағы ток өзгергенде, осы токпен құрылатын магниттік ағын да өзгереді. Магниттік ағынның өзгеруі өткізгіште ЭҚК индукциялайды (айналымда, индуктивтік шарғыда). Оның әсері өрістің бұрынғы жағдайын қолдауға бағытталған. Мұндай құбылыс өзіндік индукция деп аталады. Өзіндік индукцияның ЭҚК бағыты Ленц ережесі бойынша анықталады.

Өзіндік индукцияның электрқозғаушы күші әрқашан оны туындатқан токтың өзгеруіне кедергі болатын бағытта болады.

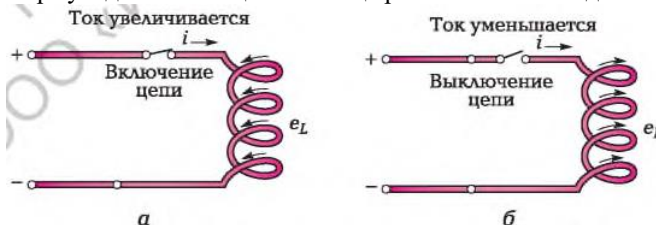
Демек, өткізгіштегі (индуктивтік шарғыда) ток өскенде оның ішінде индукцияланған өзіндік индукцияның ЭҚК бағыты токқа қарсы болады. Яғни, оның өсуіне кедергі болады (3.10.,а-сурет). Және

керісінше, өткізгіштегі (индуктивтік шарғыда) ток азайғанда, өзіндік индукцияның ЭҚК пайда болады. Оның бағыты токтың бағытымен бірдей. Яғни, оның азаюуына кедергі болады (3.10.,б-сурет).

Өртүрлі өткізгіштердің (индуктивтік шарғылардың) өзіндік индукциясының ЭҚК индукциялау қабілеті **L индуктивтігімен** бағаланады. Индуктивтіктің бірлігі – генри (Гн). Аталмыш индуктивтілікке ток 1с ішінде 1А өзгеруімен 1 В тең өзіндік индукциясының ЭҚК пайда болатын өткізгіші ие:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Формуладағы «-» таңбасы Ленц ережесін бейнелейді.



3.10.-сурет. Өзіндік индукциясының индуктивтік шарғыдағы ЭҚК бағыты.

а – ток көбейгенде, б – ток азайғанда.

Индуктивтілікті іс жүзінде жиі генри мыңдық үлестерінде – миллигенри (мГн) және генри миллиондық үлестерінде – микрогенри (мкГн) өлшенеді.

L Индуктивтілік мәні тізбектің элементтерінің құрастырылымына байланысты болады. Осылайша, айналым саны w, магнит өткізгіш ұзындығы l, қимасы S және магниттік өтімділігі μ индуктивтік шарғысы үшін индуктивтілік:

$$L = \frac{w^2 \mu_a \delta}{l}.$$

Егер шарғылар өздерінің өрістерімен бір біріне әсерін тигізбесе, онда индуктивтіліктері L_1, L_2, L_3 индуктивтік шарғыларды тізбекті жалғануымен жалпы индуктивтілік болады:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Параллель жалғануымен:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$



Есте сақтаңыз

- Егер индуктивтік шарғыдағы ток өзгермейтін болса, онда өзіндік индукциясының ЭҚК пайда болмайды.
- Өзіндік индукция құбылысы қайсы бір өткізгіштерінде L индуктивтілігімен сипатталады..
- Индуктивтілік – бұл токтың уақытта өзгеру жылдамдығымен және мұнда индукцияланатын ЭҚК арасындағы мөлшерлі пропорционалдық коэффициенті.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қандай жағдайларында өздік индукциясының ЭҚК пайда болады?
2. Индуктивтіліктің өлшем бірліктері.
3. Өзіндік индукциясының ЭҚК қалай өзгереді? Егер индуктивтік шарғы арқылы өтетін токтың өзгеру жылдамдығы өссе қалай болады?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Индуктивтік шарғының индуктивтілігін анықтаңыз. Егер 2А токтың өзгеру жылдамдығында өзіндік индукцияның 1,5В ЭҚК индукцияланатын болса.
2. Индуктивтік шарғыда ток біркелкі 0,01с ішінде 20 мА өзгерді. Егер индуктивтік шарғының индуктивтілігі 5 мГн құрайтын болса, өздік индукциясының ЭҚК есебін шығарыңыз.
3. Индуктивтілігі 12 мГн индуктивтік шарғыда күші 2 с ішінде 10 мА өзгереді ток өтеді. Индуктивтік шарғыда пайда болатын өзіндік индукциясының ЭҚК есептеңіз.

3.2.3. ӨЗАРА ИНДУКЦИЯ

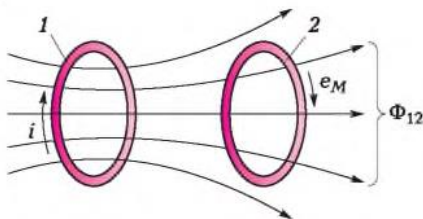
Егер екі индуктивтік шарғы бір бірінен біршама ара-қашықтықта орналасқан (3.11.-сурет) және олардың бірінің бойымен (1) өзгереді ток өтуде. Онда осы токпен қозатын магниттік ағынның бөлігі екінші индуктивтік шарғының (2) айналмаларынан өтеді және оның ішінде **өзара индукция** деп аталатын ЭҚК пайда болады.

Егер екі тұйық контур немесе екі кондуктивтік шарғылар 1 және 2 (3.11.-сурет) бір бірімен жалпы магниттік ағынымен Φ_{12} ілініскен болса, онда мұндай контурлар немесе индуктивтік шарғылар **индуктивтік** немесе **магнитті байланысқан** деп аталады.

Екінші индуктивтік шарғының тұйық тізбегінде өзара индукциясының ЭҚК әсерінен өзара индукциясының электр тогы пайда болады. Ол бірінші индуктивтік шарғының айналмаларын түзіп өтетін магниттік өрістік пайда болуын тудырады, нәтижесінде, оның ішінде сонымен қатар өзара индукциясының ЭҚК пайда болады. Аталмыш құбылыс **өзара индукция** деп аталады.

Екінші индуктивтік шарғыда пайда болатын өзара индукциясының ЭҚК шамасы мөлшерлеріне, индуктивтік шарғылардың орналасуына, олардың өзекшелерінің магниттік өтімділігіне, сондай-ақ, бірінші индуктивтік шарғыдағы ток күшінің өзгеру жылдамдығына байланысты болады. Аталмыш тәуелділікті келесі формуласымен өрнектеуге болады.

Мұнда M – индуктивтік шарғылардың мөлшерлеріне, олардың орналасуларына және индуктивтік шарғылардың арасындағы магниттік өтімділігіне байланысты шама. Ол **өзара индуктивтілік** деп аталады және генримен өлшенеді (Гн). Осы формуладағы «-» таңбасы өзара индукция ЭҚК оны туындатқан салдарына қарсы әсер ететіндігін көрсетеді.



3.11.-сурет. Өзара индукция:

1,2 – индуктивті-байланысқан шарғылар.

$$e_M = -M \frac{\Delta i}{\Delta t},$$

Өзара индукция магниттік өрістер арқылы әртүрлі электрлік өрістерді байланыстыру мүмкіндігін береді. Өзара индукция құбылысы трансформаторларда, радиотехникалық құрылғыларында және автоматика құрылғыларында кеңінен қолданылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қандай құбылысты өзара индукция деп атайды?
2. Қандай жағдайларында өзара индукциясының ЭҚК пайда болады?
3. Қандай шарғылары магнитті байланысқан деп аталады?
4. Қандай бірлікте өлшенеді өзара индуктивтілік?

3.2.4. ҚҰЙЫНДЫҚ ТОКТАР

Өзгертін магниттік ағын ЭҚК тек қана сымдар немесе индуктивтік шарғылардың айналмаларында емес, сонымен қатар электртехникалық қондырғылардың қомақты болат өзекшелерінде, сауыттарында және басқадай металл бөлшектерінде индукциялауға қабілеті бар. Бұл ЭҚК электртехникалық құрылғылардың қомақты метал бөлшектерінде, олардың қалың жерлерінде қысқа тұйықталуымен әсер ететін индукцияланған токтардың пайда болу себептері болып табылады. Аталмыш токтар **құйындық токтар** деп аталады.

Құйындық токтардың табиғаты кәдімгі сымдарда немесе индуктивтік шарғыларда индукцияланатын токтарына ұқсас. Қомақты өткізгіштердің азғантай кедергісінің арқасында құйындық токтар индукцияланатын ЭҚК мөлшері шамалы болса да осы өткізгіштердің шамадан тыс қызып кетуін туындатып, ең көп мәндеріне жетеді.

Құйындық токтардың зиянды әсерін азайту тәсілдері. Электр машиналарында және аппараттарында құйындық токтардың әдетте болмағаны жөн. Себебі олар метал өзекшелердің қызып кетуін тудырады. Энергияның жоғалуына әсерін тигізеді (былай айтқанда, құйындық токтардан келетін жоғалтулар), электр машиналарының және аппараттардың ПӘК төмендетеді және Ленц ережесіне орай магнитсіздендіргіш әсерін тудырады. Құйындық токтардың зиянды әсерін азайту үшін негізгі екі негізгі тәсілдерін қолданады.

1. Электр машиналардың және аппараттардың өзекшелерін бір бірінен оқшаулау қабатымен оқшауланған (лак қабықшасымен, парақтарды күйдіргенде пайда болатын темір қағымен және т.б.) қалыңдығы 0,35-1,0мм болатын жекелеген болат парақтарынан дайындалған.

2. Электр машиналардың және аппараттардың өзекшелері дайындалатын электртехникалық болаттың құрамына 1-5% кремний енгізеді. Бұл өз кезегінде, оның электрлік кедергісінің көтерілуін

қамтамасыз етеді. Осының арқасында электр машиналардың және аппараттардың өзекшелері арқылы өтетін құйындық токтардың күштерінің төмендеуіне жетеді.

Құйындық токтарды пайдалану. Құйындық токтарды металдарды балқыту үшін пайдаланады. Олардың көмегімен дәнекерлеу, құймалау және пісіру кезінде метал бөлшектерін қыздырады. Сондай-ақ, метал бұйымдарды шыңдауға қажетті үстіңгі қабаттың қыздырылуын жүзеге асырады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Құйындық токтардың пайда болу себептері қандай?
- 2.Құйындық токтардың зиянды әсерін азайтудың қандай тәсілдерін білесіз?
- 3.Құйындық токтардың пайдалы қолдануын қайдан табуға болады?

БАЯНДАМАЛАР ЖӘНЕ РЕФЕРАТТАРДЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ

- 1.Магнетизмнің табиғаты.
- 2.Ферромагниттік материалдардың магниттелуі.
- 3.Электрмагниттік индукцияның техникада қолдануы.
- 4.Құйындық токтардың техникадағы пайдаланылуы.
- 5.Электрмагниттер, олардың қолданылуы.

4-тарау

АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

Осы тарауды зерделеу нәтижесінде:

Сіз меңгеретін боласыз:

- айнымалы токтың және кернеудің шамаларын олардың ұсынылуының графикалық нысаны бойынша табуға;
- айнымалы токтың қарапайым тізбектерін есептеу;
- айнымалы токтың тармақталмаған тізбектерінің векторлық диаграммаларын тұрғызу;
- айнымалы токтың тізбектеріндегі реактивті, белсенді және толық қуатын және қуат коэффициентін анықтау;
- үш фазалық тізбекті есептеу үшін фазалық және сызықтық кернеу және токтары арасындағы ара-қатынастарды қолдануды;

- жүктеменің орамдарын «жұлдыздан» «үшбұрышқа» ажыратып-қосқан кезде токтар, кернеулер және қуаттары үшін ара-қатынастарды қолдануды меңгересіз.

Сонымен қатар:

- айнымалы токты және кернеуді ұсыну шамалары және нысандары;

- айнымалы токқа элементтерді қосудың электрлік схемалары;

- айнымалы токтың тізбектері үшін Ом заңы;

- айнымалы токтың тізбектеріндегі кернеудің және токтың пайда болу шарттары және резонанстың ерекшеліктері;

- белсенді, реактивті және толық қуаты арасындағы байланыс;

- қуат коэффициентін көтеру тәсілдері;

- қарапайым электрлік тізбектерін есептеу үшін векторлық диаграммалары;

- үшфазалық жүйесінде токтарды және кернеуді алу тәсілдері;

- үшфазалық жүйесінің элементтері;

- тұтынушыларды және генераторды «жұлдызбен» және «үшбұрышпен» жалғау тәсілдері;

- үшфазалық тізбегіндегі белсенді қуатты өлшеу схемасы;

- электртехникалық өнеркәсібіндегі үшфазалық жүйені қолдану саласы.

4.1. АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ БІРФАЗАЛЫҚ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

4.1.1. АЙНЫМАЛЫ ТОК. НЕГІЗГІ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Айнымалы ток дегеніміз шамасы және бағыты бойынша кезекті өзгеретін электр тогы.

Айнымалы токты алу үшін жұмысы электромагниттік индукция құбылысына негізделген электромашиналық генераторлары пайдаланылады. Айнымалы токтың іс жүзіндегі мәні зор. Барлық дерлік электрлік энергиясы айнымалы токтың энергиясы түрінде өндіріледі.

Кернеуі (жоғары – энергияны үлкен қашықтыққа беру үшін, төмен – әртүрлі тұтынушыларды қоректендіру үшін) әртүрлі айнымалы ток алу мүмкіндігі, айнымалы токтың генераторларының және қозғалтқыштарының құрылыстарының қарапайымдылығы, олардың сенімді жұмыс істеуі, пайдалану қолайлылығы және жоғары техникалық сипаттамалары оларды кеңінен қолдануға жол ашты.

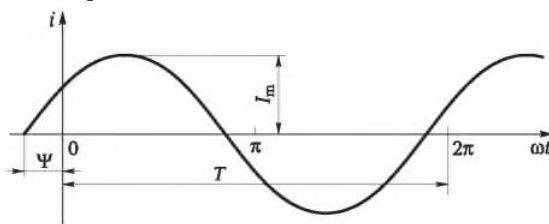
Ең көп таралған **синусоидалды ток**. Токтың синусоидалды заңымен өзгеруі баяу, күрт ауытқусыз өтеді. Бұл өз кезегінде, электрмашиналардың және аппараттардың жұмыс істеуіне оң әсерін тигізеді.

Синусоидалды токтың уақыттық диаграммасы 4.1.-суретінде келтірілген. Оның лездік мәні келесі формуласымен сипатталады:

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi)_t$$

Мұнда I_m – токтың максималды мәні (амплитуда); бұрыштық жиілік, бастапқы фаза (уақыттың бастапқы лездегі аргументтің мәні, яғни, $t=0$ болғанда) болады.

ЭҚК айнымалысы, айнымалы кернеу және айнымалы ток кезеңімен, жиілікпен, лездік, максималды және қолданыстағы шамалардың мәндерімен сипатталады.



4.1.-сурет. Синусоидалды токтың уақыттық диаграммасы.

Кезең. ЭҚК (кернеу немесе ток) айнымалысы шамасы және бағыты бойынша бір толық өзгеріс жасайтын (бір цикл) **кезең** деп аталады. Кезең T әрпімен белгіленеді және секундпен (с) өлшенеді.

Жиілік. 1 с жасалатын ЭҚК айнымалысының (кернеу немесе ток) толық өзгертулердің саны **жиілік** деп аталады. Жиілік f әрпімен белгіленеді және ол герцпен (Гц) өлшенеді. Үлкен жиіліктерді өлшегенде килогерц (кГц) және мегагерц (МГц) бірліктерімен пайдаланады.

$$1 \text{ кГц} = 1\,000 \text{ Гц}, \quad 1 \text{ МГц} = 1\,000 \text{ кГц}, \quad 1 \text{ кГц} = 1\,000\,000 \text{ Гц}.$$

Айнымалы токтың жиілігі неғұрлым көп болса, соғұрлым кезең қысқа болады. Сонымен, жиілік – кезеңге кері шама.

$$f = \frac{1}{T}$$

Магниттік өрісте орам айналған кезде оның бір айналымы 360° , немесе 2 радианға сәйкес болады. Осы орамның айналуының бұрыштық жылдамдығы радиан/секундына (рад/с) түрінде өрнектеледі. Және қатынасымен анықталады. Бұл шама бұрыштық жиілік деп аталады және әрпімен белгіленеді:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f.$$

Радиан секундына өрнектелген бұрыштық жиілігі герцпен өрнектелген токтың жиілігінен 2 есе көп.

Лездік және максималды мәндері. ЭҚК айнымалысының, ток күшінің, кернеудің және қуаттың уақыттың кез келген сәтіндегі шамаларды осы шамалардың **лездік мәндері** деп аталады. Және олар тиісінше жазба әріптерімен (e , i , u , p) ,белгіленеді және келесідей жазылады:

$$e = E_m \sin(\omega t + \Psi);$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi);$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \Psi);$$

$$p = P_m \sin(\omega t + \Psi).$$

Максималдық мәні. ЭҚК (кернеудің немесе токтың) айнымалысының максималдық мәні (амплитуда) деп ол бір кезеңнің ішінде жететін ең көп шама. ЭҚК максималдық мәні E_m , кернеудің – U_m , токтың - I_m белгіленеді.

Әрекеттегі шама. Айнымалы токтың әрекеттегі шамасы деп айнымалы ток өтетін бір уақытта тең кедергі арқылы өтіп, жылудың бірдей көлемін шығарады.

Айнымалы токтың тізбегіне қосылған электрөлшеуіш құралдары (амперметр, вольтметр) тиісінше токтың және кернеудің қолданыстағы мәндерін өлшейді.

Синусоидалды айнымалы тогы үшін қолданыстағы мәні максималдық мәніне 1,41 есе аз, яғни есе:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1,41} = I_m \cdot 0,707.$$

Осыған ұқсас ЭҚК айнымалысының қолданыстағы мәндері және кернеу олардың максималдық мәндері 1,41 есе аз.

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{1,41} = E_m \cdot 0,707;$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{1,41} = U_m \cdot 0,707.$$

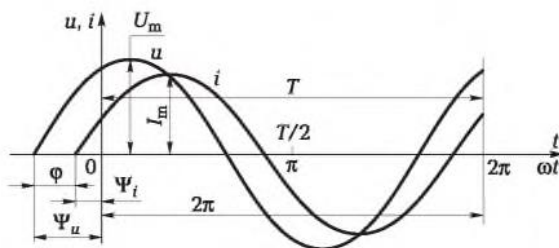
4.1.-мысал. Электр тізбегінің қысқыштарына қосылған вольтметр $U=36\text{В}$ қолданыстағы кернеуді көрсетеді. Осы айнымалы кернеудің максималдық мәні (амплитуда) есептелсін.

Шешімі:

Кернеудің максималдық мәні қолданыстағы мәнінен есе көп сондықтан:

$$U_m = U\sqrt{2} = 36 \cdot 1,41 \approx 50,8 \text{ В}.$$

Фазалардың ығысуы. Синусоидалды шамалардың (ЭҚК, кернеудің немесе тоқтың) екі және одан көп айнымалыларын салыстырғанда олардың уақыт ішінде әртүрлі өзгеретіндіктерін және уақыттың әртүрлі сәттерінде өзінің максималдық мәніне жететіндерін ескерген жөн. Фаза бойынша сәйкес келмейтін айнымалы токтың i және кернеудің u өзгеру графиктері 4.2.-суретінде көрсетілген.



4.2.-сурет. Фаза бойынша сәйкес келмейтін айнымалы токтың және кернеудің шамаларының өзгеру диаграммасы.

Кернеумен токтың арасындағы фазалардың ығысуы кернеудің бастапқы фазасынан токтың бастапқы фазасын шегеру арқылы анықталады:

$$\varphi = \Psi_U - \Psi_I$$



Есте сақтаңыз

- Егер $\varphi > 0$, болса, онда кернеу фаза бойынша токтан озады.
- Егер $\varphi < 0$, болса, онда кернеу фаза бойынша токтан кейін қалады.
- Егер $\varphi = 0$, болса, онда ток және кернеу фаза бойынша бір біріне сәйкес келеді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Айнымалы ток дегеніміз не?
2. Айнымалы ток жиілігінің өлшем бірліктері қандай?
3. Айнымалы токтың қандай мәнін амперметрлердің және вольтметрлердің шкалаларына жазады.
4. Кернеумен токтың арасындағы фазалардың ығысуы деген не?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Генератор уақыттың әр сәтінде өрістететін ЭҚК келесідей формуласымен анықталады.

ЭҚК бастапқы фазасын және оның $t = 0,15\text{с}$ болғанда мәнін анықтаңыз.

2. Генератордың қысқыштарындағы осцилографпен өлшенген ЭҚК ЭҚК нысаны – синусоидалды, максималдық мәні – 110В, жиілік – 400Гц және бастапқы фазасы - 30° . ЭҚК лездік мәнінің өрнегін жазыңыз.

3. Айнымалы токтың қысқыштарына қосылған вольтметрдің айнымалы кернеудің максималдық мәнін анықтаңыз, егер осы вольтметр 220В көрсететін болса.

4. Электр тізбегінде айнымалы ток өтеді. Әрекеттегі мәнін, жиілікті және токтың бастапқы фазасын табыңыз.

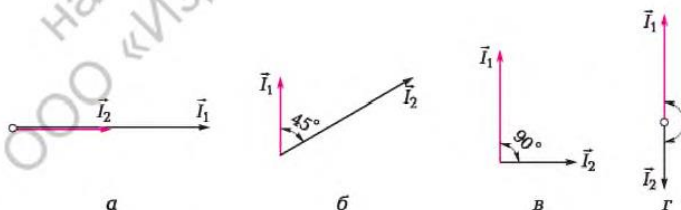
4.1.2. АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕКТЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕМДЕРДІҢ ВЕКТОРЛЫҚ КЕСКІНІ

Айнымалы токтың тізбектерін зерделеп, есептегенде синусоидалды ЭҚК, кернеу және токтар шартты түрде векторлар арқылы кескінделетін векторлық диаграммаларымен пайдаланған қолайлы болады.

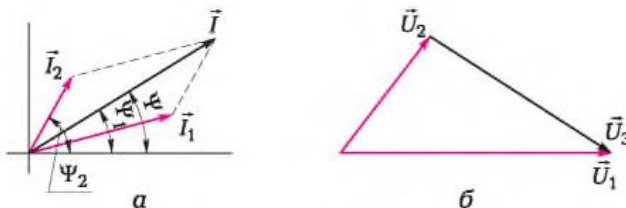
Фаза бойынша ығысуды ескеруімен және олар біркелкі сағат тіліне қарсы бұрыштық жылдамдығымен айналуын тұспалдап векторларды қозғалмайтын етіп кескіндейді. Вектордың осылайша айналған кезде оның тік осіне проекциясы уақытпен бастапқы фазасын ескеруімен синус заңы бойынша өзгереді.

Кернеудің ЭҚК және жиілігі бір токты кескіндейтін кеңістіктегі векторлардың жиынтығын **векторлық диаграмма** деп атайды.

0° , 45° , 90° және 180° -ға ығысқан екі токтардың векторлық диаграммалары тиісінше 4.3,а-г-суретінде көрсетілген. Аталмыш диаграммалардың қолданылуы тізбектердің зерделенуін және есептелуін жеңілдетеді және қарастырылып отырған ара-қатынастарына көрнекілікті енгізеді.



4.3.-сурет. Кернеу үшін векторлық диаграммалары фазалардың әртүрлі ығысуымен: а - 0° -қа, б - 45° -қа, в - 90° -қа, г- 180° -қа



4.4.-сурет. Векторларды азайту және қосу:

а- екі I_1 және I_2 векторларын қосу; б – екі U_1 және U_2 векторларын азайту

Векторларды қосу. Екі I_1 және I_2 векторлардың қосындысы деп жақтары болып қосылатын векторлары табылатын параллелограммның диагоналы болатын I үшінші векторы аталады. Егер екі U_1 және U_2 векторлары бір түзудің бойында орналасқан болса, онда осындай векторлардың қосындысы U векторымен өрнектелген олардың алгебралық қосындысына тең.

Векторларды азайту. U_1 векторынан (азайғыш) U_2 векторын (азайтқыш) азайту үшін U_1 векторына U_2 векторын қарама-қарсы бағытта қосу керек.

Егер екі U_1 және U_2 векторларында жалпы басы болатын болса, онда олардың геометриялық айырмасы азайтылатын вектордың ұшынан азайтылатын вектордың ұшына дейін келетін U_3 векторымен кескінделеді (4.4., б-сурет).

Векторды санға көбейту және бөлу. U_1 векторының m бүтін санға көбейтіндісі деп бағыты, егер $m > 0$ болғанда U_1 бағытымен бірдей, және оған қарама-қарсы, егер $m < 0$ болса, $m=0$ болғанда U_1 және m көбейтіндісі нольдік векторы болатын жаңа U_1 m векторы аталады.

Вектор U_1 санға бөлу үшін (нольге тең емес) осы векторды кері санға көбейтілсе жеткілікті болады:

$$\frac{\vec{U}_1}{m} = \frac{1}{m} \vec{U}_1.$$

Векторлық диаграммалар айнымалы токтың электр тізбектерін талдау үшін кеңінен пайдаланылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Векторлық диаграмма дегеніміз не?
2. Айнымалы токтың (кернеуі) қандай мәндері үшін векторлық диаграммалар тұрғызылады?
3. Айнымалы токтың, кернеудің, ЭҚК векторларының физикалық шамалардың векторларынан (күштің, жылдамдықтың, магниттік индукцияның және т.б.) айырмашылықтары қандай?

4.1.3. РЕЗИСТИВТІ ЭЛЕМЕНТІ БАР АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЭЛЕКТР ТІЗБЕГІ

Резистивті элемент (белсенді кедергі) – ішінде электрлік энергиясы пайдалы жұмысқа немесе жылу энергиясына айналатын элемент.

Айнымалы токтың тізбегіне (4.5,а-сурет) R резистивті элементі қосылған. Аталмыш тізбегінде айнымалы кернеудің әсерінен айнымалы ток өтеді. Тізбектің ішіндегі токтың өзгеруі Ом заңына сай оның қысқыштарына қосылған кернеудің өзгерулеріне байланысты. Кернеу нольге тең болғанда, тізбектің ішіндегі ток өседі. Және кернеудің максималды мәнінде ток ең көп болады. Кернеуді азайтқанда ток азаяды. Кернеу өзінің бағытын өзгерткенде ток та өзінің бағытын өзгертеді және т.б. резистивті элементі бар схемасындағы кернеудің және токтың лездік мәндерінің графигі 4.5,б-суретінде келтірілген.

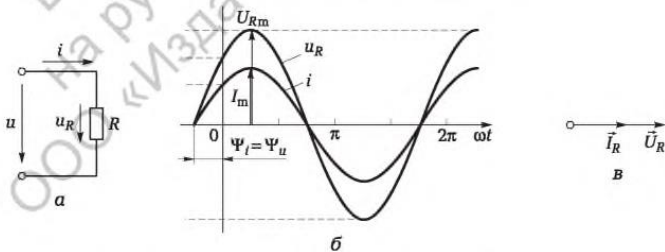
Айтылғандарды пайымдайтын болсақ, яғни, кедергісі белсенді айнымалы токтың тізбегінде кернеудің шамасына және бағытына қарай өзгерулері бойынша токтың шамасы да және бағыты да бір уақытта пропорционал өзгереді. Демек, ток және кернеу фазалары бойынша сәйкес келеді.

Тізбектегі токтың лездік мәні:

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i).$$

Резистивті элементінің қысқыштарындағы кернеу:

$$u_R = Ri = RI_m \sin(\omega t + \Psi_i) = U_{Rm} \sin(\omega t + \Psi_u).$$



4.5.-сурет. Резистивті элементі бар айнымалы токтың тізбегі: а – электрлік схемасы, б- кернеудің және токтың лездік мәндерінің графигі, в –векторлық диаграмма.

Резистордың қысқыштарындағы кернеудің амплитудты мәні:

$$U_{Rm} = RI_m.$$

Кернеудің және токтың бастапқы фазалары:

$$\Psi_u = \Psi_i.$$

Кернеумен және токтың арасындағы фазалардың ығысуы:

$$\varphi = \Psi_u - \Psi_i = 0.$$

Токтың және кернеудің қолданыстағы шамалардың резистивті элементі бар айнымалы токтың тізбегі үшін векторлық диаграммасы 4.5, в-суретінде келтірілген.

?

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Резистивті элемент дегеніміз не?
2. Резистивті элементті айнымалы токтың тізбегіне қосқандағы оның әсері қалай өрнектеледі?
3. Резистивті элементі бар айнымалы токтың тізбегінің кернеуімен токтың арасындағы фазалардың ығысуы неге тең?

4.1.4. ИНДУКТИВТІ ЭЛЕМЕНТІ БАР АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЭЛЕКТР ТІЗБЕГІ

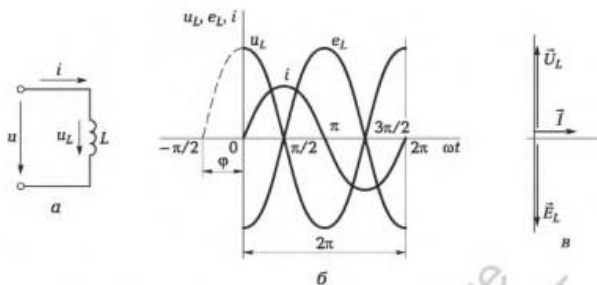
Индуктивтік шарғылар арқылы электр тогының өтуі магнит өрісінің пайда болуымен бірге жүреді. Белсенді кедергі іс жүзінде нөлге тең деп санауға болатын үлкен көлденең қимасына қатысты сым орамдарының шағын саны бар индуктивті шарғыны қамтитын айнымалы токтың электр тізбегін (сур. 4.6, а) қараңыз.

Генератордың ЭҚК-і әсерінен тізбекте айнымалы ток магнит ағынының қоздыратын айнымалы ток ағады. Бұл ағым индуктивті шарғы орамдарын кесіп өтеді, және онда өзіндік индукцияның ЭҚК-і пайда болады:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t},$$

бұл жерде L - шарғының индуктивтілігі, Гн; $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ - ондағы ток жылдамдығының өзгеруі, А/с.

Ленц ережесіне сәйкес өзіндік индукциясының электр қозғалтқыш күші әрқашан оны тудыратын себепке, яғни генератордың ЭҚК-нен тудырған айнымалы токтың өзгеруіне, қарсы тұрады.



4.6. сурет. Индуктивті шарғысы бар айнымалы токтың тізбегі: а- электр схемасы; б-ток және кернеудің лездік мәндерінің кестесі; в- векторлық диаграмма.

Есептеулерде бұл X_L арқылы белгіленіп және ом (Om) арқылы өлшенетін индуктивтік кедергі ретінде ескеріледі.

Индуктивті шарғының X_L индуктивті кедергісі өзіндік индукцияның ЭҚК шамасына, индуктивті шарғыдағы токтың өзгеру жылдамдығына (f айнымалы токтың жиілігі) және индуктивті шарғының индуктивтілігіне тәуелді:

$$X_L = 2\pi fL = \omega L,$$

бұл жерде: f - айнымалы токтың жиілігі, Гц; L - индуктивті шарғының индуктивтілігі, Гн; ω - айнымалы токтың бұрыштық жиілігі, рад/с.

4.2. мысал: Индуктивтілігі $L=0,5$ Гн индуктивтік шарғы жиілігі $f = 50$ Гц айнымалы ток көзіне қосылған.

1) $f = 50$ Гц жиілігіндегі шарғының индуктивті кедергісін табу керек;

2) $f = 800$ Гц-ке тең осы шарғының айнымалы токқа индуктивті кедергісін табу керек.

Шешімі:

$f = 50$ Гц жиілігіндегі шарғының индуктивті кедергісі:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5 = 157 \text{ Ом.}$$

$f = 800$ Гц-ке тең осы шарғының айнымалы токқа индуктивті кедергісі:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 800 \cdot 0,5 = 2512 \text{ Ом.}$$

Есте сақтаңыз!

■ Индуктивті шарғының индуктивті кедергісі онымен өтетін айнымалы токтың жиілігінің арттыруымен өседі. Токтың жиілігі төмендеген сайын индуктивтік кедергі азаяды.

■ Индуктивті шарғыдағы ток өзгермеген және магниттік ағым оның орамдарын кеспеген жағдайында, тұрақты ток үшін өзіндік индукцияның ЭҚК-і пайда болмайды және шарғының индуктивті кедергісі X_L нөлге тең болады.

■ Индуктивті шарғының индуктивтілігі өзгеріссіз кезінде өзіндік индукцияның ЭҚК-і ток күшінің өзгеру жылдамдығына тәуелді болмайды және оны туындатқан себепке әрқашан бағытталады.

4.6, б кестесінде айнымалы ток i синусоид түрінде көрсетілді. Периодтың бірінші ширегінде ток күші i нөлден ең жоғарғы мәнге дейін артады. Ленц ережесіне сәйкес өзіндік индукцияның электр қозғалтқыш күші e_L тізбектегі токтың ұлғаюына жол бермейді. Сол кездегі e_L теріс мәні кестеде көрсетілді. Периодтың екінші ширегінде индуктивті шарғыдағы ток күші нөлге дейін азаяды. Бұл кезде өзіндік индукцияның ЭҚК ток күшінің кемуіне қарсыласып бағытын өзгертеді және артады.

Тізбектегі токтың және өзіндік индукцияның ЭҚК фазамен сәйкес келмеуін кестеден көруге болады (4.6, б суретті қараңыз). Ток өзіндік индукцияның ЭҚК-і фаза бойынша периодтың ширегіне немесе $j = 90^\circ$ бұрышына озады және әр уақыт сәтінде өзіндік индукцияның ЭҚК-і генератор кернеуіне u бағытталады. Осыған байланысты, индуктивті шарғыдағы кернеу u_L және өзіндік индукцияның ЭҚК e_L фаза бойынша бір біріне қатысты 180° -қа ауысты.

Есте сақтаңыз!

• Тек қана индуктивтілігі бар айнымалы ток тізбегінде ток генератор шығаратын кернеуден $j = 90^\circ$ бұрышына (периодтың ширегіне) кейіндейді және өзіндік индукцияның ЭҚК –ін 90° -қа озады.

• Фаза бойынша кернеу токты 90° -қа озады (4.6, б сурет)

4.6, в суретте токтың векторлық диаграммасы және индуктивті кедергісі бар айнымалы ток тізбегіндегі кернеу көрсетілген.

Айнымалы токтың электр тізбегі үшін $i = I_m \sin \omega t$ және индуктивтілігі L индуктивті шарғы қысқыштарындағы кернеу

$$u_L = -e_L = \omega L I_m \sin(\omega t + \pi/2) = X_L I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

формуласымен табылады.

Белсенділікпен салыстырғанда, индуктивті жүктеме генератор шығаратын энергияны орта есеппен пайдаланбайды. Ал индуктивті тізбекте энергияны генератордан индуктивті жүктемеге «қайта айдауы» және кері «айдауы», яғни энергияның тербелістері пайда болады.

Есте сақтаңыз!

Индуктивті кедергі реактивті болады. Реактивті кедергісі бар тізбекте энергияның тербелісі генератордан жүктемеге және кері болады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Индуктивті шарғының индуктивті кедергісі неге байланысты?
2. Айнымалы ток жиілігі өскен жағдайда индуктивті шарғының индуктивті кедергісі қалай өзгереді?
3. Тек қана индуктивтілігі бар айнымалы ток тізбегінде генератор өңдейтін кернеуден ток $j = 90^\circ$ қа неге қалыс қалады ?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Генератордың жиілігі 50, 100, 150, 200 және 400 Гц болған жағдайда, айнымалы ток тізбегіне қосылған индуктивтілігі $L = 10 \text{ мГн}$ индуктивті шарғының индуктивті кедергісін табыңыз. $X_L = f(\omega)$ Тәуелділік кестесін құрыңыз. Нәтижесін түсіндіріңіз.
2. Егер $u = 10 \sin \omega t$; $X_L = 5 \text{ Ом}$ болса, электр тізбегіндегі токтың i өрнегін жазыңыз (4.6,а суретін қараңыз).

4.1.5. СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ЭЛЕМЕНТІ БАР АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЭЛЕКТР ТІЗБЕГІ

Электр сыйымдылығы (конденсаторы) қосылған айнымалы ток тізбегін қарап шығайық. Бұл тізбектің белсенді кедергісі ескерілмейді ($R = 0$).

$$I = \omega C U_C \quad \text{или} \quad I = \frac{U_C}{X_C}$$

(немесе)

Сыйымдылығы бар тізбекке қосылған айнымалы ток генераторының қысқыштар полярылығы $\omega = 2\pi f$. Периодтың бірінші ширегінде (4.7, б) конденсатор зарядтайды және оның тілімшелерінде таңба бойынша қарама-қарсы электрлік зарядтар («+» сол тілімшесінде, «-» -оң тілімшесінде) пайда болады.



4.7. сурет. Сыйымдылық элементі бар айнымалы ток тізбегі:

а- электр схемасы; б- кернеу және токтың лездік мәні; в- векторлық диаграмма.

Периодтың екінші ширегінде генератор кернеуі бірте-бірте азаяды және нөлге тең болады. Осы кезде конденсатор разрядталады. Сымдардан ағатын разрядтық ток заряд ток бағытына қарама-қарсы бағытта болады және т.б. Айнымалы кернеуді өзгерудің бір кезеңінде, зарядтау мен разрядтау процесі екі рет жүреді. Сонымен қатар, айнымалы ток оның тізбегінде ағады. Конденсатордың зарядталу және разрядталу кезінде конденсатор тізбегіндегі ток және кернеу фаза бойымен сәйкес келмейді. Ток кернеуден фаза бойымен периодтың ширегіне, яғни 90° -қа алда болады. 4.7, в суретте сыйымдылығы бар айнымалы ток тізбегінің векторлық диаграммасы көрсетілген.

Сыйымдылығы бар айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңын келесі формуламен белгілеуге болады.

Бұл жерде X_C - конденсатордың электр өрісіне энергия жиналу процесін сипаттайтын сыйымдылық кедергісі, $X_C = 1/\omega C$.

4.3.мысал. Сыйымдылығы $C = 4\text{мкФ}$ конденсатор жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне қосылған.

1) Жиілігі $f = 50\text{ Гц}$ –гі конденсатордың сыйымдылық кедергісін табу керек.

2) Осы конденсатордың жиілігі 50Гц -ке тең айнымалы тоғына сыйымдылық кедергісін табу керек.

Шешімі:

Конденсатордың жиілігі 50Гц -ке тең айнымалы тоғына сыйымдылық кедергісі:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1\,000\,000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4} = 796\text{ Ом.}$$

$f = 500\text{ Гц}$ –гі жиілікте:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1\,000\,000}{2 \cdot 3,14 \cdot 500 \cdot 4} = 79,6\text{ Ом.}$$

Есте сақтаңыз!

Конденсатормен айнымалы токқа көрсетілетін кедергі конденсатор сыйымдылығынан және ток жиілігінен тәуелді. Конденсатор сыйымдылығы аз және қоректендіруші ток жиілігі төмен болған сайын, сыйымдылық кедергісі арта береді.

Конденсаторлардың төмен жиілікті токтарға үлкен кедергі көрсету және жоғары жиілікті токтарды жеңіл өткізу қасиеті радиоэлектронды схемаларда кеңінен пайдаланады. Мысалы, конденсаторлар көмегімен жоғары электр токтарының және токтардың жоғары жиіліктегі токтардан бөлінуі радиоэлектрондық схемаларын пайдалану үшін қажет. Сыйымдылық пен белсенді кедергілер арасындағы айтарлықтай айырмашылық бар екенін атап кету керек. Белгілі болғандай, белсенді жүктеме айнымалы ток генераторының энергиясын қайтарымсыз пайдаланады. Айнымалы ток көзіне сыйымдылық қосылған кезінде, генератордың энергияны конденсатор зарядталғанда - тілімшелердің арасында электр өрісін тудыру үшін және конденсатор разрядталғанда- генераторға кері қайтару үшін жұмсалады. Сыйымдылық жүктемесі генератордың энергиясын пайдаланбайды. Керісінше, сыйымдылығы бар тізбекте энергия генератордан конденсаторға барып және кері қайтады. Осы себеппен, сыйымдылық кедергісі идуктивтік сияқты **реактивті** деп аталады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Конденсатордың сыйымдылық кедергісі неге тәуелді?
2. Айнымалы ток жиілігі өскен сайын конденсатордың сыйымдылық кедергісі қалай өзгереді?
3. Неліктен конденсатордың сыйымдылық кедергісі реактивті деп аталады?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Егер кернеу мәні $u_C = 60 \sin(\omega t - 90^\circ)$, $X_C = 20$ Ом болса, электр тізбегіндегі токтың i өрнегін жазыңыз.
2. Генератордың жиілігі 50, 100, 150, 200 және 400 Гц болған жағдайда, айнымалы ток тізбегіне қосылған сыйымдылығы $C = 100$ мкФ конденсатордың сыйымдылық кедергісін табыңыз. $X_L = f(\omega)$ тәуелділік кестесін құрыңыз. Нәтижесін түсіндіріңіз.

4.1.6. БЕЛСЕНДІ, ИНДУКТИВТІ ЖӘНЕ СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ КЕДЕРГІЛІ АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІ

Айнымалы ток тізбектерді, сондай-ақ, тұрақты ток тізбектерін есептеу кезінде Ом және Кирхгоф заңдары қолданылады. Осы заңдардың қолданылуындағы айырмашылық *айнымалы ток тізбектерінде токтар мен кернеулер арасындағы бұрыштарын фазалық ауысу деп ескеру қажет.*

4.8, а суретте тізбекті түрде белсенді кедергі R , индуктивті кедергіге X_L ие индуктивтілік L және сыйымдылық C қосылған айнымалы ток тізбегі көрсетілген.

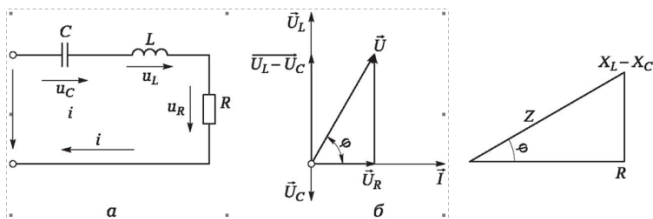
Айнымалы кернеуінің u әсерінен бұл тізбекпен айнымалы ток i өтеді. Ом заңына сәйкес тізбектің әрбір элементіндегі кернеудің төмендеуін анықтаймыз:

$$U_R = IR; \quad U_L = IX_L; \quad U_C = IX_C.$$

Бұл кернеудің төмендеуі тізбектің жалпы тогына I қатысты фазалық ауысым бұрыштарына ие.

Келтірілген тізбектегі ток және кернеулердің векторлық диаграммасын құрайық (4.8-сурет, б). Кедергілер дұрыс қосылғандықтан, оларда бірдей ток өтеді. I ток векторын таңдалған масштабтағы көлденең бойымен сызамыз. Белсенді кедергісі бар тізбекте ток және кернеу фазада сәйкес келеді. Сондықтан кернеу векторын U_R ток векторы I бойлай кернеу векторын U_R сызылады.

Индуктивтіліктегі кернеу токтан $j = 90^\circ$ бұрышпен озық болады. Сондықтан U_L векторы 90° бұрышпен жоғары ток векторға дейін сызылады. Керісінше, сыйымдылығы бар тізбекте кернеу токтан $j = 90^\circ$ бұрышқа артта қалады. Сондықтан U_C вектор 90° бұрышпен токтағы векторға I дейін диаграмма бойымен төмендетіледі.



4.8. Кедергісі, индуктивтілігі және сыйымдылығы тізбекті түрде қосылған айнымалы ток тізбегі:

a- электр схемасы; *б*- векторлық диаграмма; *в*- кедергілер үшбұрышы.

Тізбектің қысқыштарына қосылған жалпы кернеуді анықтау үшін U_L және U_C векторларын қосамыз. Бұл үшін U_L үлкен векторынан U_C векторы алып, осы екі кернеулердің векторлық сомасын білдіретін векторды $(U_L - U_C)$ табамыз. Енді $(U_L - U_C)$ және U_R векторларды қосамыз.

Осы векторлардың сомасы параллелограммның диагоналі болады – тізбек қысқыштарындағы жалпы кернеуі болып табылатын U векторы:

$$U = \sqrt{U_R + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Белсенді кедергісі, индуктивтілігі және сыйымдылығы бар айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2};$$

$$Z = \frac{U}{I}.$$

Тізбектің толық өткізгіштігі:

$$Y = \frac{1}{Z}.$$

Ток және тізбек кернеуінің арасындағы фазалардың жылжу бұрышы тригонометриялық функциялармен табылады:

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z};$$

$$\sin \varphi = \frac{U_L - U_C}{U} = \frac{X_L - X_C}{Z}.$$

Егер $X_L > X_C$ болса, кернеу векторы U ток векторынан I озады, ал $X_L < X_C$ болса, токтан I кейін қалады.

4.8, в суретте кедергілер үшбұрышы көрсетілген.

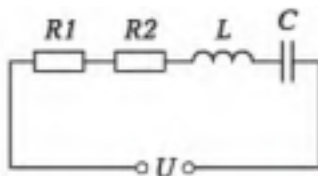
4.4. мысал: суретте көрсетілген кернеуі $U = 220$ В-қа тең электр тізбекке тізбекті түрде $R_1 = 5$ Ом белсенді кедергісі бар резистор, белсенді кедергісі $R_2 = 3$ Ом болатын және индуктивті кедергісі $X_L = 4$ Ом болатын индуктивті шарғы L , сыйымдылық кедергісі $X_C = 10$ Ом болатын конденсатор C қосылған. Тізбектің жеке элементтеріндегі кернеуді және тізбектегі токты анықтаңыз. Векторлық диаграмманы салыңыз.

Шешімі:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(5 + 3)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом.}$$

Тізбектегі ток:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А.}$$



Тізбектің жеке элементтеріндегі кернеуі:

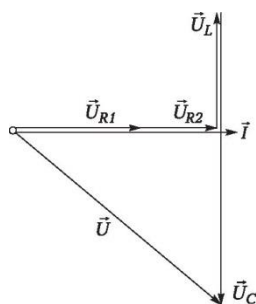
$$U_{R1} = I R_1 = 22 \cdot 5 = 110 \text{ В;}$$

$$U_{R2} = I R_2 = 22 \cdot 3 = 66 \text{ В;}$$

$$U_L = I X_L = 22 \cdot 4 = 88 \text{ В;}$$

$$U_C = I X_C = 22 \cdot 10 = 220 \text{ В.}$$

Векторлық диаграмма төменгі суретте берілген:

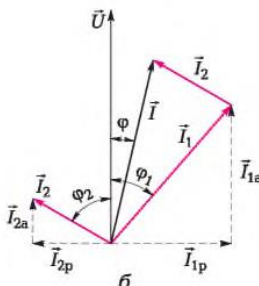
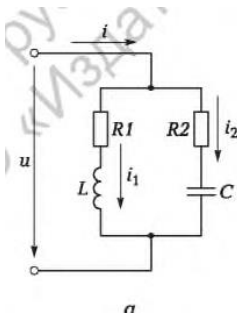


$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A.}$$

$u = U_m \sin \omega t$ синусоидальды кернеу көзінің қысқыштарына параллель жалғанған екі қабылдағыштан тұратын электр тізбегін қарастырайық (4.9 а суреті). Бірінші қабылдағышқа $R1$ және L элементтері, ал екіншіге оған сәйкес $R2$ және C тізбекті түрде қосылған. Екі қабылдағыш бір жалпы кернеумен жұмыс істейді. Бірінші және екінші тармақтардың токтың лездік мәндері үшін өрнектерді жазамыз:

$$i = I_m \sin(\omega t - \phi);$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \phi_2).$$



4.9. сурет. Параллельді жалғанған элементтері бар айнымалы ток тізбегі:

а- электр схемасы; *б*- векторлық диаграмма.

Индуктивті шарғы бірінші тармаққа, ал екінші тармаққа конденсатор енгізілгендіктен электр тізбектері тиісінше индуктивті және сыйымдылық сипатта болады.

Токтың I және j бұрыш косинусын тиімді мәні келесі өрнектерден анықталады:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}, \quad \cos \varphi_1 = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + X_C^2}} \text{ (для первой ветви);}$$

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}, \quad \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_C^2}} \text{ (для второй ветви).}$$

Тізбектің тармақталмаған жеріндегі токтың I мәнін тармақтардағы токтардың геометриялық сомасы деп анықталады. Яғни $I = I_1 + I_2$.

Векторлық диаграмма 4.9, б суретте көрсетілген. Тармақтардан өтетін токтар белсенді I_a және реактивті I_p токтардан тұрып, тиісінше индуктивті және сыйымдылық сипатта болады. Белсенді құрамдас тармақ белсенді өткізгіштігімен сипатталады.

$$q_1 = R_1 / Z_1^2$$

Реактивті құрамдас тармақ реактивті өткізгіштігімен b_L сипатталады.. Бірінші тармақ үшін реактивті өткізгіштігі

$$b_L = \omega L / R_1^2 + (\omega L)^2$$

Реактивті өткізгіштік b_L реактивті кедергісіне кері шама болмайды. Өйткені оны айқындау кезінде тармақтың белсенді кедергісі есепке алынады. Тармақтың толық өткізгіштігі

$$Y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_L^2}.$$

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Айнымалы ток тізбектерді есептеу кезінде қандай заңдар қолданылады?
2. Айнымалы ток тізбегін есептеу мен тұрақты ток тізбегін есептеу арасындағы негізгі айырмашылық қандай?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Индуктивті кедергісі $X_L = 8$ Ом, ал шарғының белсенді кедергісі $R = 6$ Ом болған жағдайдағы, ішінен ток өтетін индуктивті шарғының қысқыштарына жалғану қажетті кернеуді есептеңіз. Кернеулердің векторлық диаграммасын құрыңыз.

2. Индуктивті шарғының белсенді кедергісіндегі кернеудің төмендеуі $U_R = 36$ В. Оның қысқыштарындағы жалпы кедергі $U=60$ В. Ток және тізбектегі кернеу арасындағы фазаның ауысым бұрышын анықтаңыз.

3. $R = 10$ Ом белсенді кедергісінен, $X_C = 8$ Ом сыйымдылық кедергісінен және $X_L = 6$ Ом индуктивті кедергісі бар индуктивті конденсатордан тұратын айнымалы токтың электр тізбегінің жалпы кедергісін есептеңіз.

4. $L = 10$ мГн индуктивтілігімен индуктивті шарғыдан және $C = 5$ мкФ сыйымдылығы бар конденсатордан тұратын айнымалы токтың электр тізбегінің жалпы кедергісін анықтаңыз. Электр тізбектегі айнымалы токтың жиілігі f **50Гц-ке тең.**

4.1.7. КЕРНЕУ РЕЗОНАНСЫ

Белсенді, индуктивті және сыйымдылыққа ие кедергісі бар айнымалы ток тізбегінде (сурет 4.10, а) кернеулердің резонансы орын алуы мүмкін.

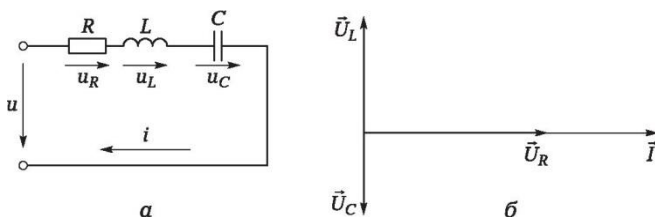
Кернеулер резонансы индуктивті қарсылық X_L және X_C сыйымдылықтарының кедергісі бір-біріне тең болғанда пайда болады. Яғни,

$$X_L = X_C.$$

Бұл кедергілер жиілікке байланысты болғандықтан, резонанс белгілі резонанстық жиілікте ω_0 орын алады:

$$\frac{1}{\omega_0 C} = \omega_0 L; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Берілген жиілік ω кезінде кернеулердің резонансы L және C өзгерген кезде қол жеткізуге болуы мүмкін.



4.10. Кернеу резонансындағы айнымалы ток тізбегі:
а-электр схемасы; б- векторная диаграмма.

Тізбек резонансқа келтірмесе, оның толық кедергісі:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Қарастырылған тізбектегі кернеулердің резонансы кезінде $X_L = X_C$, оның толық кедергісі:

$$Z = \sqrt{R^2} = R.$$



Есте сақтаңыз

■ Кернеу резонансындағы тізбектің толық кедергісі белсенді кедергіге R тең.

■ Резонанстағы ток пен кернеу арасындағы фазалық ауысу бұрышы нөлге тең. Бұл ток пен кернеу фазада сәйкес келеді (белсенді кедергісі бар тізбектегідей).

Тізбектің толық кедергісінің азаюы ондағы ток күшінің өсуіне әкеледі. Тізбекке қосылған айнымалы ток генераторының кернеуі белсенді кедергіде жұмсалады

$$U_R = IR.$$

Индуктивтіліктегі және сыйымдылықтағы кернеу Ом заңына сәйкес анықталады. Тізбекті түрде қосылған кедергілерде бірдей ток ағуына және резонанстағы индуктивті кедергісіне $X_L = X_C$ байланысты, индуктивтіліктегі және сыйымдылықтағы кернеулер де тең:

$$U_L = U_C = IX_L = IX_C = I \omega L = 1 / \omega C.$$

4.10, б суретте кернеу резонансындағы тізбек үшін қарастырылған векторлық диаграмм көрсетілді. Векторлық диаграммада индуктивтілік пен сыйымдылық кернеуінің теңдігі, фаза бойымен 180° -қа бір-біріне қатысты жылжуы және өзара өтетіні көрсетілген.

Егер бір уақытта, резонанс шарттарын бұзбай, екі реактивті кедергілерді X_L және X_C көбейтсе, онда U_L және U_C екі ішінара кернеулер сәйкесінше артады. Және бұл кезде тізбектегі ток күші өзгермейді. Осылайша, тізбек қысқыштарындағы кернеуден U бірнеше есе көп U_L және U_C алуға болады. Сондықтан кернеулердің резонансы электр станциялары үшін қауіпті құбылыс болып табылады.

Жоғары қуатты электр қондырғыларында кенеттен пайда болатын кернеулердің резонансы, мысалы, сыйымдылық кедергі өзгеруімен қауіпті асқынуларға алып келуі мүмкін және төтенше жағдай ретінде қарастырылады. Байланыс және автоматтандыру технологиясында

кернеудің резонанстық құбылысы белгілі бір жиілікте қабылдау және беру құрылғысын реттеу үшін кеңінен қолданылады.

4.5. мысал: Ауыспалы ток тізбегіндегі тізбекті түрде белсенді кедергі $R = 3 \text{ Ом}$, индуктивтілік $L = 0.005 \text{ Гц}$ және сыйымдылық $C = 63.5 \text{ мкФ}$ сериясы біріктіріледі. Тізбекке қосылған генератор ауыспалы кернеу резонанстық жиілігі $f = 285 \text{ Гц}$ ауыспалы кернеу $U = 2,5 \text{ В}$ шығарады. Индуктивті және сыйымдылық кедергіні, тізбектегі толық кедергіні, тізбекте өтетін токты, сыйымдылық пен индуктивтіліктегі кернеуді анықтау керек.

Шешуі:

Индуктивті кедергі: $X_L = \omega L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 285 \cdot 0,005 = 8,9 \text{ Ом}$.

Сыйымдылық кедергі: $X_C = 1/\omega C = 1000 \text{ } 000 / (2 \cdot 3,14 \cdot 285 \cdot 63,5) = 8,9 \text{ м}$.

Индуктивті кедергі сыйымдылық кедергісіне тең, сондықтан тізбекте кернеу резонансы туады.

Кернеу резонансындағы тізбектің толық кедергісі

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3^2 + (8,9 - 8,9)^2} = 3$$

Ом.

Тізбектегі ток күші

$$I = U / R = 2,5 / 3 = 0,83 \text{ А}.$$

Индуктивтіліктегі кернеу

$$U_L = IX_L = 0,83 \cdot 8,9 = 7,4 \text{ В}.$$

Сыйымдылықтағы кернеу

$$U_C = IX_C = 0,83 \cdot 8,9 = 7,4 \text{ В}.$$

Мысалдан көрініп тұрғандай, резонанстық режимде индуктивтілік пен сыйымдылық кернеуі тең және генератордың кернеуінен асып түседі.

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Кернеу резонансы дегеніміз не?
2. Кернеу резонансындағы тізбектегі толық кедергі қандай?
3. Кернеу резонансындағы ток пен кернеу арасындағы фазалық жылжудың бұрышы қандай?
4. Кернеу резонансының техникадағы қауіпі қандай?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Электр тізбегі (4.10-суретті қараңыз) мынадай параметрлерге ие: $U = 100 \text{ В}$, $R = 10 \text{ Ом}$, $X_L = 20 \text{ Ом}$. Резонанс кезінде конденсатордағы кернеуді анықтаңыз.

2. Электр тізбегі мынадай параметрлерге ие: $U = 200 \text{ В}$, $R = 100 \text{ Ом}$, $X_L = X_C = 20 \text{ Ом}$. Электр тізбегіндегі тоқты табыңыз.

3. 50 Гц жиілікте X_L кедергісі X_C -ден төрт есе аз (диаграмманы 4.10-суретте қараңыз). Тізбекте резонанс орын алуы үшін, қуат кернеуінің жиілігін қалай өзгертетінін табыңыз.

4.1.8. ТОК РЕЗОНАНСЫ

Индуктивтіліктің L , сыйымдылығы C және қарсылық R параллельді жалғанған айнымалы ток тізбегінде (сурет 4.11, а) реактивті кедергілер бірдей болған жағдайда резонансты токтар пайда болуы мүмкін:

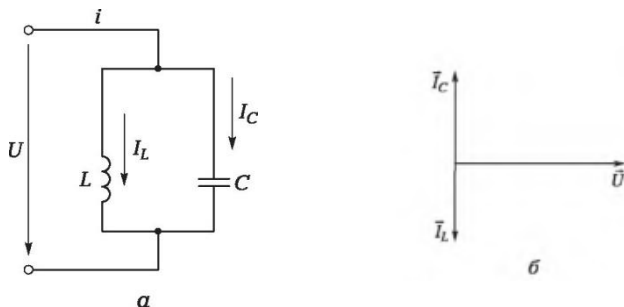
$$X_L = X_C$$

Резонанстағы ток $I = U / R$ ең төменгі мәніне, ал $\cos \varphi = 1$, яғни ең жоғарғы мәніне жетеді.

Резонанстық жиіліктің мәні келесі формуласымен берілген:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Формула бойынша контурдың сыйымдылығын немесе индуктивтілігін өзгерту арқылы еркін тербеліс жиілігін өзгертуге (реттеуге) болады. Яғни контурды белгілі бір жиілікке реттеуге толық мүмкіндік бар. Токтардың резонанс режиміндегі векторлық диаграммасы 4.11, б. суретте көрсетілген.



4.11.сурет. Ток резонансындағы айнымалы ток тізбегі:

а- электр схема; *б*- векторлық диаграмма.

Тербеліс контурында пайда болатын еркін электрлік тербелістер үнемі әлсірейді. Қосылуға арналған сымдарды және индуктивті шарғыны жасайтын сымдарды жылытуына жұмсалатын энергия контурдағы электр ток өткенде, ондағы тербелістің әлсіреуін түсіндіреді.

Контурдағы энергия жоғалуы еркін тербеліс амплитудасының біртіндеп төмендеуіне және олардың толық тоқтауына себеп болады. Контурдағы тербелістердің әлсіреу жылдамдығы оның ішіндегі энергиясын жоғалтуымен байланысты және контурдың кедергісіне тәуелді. Электр тізбегіндегі ауытқулардың демалу жылдамдығы онда энергияның жоғалуымен байланысты және тізбектің кедергісіне байланысты болады.

Есте сақтаңыз!

- L және C бар тармақтардағы токтар ток резонансы кезінде тізбектегі жалпы токтан үлкен болуы мүмкін.
- Индуктивті және сыйымдылықты токтар фаза бойынша қарама- қарсы, мәні бойынша тең және энергия көзіне өзара өтеледі. Яғни индуктивті шарғылар мен конденсаторлар арасында энергия алмасуы өтеді.
- Ток резонансындағы тізбектің реактивті қуаты нөлге тең. Өйткені I_L және I_C тең және қарсы бағытталған. Басқаша айтқанда, индуктивтілік катушкаларда тұтынылатын реактивті қуат конденсаторда жинақталған реактивті қуатқа тең.

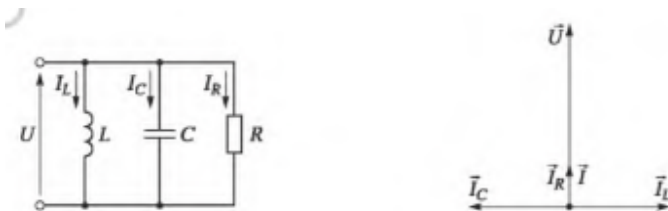
Электр токтарының резонансы нәтижесінде электр тізбегіндегі жалпы ток салыстырмалы түрде аз болуы мүмкін. Және электрлік тербелістер орын алған индуктивтілік пен сыйымдылықтың тармақтарында айнымалы ток жалпы токпен салыстырғанда әлдеқайда көп болады.

4.6. мысал. Суреттегі сол жақта көрсетілген тармақталған тізбек келесі параметрлерге ие: $X_L = X_C = 10 \text{ Ом}$, $R = 40 \text{ Ом}$, $U = 120 \text{ В}$. Тармақтардағы токтарды және тізбектегі жалпы токты пайдаланып векторлық диаграмманы құрыңыз.

Шешімі:

Тармақтардағы токтарды анықтап алайық:

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{120}{10} = 12 \text{ А}; \quad I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{120}{10} = 12 \text{ А}; \quad I_R = \frac{U}{X_R} = \frac{120}{40} = 3 \text{ А}.$$



Тізбектің жалпы тоғын есептейік:

$$I = I_R = 3 \text{ А}.$$

Векторлық диаграмма суреттің оң жағында.

Токтардың резонансындағы жалпы ток тізбегі реактивті элементтері бар тармақтардағы токтан 4 есе аз.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қандай жағдайда токтардың резонансы орын алады?
2. Контурдағы тербелістердің әлсіреу жылдамдығы неге байланысты?
3. Электр токтарының резонансындағы тізбектің реактивті қуаты қандай?

4.1.9. АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНІҢ ҚУАТЫ

Айнымалы ток генераторының толық қуаты ток пен кернеудің көбейтіндісімен анықталады.

$$S = IU,$$

мұнда I — генератордың A орамасына есептелген әрекет ететін ток күші; U — генератор кернеуінің әрекет етуші мәні.

Айнымалы ток генераторының өлшемдері есептелетін толық қуатқа тәуелді. Бұл сым орамының көлденең қимасы -ток күшімен, ал оқшалау жуандығы және орамасының орам саны- генератор өндейтін кернеумен анықталуымен байланысты.

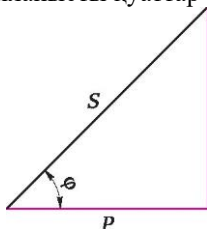
Белсенді кедергісіне R және реактивті кедергісіне (X_L және X_C) ие тізбекке қосылған айнымалы ток генераторының толық қуаты, белсенді кедергіде жұмсалатын R , қуаттан және қуаттың реактивті бөлігінен тұрады.

Есте сақтаңыз!

- Белсенді кедергіде жұмсалатын қуат пайдалы жұмысқа немесе кеңістікке таратылған жылуға түрленеді.
- Қуаттың реактивті бөлігі магниттік және электр өрістерінің құрылуындағы және жоғалуындағы энергия тербелістеріне негізделген.

Индуктивті және сыйымдылық кедергісіне ие. Реактивті қабылдағыш және генератор арасында өтетін, реактивті токтар желіні және генераторды пайдасыз жүктеп, энергияны қосымша жоғалуын тудырады.

Толық, белсенді және реактивті қуаттардың арасындағы байланысты қуаттар үшбұрышынан анықтауға болады (4.12. сурет).



4.12. сурет. R , L және C —ға ие айнымалы ток тізбегінің қуаттар үшбұрышы.

Белсенді қуат, Вт,

$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi.$$

Реактивті қуат, вар, $Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi$.

Реактивті қуаттың бірлігі- реактивті вольт-ампер(вар).

Толық қуат, В•А

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Жалпы қуаттың қандай бөлігі белсенді (пайдалы) және қандай бөлігі реактивті (пайдасыз) қуат ретінде пайдаланылатынын білу үшін белсенді қуатты (P) толық (S) бөлу керек. Қуат үшбұрышынан осы коэффициент берілген тізбектегі ток пен кернеу арасындағы фазалық жылжу бұрыштың косинусымен сипатталады:

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi$$

Осылайша, $\cos \varphi$ - **айнымалы ток қуатының коэффициенті** болып табылады .

Белсенді кедергісі бар айнымалы ток тізбегінде ток және кернеу фазада және фаза ауысымының $\varphi = 0$ тең бұрышына, $\cos \varphi = 1$ сәйкес келеді. $\cos \varphi = 1$, осындай тізбек үшін белсенді қуат жалпы қуатқа тең болады. Бұл жағдайда генератордың барлық қуаты пайдалы жұмыс үшін жұмсалады.

Ток пен кернеу арасындағы фаза ауысымының бұрышы φ электр тізбегіне қосылған белсенді және реактивті кедергілер арасындағы ара қатынасына байланысты.

Белсенді кедергінің артуы фаза ауысымының бұрышының төмендеуі неге осы бұрыштың косинусының өсуіне және қуат коэффициентінің өсуіне әкеледі. Тізбекке қосылған индуктивті жүктеме керісінше фаза ауысымының бұрышын арттырады. Және осылай қуат коэффициентін төмендетеді. Қуат коэффициентінің төмен болуы себебі станоктардың электрқозғалтқыш немесе машиналардың жұмыстары бос болуымен байланысты. Станокта кішігірім бөлшектері жоғары қуатта өңделуімен байланысты станоктың жүктемесінің жетіспеуі, станокта орнатылған қозғалтқыштың қуатын дұрыс таңдалмауы, қозғалтқыш жөнделудің сапасының төмен болуы және де нашар майлаудың салдарынан осындай қиын жағдайға жетеді.

Қозғалтқыштың қалыпты жүктеме кезінде оның қуат коэффициенті 0,83 - 0,85 құрайды. Қозғалтқыштың бос жұмысында қуат коэффициенті төмендейді және 0,1-0,3 құрайды.

Қуат коэффициентін арттыру үшін индуктивті жүктемеге параллельді конденсаторлар қосылады. Бұл конденсаторлардың сыйымдылық кедергісі индуктивті кедергіге шамамен тең болатындай етіп таңдалады. Бұл жағдайда сыйымдылық ток индуктивті токқа

шамамен тең болады. Сонда, ток пен кернеу арасындағы фаза ауысымының бұрышы азайып, ал қуат коэффициенті 0,85-0,9-ға дейін арттады.

4.7. мысал. Қуаттың белсенді бөлігін өлшейтін электротехникалық қондырғының толық қуаты $S = 800 \text{ В} \cdot \text{А}$. Қуаттың белсенді бөлігін өлшейтін Ваттметр оны 720ВТ тең екенін көрсетеді. Қуат коэффициентін ϕ анықтау керек.

Шешімі:

Қуат коэффициенті $P/S = \cos \phi = 720/800 = 0,9$. Бұл дегеніміз -толық қуаттың 90 % пайдалы жұмысқа белсенді қуат ретінде пайдаланылады. Ал 10% реактивті пайдасыз қуаттың болуымен негізделген.

4.8. мысал. Бесенді кедергісі $R = 40 \text{ Ом}$ және индуктивті кедергісі $X_L = 30 \text{ Ом}$ ие индуктивті шарғы қосылған айнымалы ток электр тізбегін есептеңіз. Индуктивті қысқыштардағы кернеу 120В.

- 1) тізбектің толық кедергісін;
- 2) индуктивті шарғыдағы ток күшін;
- 3) қуат коэффициентін;
- 4) ток және кернеу фазасының ауысымының бұрышын;
- 5) толық, белсенді және реактивті қуатты анықтаңыз.

Шешімі:

1. Тізбектің толық кедергісін
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ Ом}.$$
2. Ток күші
$$I = U/Z = 120/50 = 2,4 \text{ А}$$
3. Қуат коэффициенті
$$\cos \phi = R/Z = 40/50 = 0,8.$$

Егер $\cos \phi = 0,8$, онда фазасының ауысымының бұрышы $\phi = 36^\circ$
4. Толық қуат
$$S = UI = 2,4 \cdot 120 = 288 \text{ В} \cdot \text{А}.$$
5. Белсенді қуат
$$P = S \cos \phi = UI \cos \phi = 2,4 \cdot 120 \cdot 0,8 = 230,4 \text{ Вт}.$$
6. Реактивті қуат
$$Q = S \sin \phi = UI \sin \phi = 2,4 \cdot 120 \cdot 0,6 = 172,8 \text{ вар}.$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Генератордың жалпы қуаты қандай шамаға тәуелді?
2. Қуат коэффициенті дегеніміз не?
3. Қуат факторының төмендігі неде?
4. Қуат коэффициентін арттыру үшін қандай шаралар қабылдау қажет?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Тарату қалқанында үш аспап орнатылған: амперметр, вольтметр және ваттметр. Амперметрдің көрсеткіштері - 40 А, вольтметр - 110 В, ваттметрдікі - 4 кВт. Z , R , XL , S , Q , P , $\cos \phi$, UL , UR анықтаңыз.
2. Егер 120 В желісіне қосылған және оның қуат коэффициенті 0,8 болса, бір фазалы 5 кВт қозғалтқыш арқылы тұтынылатын тоқты есептеңіз.
3. Электр станциясында 200 кВА қуаттылығы бар және 100 В кернеуі бар бір фазалы айнымалы ток генераторы орнатылған. Генератордың тізбекке 1; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2 қуат коэффициенттерімен беретін белсенді қуатын табыңыз. Нәтижелерді түсіндіріңіз.
4. Қозғалтқыштың паспортында: $U = 120$ В, $I = 5$ А, $\cos \phi = 0,8$ жазылған. Қозғалтқыш орамасының белсенді, индуктивті және толық қарсылығын анықтаңыз.
5. 120 В желісіне қосылған бір фазалы электр қозғалтқышы 2 А ток тұтынады. Қозғалтқыш қуаты коэффициенті 0,85 кұрайды. Қозғалтқышпен желіден алынатын белсенді және толық қуатын есептеңіз.

РЕФЕРАТТАР ЖӘНЕ БАЯНДАМАЛАР ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Өз мамандығыңыздағы айнымалы ток қолдану тәсілдері қандай?.
2. ЭҚК айнымалысын алу.
3. Техникадағы резонанс құбылысын қолдану.
4. Электр құрылғыларының қуат коэффициентін арттыру әдістері.

4.2. ҮШФАЗАЛЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

4.2.1. ЖАЛПЫ ҰҒЫМДАР МЕН АНЫҚТАМАЛАР

Өнеркәсіпте үшфазалы электр жүйелері электр энергиясын аз шығындармен алыс қашықтықтарға беру үшін ең қарапайым және үнемді болып табылады.

Үшфазалы токтың ашылуы мен оның бірінші тәжірибелік қолданылуы оның талантты ресейлік электротехнигі М.О. Долли-Добровольскийге (1862-1913) тиесілі. Ол кеңінен қолданылатын алғашқы генераторларды және үшфазалы ток қозғалтқыштарын жасады. Заманауи электрлендіру сондай-ақ, осы айтулы орыс өнертапқышыға көп қарыздар десек артық айтқандық емес.

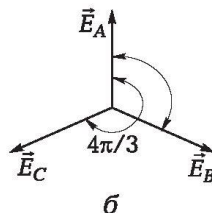
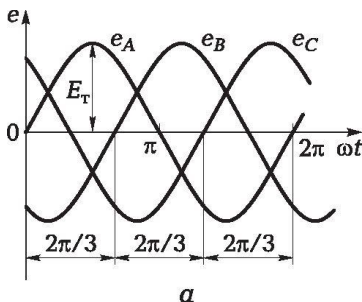
Үшфазалы тізбектің бастапқы фазалары $T = 2\pi / 3 = 120^\circ$ бұрышына ерекшеленетіндей синхрондалған, бірдей жиіліктегі синусоидалық ЭҚК жұмыс істейтін үш электр тізбектерінің жиынтығы болып табылады.

Үшфазалы жүйенің әрбір жеке тізбегі фаза деп аталады. 4.13, а суретте e_A , e_B , e_C ЭҚК сияқты уақытша диаграммасы, ал олардың векторлық диаграммасы 4.15, б суретте көрсетілген. Симметриялық үшфазалы жүйеде ЭҚК-ң лездік мәндерінің қосындысы уақыттың әр кезінде нөлге тең:

$$e_A + e_B + e_C = 0$$

ЭҚК-ң векторларының тиімді мәндері үшін де:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0.$$



4.13. сурет. . Симметриялық үшфазалы жүйе:

a- ЭҚК-ң лездік мәндерінің графигі; *b*- векторлық диаграмма

Фазаның келесі белгілері қолданылады: *A* немесе *a*- басы, *X* немесе *x*- фазаның соңы (бастапқы әріптер көзге сілтеме жасайды. Ал кіші әріптер жүктемені білдіреді). Бүкіл фазаны- *A* фазасы деп, келесі фазалар- *B* және *C* деп аталады.

Есте сақтаңыз!

Егер ЭҚК синусоидалық болса, олардың жиілігі және амплитудасы бірдей болып және әрбір фазаның ЭҚК-і бір-біріне қатысты $2\pi/3$ бұрышына жылжыса, онда ЭҚК-ң үшфазалы жүйесі симметриялық деп аталады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Үшфазалы тізбек дегеніміз не?
2. Айнымалы тоқтың қандай үшфазалы жүйесі симметриялық деп аталады?
3. Үшфазалы жүйе тізбектердің әрқайсысы қалай аталады?

4.2.2. ҮШФАЗАЛЫ ГЕНЕРАТОР МЕН ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ҚАБЫЛДАУЫШЫН БІРІКТІРУ СХЕМАСЫ

Үшфазалы жүйелерінде электрқабылдағыштар (жүктеме) және электрэнергия көздерінің орамдары (генератор) үшфазалы жүйелерінде «жұлдыз»-*Y* немесе «үшбұрыш» - *D* схемасы бойынша жалғанады.

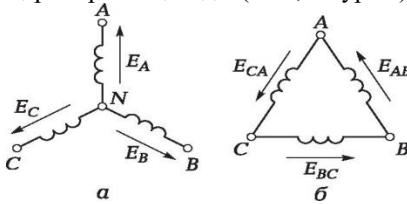
Үшфазалы генераторлық орамалардың электр схемалары. «Жұлдыз» схемасына сәйкес генератордың фазаларын жалғау кезінде (4.14-сурет, а), фазалардың ұштары нөл деп немесе бейтарап деп аталатын бір нүктеге *N* біріктіріледі. Жүктемені *N-A*; *N-B*; *N-C* немесе *A-B*; *B-C*; *C – A* қысқыштарына қосуға болады.

E_A , E_B , E_C ЭҚК фазалық деп, ал E_{AB} , E_{BC} және E_{CA} желілік деп аталады.

Симметриялық үшфазалы жүйеде фазалық және желілік ЭҚК-ң ара қатынасы мынадай:

$$E_A = \sqrt{3} E_\phi.$$

«Үшбұрыш» схемасымен көз фазалары жалғанғанда жүктемені оның ұштарына қосады (4.14, б суреті). Сонда фазалы және желілі



4.14. суреті. Генератор фазаларын жалғау схемасы:

а- «жұлдыз» схемасымен; б- «үшбұрыш» схемасымен.

Бұл жағдайда желілік және фазалық ЭҚК және кернеулер бірдей болады:

$$E_\Phi = E_A; \quad U_\Phi = U_A.$$

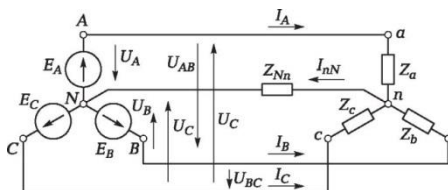
Мұндай байланыс симметриялы кезде ғана орын алады. Бұл жағдайда фазалар ток болмайтын тұйық циклды құрайды. Барлық орамдарды бірдей орындау мүмкін емес, яғни ЭҚК жүйесі әрдайым асимметриялық болып табылады. Онда теңгерімді ток пайда болады. Бұл дұрыс емес. Сондықтан генератор орамдары (сирек ерекшеліктермен) «жұлдызша» арқылы қосылады.

Электр энергиясын қабылдағыштар «үшбұрышқа» және «жұлдызшаға» қосылуы мүмкін.

Әдетте, көздің желілік кернеуінің мәні орнатылады. Стандартта сызықтық кернеулер ауқымы қарастырылған: 127, 220, 380, 500, 660 В және т.б. Олардың әрқайсысы бұрынғыдан $\sqrt{3}$ есе үлкен.

Жүктеме фазаларын «жұлдызша» және «үшбұрышқа» қосу. Егер генератордың фазалары мен фазалардың ұштарын ортақ нүктеге біріктіретін болсақ (4.15-сурет), онда үшфазалы төрт сымды (бұл жарықтандыру және тұрмыстық техника, бір фазалы қозғалтқыштар және т.б.) немесе үш сымды жүйені (үшфазалы қозғалтқыштар, индукция плиталар және т.б.) аламыз.

Генераторды жүктеуге қосатын сымдар желілік деп аталады. Көздің және жүктеменің бейтарап нүктелерін байланыстыратын сым бейтарап деп аталады.



4.15. сурет .Үшфазалы төрт сымды жүйе.

Төрт сымды жүйе үшін онда қабылдағыштар бейтарап сым мен әрбір сызық сымдары арасында жалғанған жерде сіз - қабылдағыштар бейтарап сымның және желілік сымдардың әрқайсысы арасында қосылған болса, төртсымды жүйе (4.15-суретті қараңыз) үшін:

$$I_A = I_{\Phi};$$

$$U_A = \sqrt{3}U_{\Phi}.$$

деп жазуға болады.

Үшфазалы тізбекте жүктеме келесідей болуы мүмкін:

1. **Бірыңғай және біркелкі емес**, егерде жүктеме фазаларының кедергісі сипаты (аргументі) және мәні (модулі) бойынша өзгеше болса:

$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c; \quad \varphi_a \neq \varphi_b \neq \varphi_c.$$

2. **Біркелкі**, егер фазаларының кедергісі сипаты бойынша ерекшеленсе, ал модуль бойынша тең болса:

$$Z_a = Z_b = Z_c; \quad \varphi_a \neq \varphi_b \neq \varphi_c.$$

3. **Бірыңғай**, егер жүктеме фазаларының кедергісі сипаты (аргументі) бірдей, ал мәні (модулі) бойынша өзгеше болса:

$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c; \quad \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c.$$

4. **Симметриялық**, егер жүктеме фазаларының кедергісі мәні және модуль бойынша бірдей болса:

$$Z_a = Z_b = Z_c; \quad \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c.$$

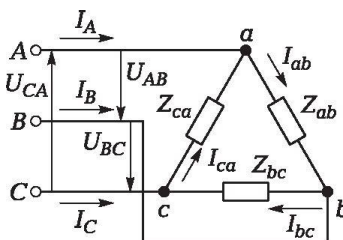
Жүктеме фазалары «үшбұрышты» қосылғанда (4.16. сурет), a, b және c қысқыштары бірілеседі. Мұнда I_a, I_b, I_c - желілік, $I_a b, I_b c, I_c a$

– жүктеменің фазалық токтары; I_{AB} , I_{BC} және I_{CA} - жүктеме фазаларының кернеуі.

Симметриялық жүктемеде кернеу мен токтың желілік векторлары тең жақты үшбұрышты құрайды. Сонымен қатар желілік және фазалық токтарының арасындағы байланыс келесі ара-қатынаспен анықталады:

$$I_A = \sqrt{3} I_{\Phi}.$$

Іс жүзінде үшфазалық тізбекке өте жиі «жұлдыз», сондай-ақ «үшбұрыш» болып жалғанған бірнеше қабылдағыштар қосылады.



4.16. сурет. Жүктеме фазалары «үшбұрыш» болып жалғанған.

Есте сақтаңыз !

- Үшфазалық жүйедегі электр энергия көздерінің қабылдағыштары мен орамаларын үшфазалық жүйелерге «жұлдызбен» және «үшбұрышпен» қосуға болады.

- Үшфазалы жүйенің әрбір жеке тізбегі фаза деп аталады.

- Біртекті жүктемедегі симметриялық үшфазалық жүйені есептеуі бейтарап сымның болуына қарамастан, бір фазаны есептеуіне түйіледі.

- «Үшбұрыштың» фазалық жалғауы «жұлдыз» жалғауынан, желілі сымдарының кедергісі аз болған жағдайда бір фазаның жүктемесінің өзгеруі басқа екі фазаларының жұмысына әсер етпегендігімен ерекшеленеді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Үшфазалы жүйелерде электр энергиясы көздерінің орамдары және қабылдағыштары қалай іске қосылған?
2. Үшфазалы тізбектегі жүктеме қалай жіктеледі?
3. Үшфазалы ток тізбегінің фазасы қалай аталады?
4. «Жұлдызбен» байланысқан кезде фаза мен желілік кернеулер арасындағы арақатынасы қандай?
5. Фазалар «үшбұрышпен» байланысқандағы жүктеменің және желілік сымдардағы токтардың арасындағы байланыс қандай?

4.2.3. ҮШФАЗАЛЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕГІНІҢ ҚУАТЫ

Үшфазалы көздің белсенді қуаты бөлек фазалардың белсенді қуатының қосындысына тең:

$$P_{\text{ист}} = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C.$$

Үшфазалы көздің реактивті қуаты бөлек фазалардың реактивті қуатының қосындысына тең:

$$Q_{\text{ист}} = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C.$$

Үшфазалы тізбек қабылдағыштарының белсенді қуаты да бөлек фазалардың белсенді қуаттарының қосындысына тең:

$$P_{\text{пр}} = P_a + P_b + P_c$$

Үшфазалы тізбек қабылдағышының реактивті қуаты соған сәйкес бөлек фазалардың реактивті алгебралық қосындысына тең болады:

$$Q_{\text{пр}} = Q_a + Q_b + Q_c$$

Толық қуаты

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

«Жұлдыз» немесе «үшбұрыш» әдісімен байланысқан, симметриялы үшфазалы қабылдағыш (жүктеме) кезінде:

$$P = 3P_{\Phi} = 3U_{\Phi}I_{\Phi} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{\Lambda}I_{\Lambda} \cos \varphi;$$

$$Q = 3Q_{\Phi} = 3U_{\Phi}I_{\Phi} \sin \varphi = \sqrt{3}U_{\Lambda}I_{\Lambda} \sin \varphi;$$

$$S = 3S_{\Phi} = 3U_{\Phi}I_{\Phi} = \sqrt{3}U_{\Lambda}I_{\Lambda}.$$

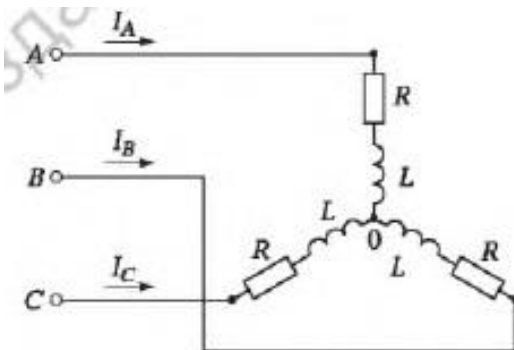
! Есте сақтаңыз

Симметриялы кернеу жүйесі немесе фаза қуатының біркелкі емес жүктемесі кезінде әр фазалар үшін бөлек анықталады.

4.9 мысал. Үш бірдей индуктивті шарғылар үшфазалы ток желісіне $U_{\Delta} = 220$ В желілік кернеумен қосылған. Әр шарғының белсенді кедергісі $R = 7$ Ом және индуктивті $X_L = 24$ Ом тең. Егер олар тізбекте «жұлдыз» және «үшбұрыш» схемасымен қосылатын болса, желілік ток I_{Δ} және қуатты P_1 анықтаңыз.

Шешімі

1. Индуктивті шарғылардың «жұлдыз» схемасы бойынша байланысуы келесі түрде болады:



Фазалық кернеу келесіні құрайды:

$$U_{\Phi} = \frac{U_{\Lambda}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} \approx 127 \text{ В.}$$

Фазалық ток

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{127}{\sqrt{7^2 + 24^2}} \approx 5,08 \text{ A.}$$

«Жұлдыз» арқылы байланысқан кезде желілік ток фазалыққа тең:

$$I_A = I_{\Phi} = 5,08 \text{ A.}$$

Қуат коэффициенті

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{7}{\sqrt{7^2 + 24^2}} = 0,28.$$

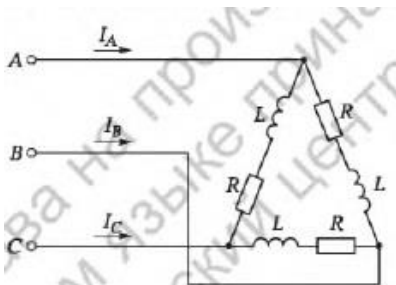
Индуктивті шарғылар тұтынатын қуат,

$$P = 3U_{\Phi}I_{\Phi} \cos \varphi = 3 \cdot 127 \cdot 5,08 \cdot 0,28 = 542 \text{ Вт,}$$

немесе

$$P = \sqrt{3} U_A I_A \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 5,08 \cdot 0,28 = 542 \text{ Вт.}$$

2. Индуктивті шарғылардың «үшбұрыш» арқылы байланысу схемасы:



Мұндай жағдайда фазалық кернеу желілік кернеуге тең болады:

$$U_{\Phi} = U_A = 220 \text{ В.}$$

Фазалық ток

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{220}{\sqrt{7^2 + 24^2}} = 8,8 \text{ A.}$$

Желілік ток

$$I_{\lambda} = \sqrt{3} I_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 8,8 = 15,2 \text{ A.}$$

Индуктивті шарғылар тұтынатын қуат

$$P = 3 U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi = 3 \cdot 220 \cdot 8,8 \cdot 0,28 = 1\,626 \text{ Вт.}$$

$$P = \sqrt{3} U_{\lambda} I_{\lambda} \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 15,2 \cdot 0,28 = 1\,626 \text{ Вт.}$$

Жүктемені «үшбұрыш» схемасы арқылы қосқанда қуатты тұтыну ұлғаяды.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Үшфазалы жүйеде белсенді, реактивті және толық қуат қалай анықталады?
2. Кернеудің симметриялық емес жүйесінде және үшфазалы жүйедегі біркелкі емес жүктеме кезінде қуат қалай есептеледі?
3. Үшфазалы жүйеде қосудың қандай схемасында қуат тұтыну ұлғаяды немесе өзгеріссіз қалады?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Үшфазалы токтың генератор кернеуі 220 В тең. Қалқаншадағы ваттметр 13,2 кВт көрсетеді. Желіге «үшбұрышпен» қызу шамы қосылған. Әрбір шам 0,25 А ток тұтынады. Генераторға қосылған шамдар санын анықтаңыз.
2. Қуаты 12 кВт үшфазалы токтың электрлік қозғалтқышы 220 В кернеумен желіге қосылған. Қозғалтқыштың қуат коэффициенті 0,8 тең. Қозғалтқыш желіден тұтынатын токты табыңыз.
3. Болат өзекшелі индуктивті шарғының 4 Ом белсенді, 6 Ом индуктивті кедергісі бар. Егер үш бірдей индуктивті шарғыларды

«жұлдыз» және «үшбұрыш» схемаларымен қосатын болса, үшфазалы ваттметрдің не көрсететінін анықтаңыз.

4. Бірінші индуктивті шарғының $R_1 = 2$ Ом белсенді және $X_{L1} = 24$ Ом индуктивті кедергісі бар. Екінші индуктивті шарғының $R_2 = 3$ Ом және $X_{L2} = 16$ Ом, ал үшінші шарғының $R_3 = 4$ Ом және $X_{L3} = 30$ Ом бар. Индуктивті шарғылар «үшбұрыш» схемасы бойынша байланысқан және желіге 220 В қосылған. Желіден үш индуктивті шарғы тұтынатын белсенді қуатты анықтаңыз.

БАЯНДАМАЛАР ЖӘНЕ РЕФЕРАТТАРДЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Өндірісте ауыспалы токтың үшфазалы және көпфазалы тізбектерін қолдану.

2. Өндірісте үшфазалы токтың қолданылуы.

5 тарау

ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ЖӘНЕ ЭЛЕКТР ӨЛШЕУІШ ҚҰРАЛДАР

Бұл тарауды зерделеу нәтижесінде сіз:

■ ***Танысатын боласыз:***

- электрлік схемалардағы шартты белгілеулері бойынша өлшеуіш құралдың қызметін орнату;
- құралдың шкалаларындағы шартты белгілеулерді білу;
- электрлік өлшеуді жүргізу үшін құралдың қажетті түрін таңдау;
- өлшеудің абсолют, салыстырмалық және келтірілген қателіктерін есептеу.;

■ ***Білетін боласыз:***

- электрлік өлшеудің түрлерін, әдістерін және қателіктер классификациясын;
- электрлік өлшеу құралдарының классификациясын;
- ток және кернеуді өлшеу шектерінің кеңейтілу әдістерін;
- амперметрлер, вольтметрлер және ваттметрлердің тұрақты және ауыспалы токтың электрлік тізбегіне қосылу схемаларын;
- электрлік тізбектер параметрлерін (кедергі, индуктивтілік, сыйымдылық) өлшеу әдістерін.

5.1. ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ТҮРЛЕРІ МЕН ӘДІСТЕРІ

ҚАТЕЛІКТЕР КЛАССИФИКАЦИЯСЫ

Өлшеу – өлшенетін физикалық шаманың өлшеммен қабылданатын кейбір бірдей шамадағы мәнімен салыстыруды тану процесі болып табылады. Физикалық шамалар техникалық құралдар – *өлшеу құралдарымен* өлшенеді.

Өлшеу нәтижелерін алу әдістеріне байланысты өлшеу тікелей және жанама болып келеді.

Тікелей өлшеуде физикалық шама тікелей өлшенеді. Тікелей өлшеулерге келесі мысалдар бар: ұзындықты сызғышпен өлшеу, уақытты секунд өлшеуішпен, ал ток күшін амперметрмен.

Жанама өлшеуде тікелей мәнін білуге қажет шаманы емес, ізделініп отырған шамамен қандай да бір математикалық тәуелділіктегі басқа шамалар өлшенеді. Мысалы, дене тығыздығын оның массасы және көлемін өлшеу арқылы анықтайды. Ал кедергіні Ом заңы бойынша, яғни ток күші мен кернеуін есептейді.

Өлшеу әдістері мен құралдарына байланысты тікелей бағалау және салыстыру әдістері бар.

Тікелей бағалау әдісі өлшенетін шаманың мәні тікелей өлшем құралының өлшемдік құрылысы арқылы (ток мәні амперметрмен, кернеу мәні вольтметрмен және т.б.) анықтауы болып табылады. Бұл бағалау әдісі қарапайым болғанымен, салыстырмалы жоғары емес нақтылығымен ажыратылады.

Салыстыру әдісі арқылы өлшенетін шама қалпына келетін шамамен салыстырылады. Бұл әдіс тікелей бағалау әдісімен салыстырғанда өлшеуді жоғары нақтылықпен қамтамасыз етеді. Бірақ өлшеу процесі күрделенеді.

Өлшеу құралдарын да ұйымдастыру шараларының, сонымен қатар біздің сезім мүшелеріміздің жетілмеу себептерінен өлшеулер нақты жүргізіле алмайды. Яғни әрбір өлшем тек шамалап ғана нәтиже береді. Бұдан басқа, өлшеу нәтижелерінің ауытқу себептері жиі өлшенетін шаманың өзінен болып келеді. Мысалы, пештің белгілі бір нүктесінде термометрмен немесе терможұппен өлшенетін температура конвекция мен жылу өткізгіштігі себебінен белгілі бір шекте ауытқиды. Өлшеу нәтижесінің нақты бағалау шамасына өлшеу қателігі қызмет атқарады.

Өлшеу құралдары **қателіктерінің түрлі әдістеріне** абсолют, салыстырмалық және келтірілген қателіктер жатады.

Абсолют қателік Δ дегеніміз A құралы көрсеткіші мен өлшенетін шаманың A_d нақты мәні арасындағы айырмашылық:

$$\Delta = A - A_d.$$

Салыстырмалық қателік дегеніміз абсолют қателіктің өлшенетін шаманың A_d нақты мәніне қатынасы, әдетте пайызбен белгіленеді:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{A_d} 100.$$

Өлшемнің қателігі аз болған сайын, оның нақтылығы артады.

Келтірілген қателік γ абсолют қателіктің Δ өлшенетін шаманың нормалаушы мәніне A_n қатынасы:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{A_n} 100.$$

Нормалаушы мәнді әдетте берілген құрал үшін өлшеудің жоғары шегіне тең етіп қабылдайды.

Өлшеу қателігінің шығу көздері бойынша жүйелілік, кездейсоқ және дөрекі (қате) болып бөлінеді.

Жүйелік қателіктер - дегеніміз бірдей өлшеуіш құралдарында, бірдей әдіспен жүргізілетін қайталама өлшеулерде де шамасы тұрақты болып қалатын өлшеу қателігі. Жүйелік қателіктердің себептері:

- өлшеуіш құралдырының ақаулықтары және нақты еместігі;
- өлшеу әдістемесінің нақты еместігі және заңға терістігі.

Жүйелік қателіктің мысалы ретінде жылжытылған нөлдік нүктелі термометрмен температураны өлшеу, дұрыс басылмаған амперметрмен тоқты өлшеуді алуға болады.

Жүйелік қателіктерді болдырмау немесе азайту үшін өлшеуіш құралдарды толық тексеріп, дәл сол шаманы түрлі әдістермен өлшеу жүргізіп, қателіктер анықталғанда (мысалы, термометр көрсеткіштеріне түзетулер) түзетулер енгізу қажет.

Кездейсоқ қателік - дегеніміз кездейсоқ заң арқылы өзгеретін қателік. Кездейсоқ қателіктерді тәжірибелі жолмен жоюға болмайды. Олардың мәнін көптеген өлшеулер жүргізу арқылы азайтуға болады.

Дөрекі қателіктер (қателер) – дегеніміз берілген өлшеу жағдайларында күтілетін қателіктің шамасын айтарлықтай ұлғайту болып табылады. Қателер құрал көрсеткіштерін дұрыс жазбау нәтижесінде, құрал бойынша дұрыс есептемеу, жанама өлшемдер кезіндегі есептеу қателері себептерінен пайда болады. Қатенің басты себебі экспериментшінің алаңғасарлығы болып табылады. Мұндай қателіктерді жоюдың жолдары бар. Олар: экспериментшінің ұқыптылығы және өлшеу протоколдарының қайта жазылуларын болдырмау.

Пайдалану жағдайларына байланысты өлшеу құралдарының негізгі және қосымша қателіктері ажыратылады.

Негізгі қателік - дегеніміз пайдаланудың қалыпты жағдайларында орналасқан (сыртқы ортаның температурасы, ылғалдылығы, атмосфералық қысымы, және магнитті жазықтығы және т.б.) өлшеу құралдарының қателігі деп атаймыз.

Қосымша қателік - дегеніміз көрсетілген жағдайлардың қалыпты мәндерінен ауытқулары кезінде пайда болатын өлшеу құралдарының қателігі деп түсінеміз.

Өлшеу құралдарының нақтылық деңгейі **нақтылық класымен** сипатталады. Электрлік өлшеу құралдары үшін келесі нақтылық кластары қабылданған. Олар: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 және 4. Сандар негізгі келтірілген қателікті γ пайызда көрсетеді.

5.1 мысал. Үлгілі және зертханалық амперметрлер тікелей байланысқан. Зертханалық құралдың көрсеткіші бойынша $I = 22 \text{ A}$, үлгілі амперметр көрсеткіші бойынша $I_d = 21,95 \text{ A}$. Егер зертханалық құралдың жоғары өлшеу шегі $A_N = 30 \text{ A}$ болса, өлшеудің абсолют, салыстырмалық және келтірілген қателіктерін анықтаңыз.

Шешімі

Өлшеудің абсолют қателігі

$$\Delta = A - A_d = 22,00 - 21,95 = 0,05 \text{ A.}$$

Өлшеудің салыстырмалық қателігі

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{A_d} 100 = \frac{0,05}{21,95} 100 \approx 0,3 \text{ \%}.$$

Өлшеудің келтірілген қателігі

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{A_N} 100 = \frac{0,05}{30} 100 \approx 0,2 \text{ \%}.$$

5.2 мысал. Вольтметрдің нақтылық класы 2,5 және өлшеу шегі 30 В. Бұл құралмен екі өлшеу жүргізілді $U_1 = 6$ В және $U_2 = 25$ В. Бұл өлшеудің қайсысында ең аз салыстырмалық қателік болады?

Шешімі:

Берілген құрал класы салыстырмалық қателікке $\gamma = 2,5$ % сейкес келеді. Өлшеудің абсолют қателігі

$$\Delta = \gamma \frac{A_N}{100} = \frac{2,5 \cdot 30}{100} = 0,75 \text{ В.}$$

Өлшенетін шаманың нақты мәнін анықтаймыз :

$$A_{A1} = A_1 - \Delta = 6,00 - 0,75 = 5,25 \text{ В;}$$

$$A_{A2} = A_2 - \Delta = 25,00 - 0,75 = 24,25 \text{ В.}$$

Өлшеудің салыстырмалық қателігін есептейміз:

$$\delta_1 = \pm \frac{\Delta}{A_{A1}} 100 = \frac{0,75}{5,25} 100 = 14,3 \%;$$

$$\delta_2 = \pm \frac{\Delta}{A_{A2}} 100 = \frac{0,75}{24,25} 100 = 3,1 \%.$$

Екінші өлшеудің нақты болғаны шешімнен анық көрінеді.

Электрлік өлшеу құралдарының негізгі сипаттамаларына қателік (алдыңғы беттерге назар ауд.), көрсеткіш вариациясы, сезімталдық, тұтынылатын қуат, көрсеткіштің уақытын белгілеу мен беріктік болып табылады.

Көрсеткіштер вариациясы дегеніміз өлшенетін шаманың бірдей мәнінде құрал көрсеткішінің ең үлкен айырмашылығы. Вариация туындауының негізгі себебі құралдың қозғалыс бөлігіндегі тіректерде үйкеліс болып табылады.

Сезімталдық S дегеніміз Δ а көрсеткіш қозғалысы артуының өлшенетін шаманың Δx артуына қатынасы.

$$S = \frac{\Delta a}{\Delta x}$$

Егер сезімталдық тұрақты болса (тепе-тең шкаласы), оны осылай анықтауға болады:

$$S = \frac{a}{x}$$

Кері сезімталдықтың шамасы *құралды (тұрақты) бөлу бағасы деп аталады*. Ол өлшенетін шаманың шкаланың бір бөлуіне келетін бірлік сандарына тең:

$$C = \frac{I}{S}$$

Тұтынылатын қуат дегеніміз тізбекке қосылған кезде тұтынатын қуат. Қуатты көп тұтыну өлшеу қателіктерінің артуына әкеледі. Сондықтан қуатты аз пайдалану құралдың артықшылығы болып табылады.

Көрсеткіш уақытын белгілеу дегеніміз өлшенетін шаманың қосылған уақытынан бастап, белгіленген мәннен 1,5 % артық емес көрсеткішке орналасқанға дейінгі уақыт аралығы. Көрсеткіштің белгілеген уақытын көптеген өлшегіш құралдарының аналогтары үшін 4 с аспайды.

Сенімділік дегеніміз қойылған сипаттамаларды белгілі бір жұмыс жағдайларында берілген уақыт көлемінде электрлік өлшеу құралдарының сақтап қалу қабілеті. Сенімділіктің сандық шамасына тоқтаусыз орташа уақыт немесе құралдың ақаусыз жұмысы жатады.



Есте сақтаңыз!

- Өлшеу дегеніміз - физикалық шаманы тәжірибелік жолмен анықтау.
- Өлшеу құралдары мен әдістерінің жетілмегендіктерінен, субъективті қателерінен және шынайы өлшеу нәтижелеріне кездейсоқ әсерлердің болуы себептерінен әрдайым өлшенетін шаманың нақты мәнінен ерекшеленетін болады
- Өлшенетін шама құрал шкаласының жоғары шегімен салыстырғанда аз болса, өлшеу қателігі соған сәйкес артады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Өлшеу дегеніміз не ?
2. Жанама өлшеу түрінің тікелей өлшеуден қандай айырмашылығы бар?
3. Жүйелік қателіктердің туындау себептері қандай және оларды болдырмау жолдары?

4. Құрал шкаласының қандай бөлігінде өлшеудің салыстырмалық қателігі аса көп болады?
5. Электрлік өлшеу құралдарының беріктігі неде?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Амперметрдің өлшеу шектігі 30 А құрайды. Бұл амперметрмен 5А және 25 А токтар өлшенген. Қандай өлшеулер нақты екенін анықтаңыз.
2. Нақтылық класы 0,5 және өлшеу шегі 5 А амперметрмен $I = 2,5$ А ток өлшеуі кезіндегі салыстырмалық қателікті есептеңіз.
3. Егер амперметр көрсеткіші $I = 4,5$ А, ал кедергі қысқышындағы кернеу $U = 110$ В, ал тікелей қосылған кернеуі $R = 25$ Ом болса, амперметр көрсеткішінің абсолют және салыстырмалық қателіктерін анықтаңыз.

5.2. ЭЛЕКТР ӨЛШЕУІШ ҚҰРАЛДАР КЛАССИФИКАЦИЯСЫ

Электр өлшеуіш құралдары әртүрлі белгілері бойынша классификацияланады. Мысалы қызмет ету түрі және принциптері бойынша.

Қызмет етудің өлшенетін шамасы бойынша электр өлшеуіш құралдары амперметр, вольтметр, омметр, ваттметр т.б. бөлінеді. Электр өлшеуіш құралдарының схемалары мен беттік панелінде өлшенетін көлемнің қызметі шартты белгілеулері арқылы көрсетіледі. Олардың кейбіреулері 5.1, 5.2 кестесінде қарастырылған.

Кесте 5.1. Электр өлшеуіш құралдарындағы шартты белгілеулері	
Құрал	Шартты белгілеулер
Амперметр	A
Вольтметр	V
Гальванометр	G
Ваттметр	W
Омметр	Ω
Ватт-сағаттары есептегіші	Wh

Кесте 5.2. Құралдар шкаласындағы шартты белгілеулері	
Шартты белгілер	Тағайындауы
	Ауыспалы ток құралы
	Тұрақты ток құралы
	Ауыспалы және тұрақты ток құралдары
	Үшфазалық ток құралы
	Құралдың өлшеу кезіндегі тік қалпы
	Құралдың өлшеу кезіндегі көлденең қалпы
	Құралдың өлшеу кезіндегі 30 ⁰ бұрыштағы қалпы
	Дәлдік сыныбы, мысалы 1,5
	Өлшеуіш тізбегі корпустан ажыраған және кернеу арқылы сынақталған, мысалы 2 кВ
	Шығару жылы
	Зауыт нөмірі

Өлшеуіш құрал қызмет ету принципі негізінде алынған физикалық құбылысқа байланысты магнитэлектрлік, электромагниттік, электродинамикалық және басқа жүйелер түрлерін белгілейді.

Өлшеуіш құралдарының жүйелері, олардың шартты белгілеулері, қолдану аймағы, артықшылықтары мен кемшіліктері 5.3 кестесінде қарастырылған.

Кесте 5.3. Электр өлшеуіш құралдары жүйелері және олардың шартты белгілеулері			
Құрал жүйесі	Шартты белгілеуі	Қолдану аймағы	Артықшылықтар мен кемшіліктері
Магнитэлектрлік		Тұрақты токтарды, кернеулерді, кедергілерді және т.б. өлшеу үшін қолданылады	<i>Артықшылықтары</i> : жоғары дәлдік, бірқалыпты шкала, объекттен энергияны аз көлемде тұтынады <i>Кемшіліктері</i> : Ауыспалы ток

			тізбектері жұмыстарында жарамсыздығы, шамадан тыс жүктемелерге сезімталдығы және қоршаған орта температурасы көрсеткіштеріне тәуелді болады.
Электрмагниттік		Амперметр, вольтметр және фазометрлер ретінде тұрақты және ауыспалы токтарды өлшеу үшін қолданылады	<i>Артықшылықта ры:</i> ауыспалы токтар тізбектерінде өлшеуге арналған ең кең таралған шиттік құралдар. <i>Кемшіліктері:</i> шамалы дәлдік, өз қуатын көп тұтынады, жиілік диапазоны шектеулі, сыртқы магниттік өрістерге сезімталдылығы жоғары.
Электрдинамикалық		Ток кернеуі мен күшін өлшеу үшін тұрақты және ауыспалы тізбектерде қолданылады	<i>Артықшылықта ры:</i> жоғары дәлдік, ток қисықтары мен кернеуі формалары көрсеткіштерінен тәуелсіз. <i>Кемшіліктері:</i> салыстырмалы төмен сезімталдылық, өз қуатын көп тұтынады, сыртқы магниттік өрістерге сезімталдығы, шектеулі жиілік

			диапазоны
Электрстатикалық		Тұрақты және ауыспалы токтар вольтметрлер і ретінде қолданылады	<i>Артықшылықтары:</i> өз энергиясын аз тұтынуы, кең жиілік жұмыс диапазоны, сыртқы магниттік өрістерге және температура тербелістеріне сезімсіздігі; олардың көрсеткіштері өлшемді кернеу қисығы формасынан тәуелсіз. <i>Кемшіліктері:</i> салыстырмалы төмен сезімталдық
Индуктивтік		Ауыспалы токтың бір және үшфазалық есептегіштері ретінде қолданылады	<i>Артықшылықтары:</i> шамадан тыс жүктемелерге төзімді, үлкен айналма моменті бар және сыртқы магниттік өрістерге сезімталдығы төмен. <i>Кемшіліктері:</i> сезімталдығы жеткіліксіз және олардың көрсеткіштері өлшенетін ток жиіліктері мен қоршаған орта температурасына байланысты

Электр өлшеуіш құралдарға келесі техникалық талаптар қойылады:

- жұмыстағы дәлдік және сенімділік;
- мүмкіндігі бойынша аз қуатты тұтыну;
- өлшеуіш жиіліктің электрикалық параметрлеріне елеулі өзгерістер енгізбеу қабілеттілігі;
- шкаланың жұмыс бөлігі шегінде бір қалыпты бөліністер болуы;
- мүмкіншілігінше ауыр жүктемелерге төзу қабілеттілігі;
- өз сапасын нашарлатпау арқылы ұзақ мерзім қызмет етуі;
- ток өткізетін бөлімдердің корпустан сенімді оқшаулануы;
- құрал көрсеткіштерінің сыртқы факторлардан тәуелсіздігі;
- құрал көрсеткіштерін белгілеуге аз уақыт жұмсалуы;
- құнының төмендігі.



БАҚЫЛАУ СУРАҚТАРЫ

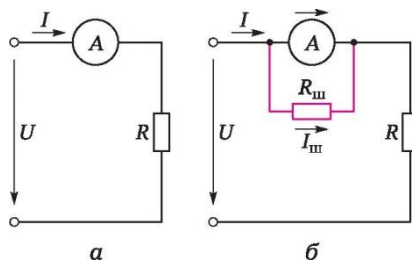
1. Қандай жүйе құралдары тек қана тұрақты ток және кернеулерді өлшейді?
2. Қандай жүйе құралдары ауыспалы ток тізбектерінде өлшеу үшін ең кең таралған щиттік құралдар болып келеді?
3. Қандай жүйе құралдары сыртқы магниттік өрістерге сезімтал болып келеді?

5.3. ТОК ПЕН КЕРНЕУДІ ӨЛШЕУ

Токты өлшеу. Ток күшін өлшеуге арналған құрал **амперметр** деп аталады. Амперметр ток күші өлшенетін тізбек аумағымен бірге дәйекті түрде қосылады (сурет 5.1, а).

Амперметр қосылуы кезінде электр қондырғылары жұмыстарына әсер етпеуі және энергияны көп жоғалтпауы үшін, амперметрлерді аз ішкі кедергімен орындайды. Амперметрді тізбекке дәйекті жүктеме арқылы ғана қосуға болады.

Тұрақты ток тізбектерінде жұмыс жасауға арналған амперметрлерді өлшеу шектерін кеңейту үшін, оларды шунтқа қатарлас тізбекке қосады. Соңымен бірге, құрал арқылы өлшенетін токтың I оның кедергісіне қарсы пропорционалды R_A жартысы I_A ғана өтеді. Бұл токтың көп бөлігі $I_{ш}$ шунт арқылы өтеді. Құрал R_A және шунт $R_{ш}$ кедергісін білген жағдайда құрал арқылы белгіленетін ток I_A бойынша өлшенетін токты анықтауға болады:



Сурет 5.1. Амперметр қосылу схемасы:

а- шунтсыз; б- шунтпен

$$I = I_A \frac{R_A + R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}} = I_A n,$$

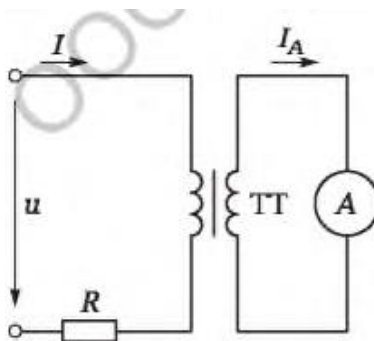
бұндағы n –шунттеу коэффициенті, $n = \frac{I}{I_A} = \frac{R_A + R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}$, көбінесе оны 10 тең немесе еселенген түрінде алады.

Токты I өлшеу үшін қажетті құрал тоғына I_A қарағанда n рет көп, шунт кедергісі,

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1},$$

Құрылымды түрде шунттар не құрал корпусына орнатылады (50 А ток шунттары), немесе оның сыртына бекітіп және құралды сымдар арқылы біріктіріледі. Егер, құрал шунтпен тұрақты түрде жұмыс атқаруға арналған болса, онда оның шкаласы шунттау коэффициенті есебімен өлшенетін ток көрсеткіштерімен бағаланады. Және токты анықтау үшін ешқандай есептеулер жүргізу қажеті жоқ. Шунттарды бес дәлдік сыныптарына бөледі (0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5). Сыныптар белгілеулері пайызбен рұқсат етілетін қателіктерге сәйкес келеді.

Шунт арқылы ток өту кезіндегі температура жоғарылауы құрал көрсеткіштеріне әсер етпеуі үшін, шунттарды көп үлесті кедергісі және температуралық коэффициенті аз (константан, манганин, никелин ж.б.) материалдардан дайындайды. Амперметр көрсеткіштеріне құралдың индукциялық шарғысымен дәйекті түрде температура әсерін азайту үшін кейбір жағдайларда константана немесе басқа ұқсас материалдан қосымша резистор қосады. Жоғары токтарды (100 А жоғары) өлшеу үшін шунттарды қолдану арқылы магнитті электр жүйе амперметрлерін қолданады.



Сурет 5.2. ТТ өлшегішін қолдану арқылы ауыспалы ток тізбегіне амперметрді қосу схемасы

Ауыспалы ток тізбектерінде тоқты өлшеу шектерін кеңейту үшін ток трансформаторлары (ТТ) қолданылады. Амперметр арқылы өлшенетін ток I және I_A көрсеткіштері келесі қатынас арқылы байланысады:

$$I = kI_A,$$

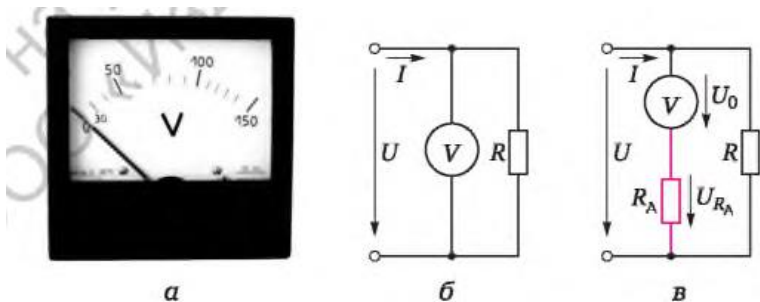
бұндағы k – өлшегіш трансформатордың трансформациялану коэффициенті.

Кернеуді өлшеу. Кернеуді өлшеуге арналған құрал **вольтметр** деп аталады (сурет 5.3, а). Вольтметр кернеу өлшенетін тізбек аумағына қатарлас қосылады (сурет 5.3, б).

Вольтметр қосылуы кезінде электр қондырғылары жұмыстарына әсер етпеуі және энергияны көп жоғалтпауы үшін, вольтметрлерді жоғары кедергімен орындайды. Вольтметрлер өлшемдерін кеңейту үшін құрал орамымен дәйекті түрде қосымша резистор R_A қосады (сурет 5.3, в). Сонымен қатар құралға өлшенетін кернеудің U құрал R_V кедергісіне пропорционалды бөлігі U_V ғана келеді. Құрал кернеуінен n рет жоғары кернеуді U өлшеу үшін қажетті қосымша резистор кедергісі келесі формуламен анықталады:

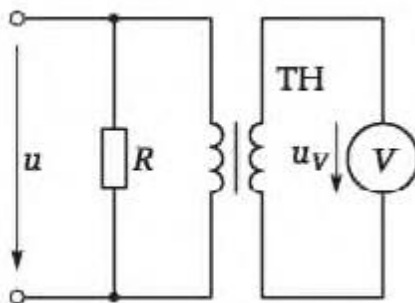
$$R_A = (n - 1)R_V$$

Қосымша резистор құралға орнатылуы мүмкін және де құрал көрсеткіштеріне қоршаған орта температурасы әсерін төмендету үшін бір уақытта қолданылады. Бұндай мақсат үшін резистор температуралық коэффициенті аз болады. Және де оның кедергісі индуктивті шарғы кедергісінен бір шама асатын материалдан орындалады. Сол себепті құралдың жалпы кедергісі температура өзгеруінен тәуелсіз болып қала береді. Дәлдігі бойынша қосымша резисторлар шунттар секілді дәлдік сыныптарға бөлінеді.



Сурет 5.3. Вольтметрдің қосылу схемасы

а – бағыттама вольтметрдің сыртқы түрі; б – қосымша кедергісіз; в – қосымша кедергімен.

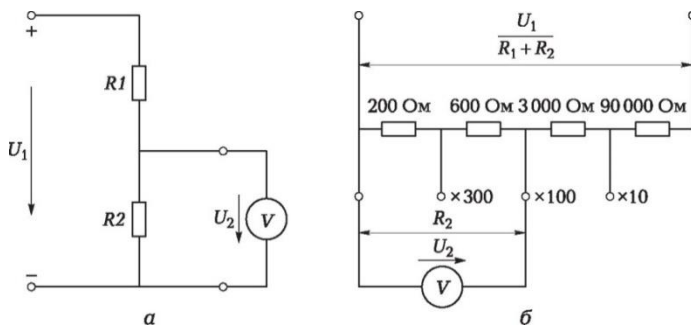


Сурет 5.4. КТ өлшегішін қолдану арқылы ауыспалы ток тізбегіне вольтметрді қосу схемасы

Ауыспалы ток тізбектерінде вольтметрдің өлшеу шектерін кеңейту үшін кернеуді өлшегіш трансформаторлары (КТ) қолданылады. Қосу схемасы 5.4. суретте көрсетілген. Бұл жағдайда өлшенетін кернеу $U = k_u U_V$, бұндағы k_u – кернеуді өлшегіш трансформатордың трансформациялану коэффициенті. Кернеуді өлшегіш трансформаторлар ауыспалы ток тізбегінде вольтметр өлшемдері шектерін кеңейтумен бірге жоғарғы кернеуде тұратын екінші реттік тізбекті біріншісінен ажырауын қамтамасыз етеді.

Кернеу бөлгіштері. Вольтметрлер өлшемдері шектерін кеңейту үшін кернеу бөлгіштерін қолданады. Олар, вольтметрдің номиналды

кернеуіне сәйкес мәніне дейін өлшеуге жататын кернеуді азайтуға мүмкіндік береді. Кірмелік кернеудің U_1 шығыс кернеуіне U_2 қатынасы (сурет 5.5) **бөлгіш коэффициенті** деп аталады. Бос жүрісте $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$. Кернеу бөлгіштерінде бұл қатынас вольтметрдің қандай бөлгіш қорытындысына қосылып тұруына байланысты 10, 100, 500 ж.т.б. тең болып алынуы мүмкін (сурет 5.5,б). Кернеу бөлгіші қателіктерді аз еңгізеді. Егер, вольтметр кедергісі R_V жеткілікті жоғары (бөлгіш арқылы өтетін ток аз болса), және бөлгіш қосылған кедергі көзі аз болса мақсатына жетеді.



Сурет 5.5. Кернеу бөлгіштері қосылу схемалары

а – кернеудің бір шекті бөлгіші; *б* – кернеудің көп шекті бөлгіші



Есте сақтаныз

- Ауыспалы токтарды өлшеу кезінде токтың қандай көрсеткіші өлшенетіні маңызды болып келеді: қызмет етуші, амплитудалық немесе орташа. Барлық құралдар токтың қызмет етуші синусоидалық көрсеткіштерінде бағаланады.

- Неғұрлым амперметр кедергісі аз болса, соғұрлым өлшеу қателіктері аз болады.

- Неғұрлым вольтметрдің сыртқы кедергісі көп болса, соғұрлым өлшеу қателіктері аз болады.

- Ауыспалы ток тізбектерінде амперметр мен вольтметр өлшеу шектерін кеңейту үшін өлшегіш ток және кернеу трансформаторлары қолданылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Өлшеу шегін кеңейту үшін амперметрге қатарлас қосылатын кедергі қалай аталады?
2. Жоғары тұрақты токтарды өлшеу үшін қандай жүйе құралдары қолданылады?
3. Амперметрге арналған шунттарды қандай материалдардан орындайды?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Амперметр 1 дәлдік сыныбы 5А өлшеу шегімен және ішкі кедергісі 0,09 Ом өлшеу шектігің 50А дейін кеңейткіш шунтқа қатарлас қосылған. Шунт кедергісін және максималды мүмкін өлшеу қателігің анықтаңыз.
2. Вольтметр өлшеу шегің 10 есеге кеңейтетін ішкі кедергісі 20кОм және өлшеу шегі 30В қосымша кедергінің шамасын табыңыз.
3. Амперметр 2,5 дәлдік сыныбы 15А өлшеу шегімен және ішкі кедергісі 0,018Ом өлшеу шегің 10 есеге кеңейткіш шунтқа қатарлас қосылған. Шунт кедергісін және максималды мүмкін абсолюттік өлшеу қателігің анықтаңыз.
4. 150/5А ток өлшегіш трансформатор арқылы өтетін қосылған амперметр 4А көрсетті. Бастапқы тізбектегі токты анықтаңыз.

5.4. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫ МЕН ҚУАТЫН

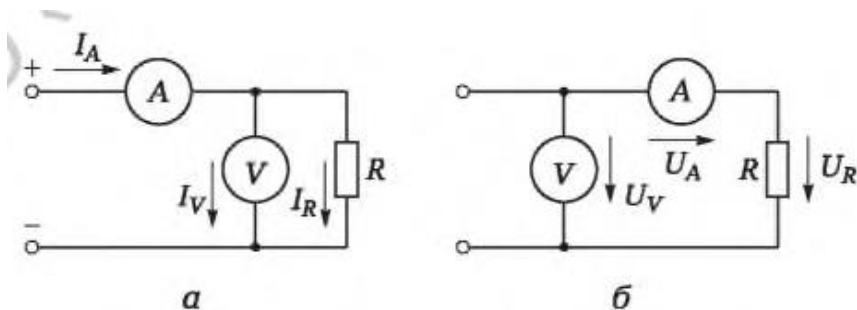
ӨЛШЕУ

Тұрақты ток тізбектеріндегі қуатты өлшеу. Электр тізбектеріндегі қуатты тура және жанама тәсілдер арқылы өлшейді. Тура өлшеу кезінде ваттметрлерді қолданады, ал жанамада – амперметрлер мен вольтметрлерді.

Тұрақты ток тізбектерінде қуатты өлшеу үшін ваттметрлер сирек қолданылады, көбінесе амперметр-вольтметр әдісі қолданылады (сурет 5.6). Амперметр арқылы токтың I көрсеткішін және вольтметрмен U кедергісін анықтай отырып қуатты келесі формуламен есептейді:

$$P = UI$$

Құралдардың ішкі кедергілері әсерінен пайда болатын қателіктерді азайту үшін сурет 5.6, *а* схемасы аз кедергі R жағдайында қолданады, ал сурет 5.6, *б* схемасы жүктеменің R жоғары кедергісінде.



Сурет 5.6. Амперметр-вольтметр әдісімен қуатты өлшеу:

а- жүктеменің аз кедергісінде; б – жүктеменің жоғары кедергісінде

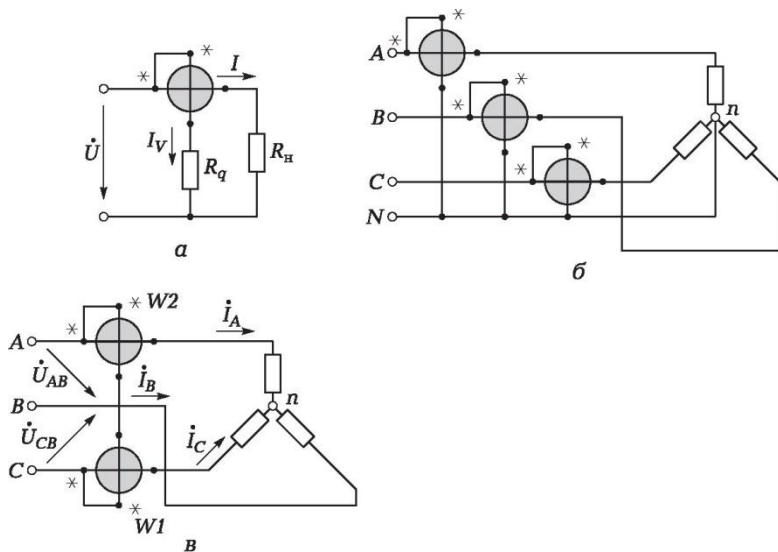
Ауыспалы ток тізбектерінде қуатты өлшеу. Қабылдағыш S толық қуатын әдеттегідей амперметр-вольтметр әдісімен өлшейді:

$$S = UI$$

бұндағы U, I – сәйкесінше қызмет етуші кернеу және ток мәндері.

Активті $P = UI \cos\varphi$ және реактивті $Q = UI \sin\varphi$ қабылдағыштар қуаттарын ваттметрлер арқылы өлшейді.

Ваттметр арқылы бір фазалық тізбектердегі активті қуат өлшеуі сурет 5.7,а схемасында көрсетілгендей жүргізіледі. Токтық ораманы тізбекке қабылдағышпен R_n бірге (яғни, ток тізбегіне) дәйекті түрде қосады, кернеу орамасын – U кернеуге қабылдағышқа R_n қатарлас қосады.



Сурет 5.7. Қуатты өлшеу схемалары:

А – ауыспалы токтың бір фазалық тізбегінде; б – үшфазалық төртсымдық желіде; в – екі ваттметр әдісімен үшсымдық желіде.

Бір фазалық тізбектердегі реактивті қуатты арнайы схемалар бойынша кәдімгі ваттметрлерді қосу арқылы зерттеулерді жүргізу кезінде зертханаларда ғана өлшейді.

Ауыспалы токтың үшфазалық тезбегінде симметриялық жүктемеде қабылдағыштың толық қуаты амперметр-вольтметр әдісімен өлшенуі және келесі формула арқылы есептелуі мүмкін:

$$S = \sqrt{3}UI,$$

Бұндағы U , I – сәйкесінше қызмет етуші сызықты кернеу және ток мәндері.

Симметриялы жүктемедегі қабылдағыштың толық қуаты:

$$S = S_1 + S_2 + S_3,$$

бұндағы S_1, S_2, S_3 – қабылдағыш фазаларының толық қуаттары.

Үшфазалық төртсымды тізбекте активті қуатты өлшеу кезінде үш ваттметрді қосады (сурет 5.7,б). Қабылдағыштың активті қуаты олардың сомалары көрсеткіштерімен анықталады:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

Үшфазалық тізбектерде екі ваттметр әдісімен активті қуатты өлшеу кең таралған. Бұл әдіс үшсымдық тізбек үшін ғана

қолданылады. W_1 және W_2 ваттметрлерін қосудың мүмкін схемаларының бірі сурет 5.7, в көрсетілген. Ваттметрлер көрсеткіштері сомалары қабылдағыштың активті қуатын анықтайды:

$$P = \alpha_{W_1} + \alpha_{W_2},$$

Симметриялық жүктемеде бұл сома келесі түрде көрсетіледі:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi,$$

бұндағы U, I – сәйкесінше сызықты кернеу мен тоқтың қызмет етуші мәндері; φ – фазалық кернеу U_ϕ және ток I_ϕ арасындағы фазалар қозғалуы.

Үшфазалық қабылдағыштың реактивті қуаты $\sqrt{3}$ көбейтілген ваттметрлер көрсеткіштерінің айырмасына тең.

$$Q = \sqrt{3}(\alpha_{W_1} + \alpha_{W_2}),$$

Симметриялық жүктемеде реактивті қуатты арнайы схемаларға қосылған екі немесе үш ваттметрлер әдісімен өлшейді.

Активті және реактивті энергияны өлшеу. Ауыспалы тоқтың бір фазалық тізбектеріндегі активті энергияны ваттметрлер схемасына қосу арқылы индукционды есептегіштермен өлшейді. Активті энергия ватт-секунд немесе киловатт-сағат түрінде белгіленеді. Энергиямен жабдықтау жүйелерінде активті энергияны өлшеу үшін екі және үш элементті есептегіштерді көп қолданылады. Үшфазалық тізбектерде реактивті энергия үшфазалық үш элементті есептегіш көмегімен есептеледі.



Есте сақтаңыз

- Электр қуатын электродинамикалық немесе ферродинамикалық жүйе ваттметрлерімен өлшейді.
- Бақылаушы тізбекке ваттметрдің дұрыс қосылу мауының алдын алу үшін ваттметрлердің өлшегіш тізбектері басын «жұлдызша» белгісімен белгілейді. Бұндай қысқыштар генераторлық деп аталады. Олар электроэнергияның бір полюсіне қосылып тұруы қажет.
- Ваттметрлер мен электроэнергия есептегіштерінің өлшеу шектерін кеңейту үшін олардың ток тізбектерін шунт немесе ток өлшегіш трансформаторларына қосады. Ал кернеу тізбектеріне – қосымша кедергілер немесе кернеу трансформаторлары қосылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Ваттметрлер ретінде қандай өлшегіш құралдар жүйесі қолданылады?

2. Тұрақты ток тізбектерінде қуатты өлшеудің қай әдісі көбінесе қолданылады?
3. Ауыспалы ток тізбектерінде толық қуатты қалай өлшейді?

5.5. ЭЛЕКТРЛІК КЕДЕРГІНІ ӨЛШЕУ

Амперметр—вольтметр әдісімен өлшеу. Қандайда бір электрлік қондырғының немесе электрлік тізбектің кедергісін амперметр-вольтметр әдісімен (5.8 сурет) Ом заңын пайдалана отырып анықтауға болады. Бұл әдіс аз және орташа кедергіні өлшеудің айрықша қарапайым түрі болып табылады.

Құралдар 5.8, *а* суретінде көрсетілген схема бойынша қосылған кезде, амперметр арқылы тек қана өлшенетін ток I_x емес, вольтметр арқылы жүретін ток I_v та өтеді. Сондықтан, кедергі

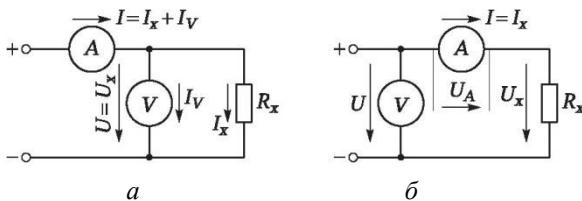
$$R_x = \frac{U}{I - U/R_v}$$

мұндағы R_v — вольтметр кедергісі.

Құралдар 5.8, *б* суретінде көрсетілген схема бойынша қосылған кезде, вольтметр белгілі бір кедергідегі тек кернеудің төмендеуін U_x ғана емес, сонымен қатар, амперметр орамындағы кернеудің төмендеуін де $U_A = IR_A$ өлшейді. Сондықтан

$$R_x = U/I - R_A$$

мұндағы R_A — амперметр кедергісі.



5.8 сурет. Амперметр—вольтметр әдісімен кедергіні өлшеу : *а* — аз кедергілерді өлшеуге арналған схема; *б* — көп кедергілерді өлшеуге арналған схема

Құралдардың кедергісі белгісіз болатын жағдайлардың салдарынан олар есептеліне алмайды. Сондықтан аз кедергілерді өлшеуде 5.8, *а* суретінде көрсетілген схеманы, ал көп кедергілерді өлшеуде 5.8, *б* суретінде көрсетілген схеманы пайдалану қажет. Бұл ретте бірінші схемадағы токпен I_v , ал екіншісіндегі кернеудің төмендеуімен U_A , анықталатын өлшеу қателігі токпен I_x және кернеумен U_x салыстырғанда аса үлкен болмайды.

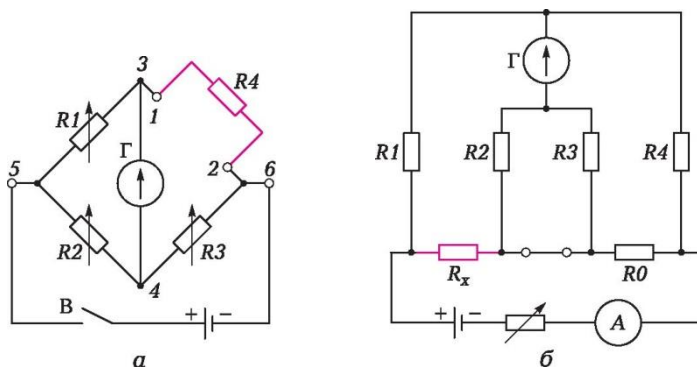
Кедергіні электрлік көпірлермен өлшеу. Көпір схемасы қуат көзі, сезгіш құралдан (гальванометр Γ) және төрт резисторлардан тұрады. Олар өлшеу кезінде өзгере алатын (5.9, *а* сурет) белгісіз кедергілермен R_x (резистор $R4$) және белгілі кедергілермен R_1, R_2, R_3 көпір иініне қосылады.

Құралды көпірдің диагональдарының (өлшенетін) біріне, ал қуат көзін басқасына (коректендіргішке) қосады.

В түйіспесінің тұйықталуы кезінде құралдың көрсеткіші нөлге тең болатындай етіп (мұндай жағдайда көпірді тепе-тең деп айтуға болады) кедергілерді R_1, R_2 және R_3 таңдауға болады. Бұл реттегі белгісіз кедергі

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Кейбір көпірлерде қатынас иін қатынастары R_1 / R_2 тұрақты. Ал көпірдің тепе-теңдігі тек құралдың кедергісімен R_3 анықталады.



5.9 сурет. Кедергіні өлшеуге арналған тұрақты токтың көпір схемасы:
а — тұрақты токтың көпір схемасы; *б* — аз кедергілерді өлшеуге арналған тұрақты токтың қос көпірі

Ал басқаларында, керісінше, кедергі R_3 тұрақты, ал тепе-теңдікке кедергілерді R_1 және R_2 таңдау жолымен жетеді.

Белгісіз кедергіні R_x құралдың шкаласы бойынша есептейтіндіктен, қолданылу кезінде есептеуді қажет етпейтін тұрақты ток көпірінің әр түрлі құрылымдары бар. Онда құрастырылған кедергі жинағы 10-нан 100 000 Омға дейін өлшеуге мүмкіндік береді.

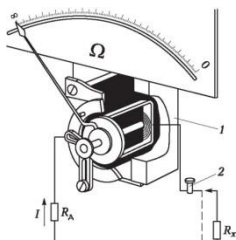
Аз кедергілерді жалғастыратын сымның және түйісуші байланыстың әдеттегі кедергі көпірлерімен өлшеу көбінесе өлшеу нәтижелерінде үлкен қателіктер енгізеді. Ал оларды болдырмас үшін тұрақты токтың қос көпірлері (5.9, б сурет) пайдаланылады. Бұл көпірлерде резисторды өлшенетін кедергімен R_x және кейбір үлгі резисторлары кедергімен R_0 , көпірдің басқа резисторларымен және олардың түйісуші сымдарымен байланыстыратын сымдар дәйекті түрде кедергісі 10 Омнан кем болмайтын сәйкес иіндердің резисторларымен қосұлы болады. Сондықтан да олар өлшем нәтижелеріне іш жүзінде әсер етпейді. Резисторды кедергілермен R_x және R_0 байланыстыратын сымдар да қуат тізбегіне кіреді. Және көпірдің тепе-теңдік жағдайына ықпал етпейді. Сол себепті аз кедергілерді өлшеудің нақтылығы айтарлықтай жоғары. Көпірді сәйкестендіру кезінде оны келесі жағдайлар сақталатындай етіп орындайды: $R_1 = R_2$ и $R_3 = R_4$. Сонда:

$$R_x = \frac{R_0}{n}$$

Қос көпірлер 0,000001 -ден 10 Омға дейінгі кедергілерді өлшеуге мүмкіндік береді.

Егер көпір тепе-тең болмаса, өлшеуіш диагональдің тогы кедергінің R_1 , R_2 , R_3 өзгеріссіз мәндері және ЭҚК ток көзі тек R_x кедергісінің өзгеруіне тәуелді болатындықтан, гальванометр меңзері нөлден ауып кететін болады. Бұл гальванометр шкаласын кедергі R_x бірліктерімен немесе бұл кедергі тәуелді қандай да басқа (температура, қысым және т.с.с.) бірліктерімен бөлуге мүмкіндік береді. Сол себепті тұрақты токтың тепе-тең емес көпірі электрлік әдістермен бейэлектрлік шамаларды өлшеуге арналған түрлі құрылғыларда кеңінен қолданылады.

Омметрмен өлшеу. Омметр магнитті электрлік механизмді миллиамперметрді 1 қамтиды және өлшенгіш кедергімен R_x (5.10 сурет) және тұрақты ток тізбегінде қосымша резистормен R_Δ дәйекті қосылады. ЭҚК көзінің және резистор кедергісінің R_Δ өзгеріссіз күйінде тізбектегі ток тек қана кедергіге R_x тәуелді.



5.10 сурет. Омметрді қосу схемасы:

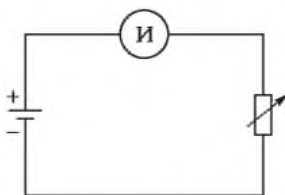
1 — миллиамперметр; 2, 3 — құрал қысқышы; 4 — құрғақ гальваникалық элемент.

Бұл құралдың шкаласын тікелей омда өлшемдеуге мүмкіндік береді. Егер құралдың шығыс қысқыштары 2 және 3 қысқа тұйықталған болса (штрихті сызыққа назар ауд.), тізбектегі ток I максималды болады және құралдың меңзері үлкенірек бұрышқа солға қарай ауытқиды. Құралда оған сәйкес кедергі нөлге теңеледі. Егер құрал тізбегі ашық болса, онда $I = 0$ және меңзер шкаланың басында болады. Бұл жағдайға шексіздікке тең кедергі сәйкес келеді.

Құралды қоректендіру құрал корпусында орнатылған құрғақ гальваникалық элементтен 4 жүзеге асырылады. Ток көзінде өзгермейтін ЭҚК (құралдың шкаласы өлшемделген кезіндегі) болған жағдайда құрал дұрыс көрсеткіштер береді. Кейбір омметрлерде екі немесе одан да көп өлшеудің шектіктері болады. Мысалы, 0-ден 100 Омға дейін және 0-ден 10000 Омға дейінгі. Осыған байланысты өлшеуіш кедергілі R_x резистор әр түрлі қысқыштарға қосады.

Омметрлер іс жүзінде өте ыңғайлы. Дегенмен, шкаланың біркелкі болмауынан және қоректендіру көзінің тұрақсыздығы себептерінен үлкен қателікке ие. Изоляция кедергісін өлшеу үшін көбінесе магниттік-электрлік жүйе мегомметрлері қолданылады.

Жерлендіру кедергісін өлшеу. "Жерге" және бір-біріне қатысты электртехникалық құрылғылардың бөлек бөліктері изоляциясының кедергісін өлшеу үшін мегомметрлер пайдаланылады. Изоляцияның кедергі ережелеріне сәйкес сымдар әрбір қолданыстық кернеуге 1000 Омнан кем болмауы тиіс.



5.11 сурет. Меңзерлік мегомметрді өлшемдеу схемасы



5.12 сурет. Заманауи мегомметрдің сыртқы бейнесі

Мысалы, 220 В қолданыстық кернеулі желі үшін изоляция кедергісі 220 000 Ом немесе 0,22 МОмнан кем болмауы тиіс.

Көрсеткіштері кернеуге тәуелді болып келетін меңзерлік мегомметрлер кернеу көзінен және өлшегіштен тұрады. Егер дәйекті түрде тізбекте реттелуші кедергі R қосылса, өлшегіш (вольтметр) көрсеткіші осы кедергі (тізбектің тұрақты кернеуінде) мөлшеріне тәуелді болады. $R = 0$ болғанда вольтметр көрсеткіші мейлінше жоғары болады. Ал $R = \infty$ болғанда, вольтметр нөлді көрсетеді. Тізбекке түрлі кедергілерді қоса отырып, өлшегіш шамасын тікелей омда (килоомда, мегаомда) өлшемдеуге болады (5.11 сурет).

Қазіргі кезде электрондық мегомметрлер қолданылады (5.12 сурет).



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты токқа резисторлар кедергісін қандай әдістермен өлшейді?
2. Аз және орташа кедергілерді өлшеу үшін қандай әдістер барынша қарапайым болып табылады?
3. Неліктен омметрлерде өлшеудің үлкен қателігі бар?
4. Қандай құралдар изоляция кедергісін өлшеу үшін қолданылады?

5.6. ИНДУКТИВТІЛІК ПЕН СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ӨЛШЕУ

Индуктивтілік L және сыйымдылық C негізінде амперметр, вольтметр және ваттметр көмегі арқылы жанама әдіспен өлшенеді. Ал нақтырақ нәтижелерді алу үшін көпір тәсілі пайдаланылады.

Амперметр — вольтметр — ваттметр тәсілі (5.13 сурет) пассивтік қоспöльүстінің параметрлерін анықтауда айтарлықтай қолжетімді болып табылады. Токтың I , кернеудің U және қуаттың P әрекеттегі өлшем мәнінің нәтижелері толық кедергіні $Z_x = U/I$, белсенді кедергіні $R = P/I^2$ және реактивті кедергіні есептеуге мүмкіндік береді: $X = \sqrt{Z_x^2 - R^2}$.

Егер индуктивтілік өлшенгіш шама ретінде алынса, ол келесі формуламен анықталады

$$L = \frac{X_L}{\omega},$$

ал егер де сыйымдылық болса, келесі формула арқылы анықталады:

$$C = \frac{1}{\omega X_C}.$$

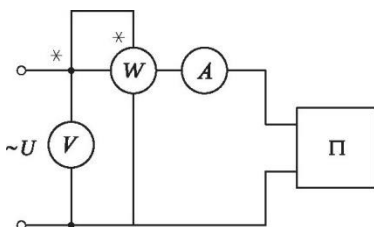
Индуктивтілікті және сыйымдылықты өлшеу үшін **көпір әдісі** де қолданылады. Индуктивті шарғының (R_x , L_x) параметрлерін анықтауға қолданылатын көпір схемасы 5.14 суретте көрсетілген. Көпірдің тепе-теңдігі кезінде индуктивті шарғы орамы сымының омдық кедергісі

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3}.$$

Өлшенетін индуктивтілік

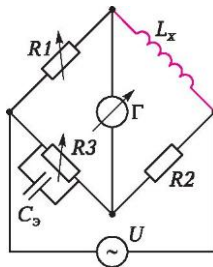
$$L_x = C_3 R_1 R_2,$$

мұнда C_3 — үлгі (эталондық) сыйымдылық.



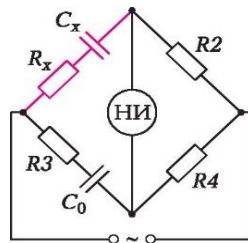
5.13 сурет. Амперметр — вольтметр — ваттметр тәсілімен индуктивтілік мен сыйымдылықты өлшеу схемасы :

П — пассивтік қоспöльүсті



5.14 сурет. Индуктивтілікті өлшеуге арналған көпір

5.15 сурет. Сыйымдылықты өлшеуге арналған көпірдің схемасы:
НИ — нөлдік индикатор



Көпір әдісімен өлшеудің қателігі шамамен 1 — 3 %; өлшеу шектігі — 0,1 — 1 000 Гн.

Аз жоғалтымды конденсатордың сыйымдылығын C_x және кедергісін R_x өлшеуге арналған көпір схемасы 5.15 суретте көрсетілген. Көпірдің тепе-теңдігін қамтамасыз ете отырып, келесі формуланы аламыз:

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_2}; \quad R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}.$$

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Индуктивтілік пен сыйымдылықты өлшеудің қандай әдісі айтарлықтай нақты болып табылады?
2. Шарғының индуктивтілігін тек қана амперметр мен вольтметрді пайдалану арқылы өлшеуге болады ма?
3. Индуктивтілік пен сыйымдылықты өлшеу үшін көпір әдісін пайданудың қиындығы және шектеулігі неде?

5.7. ФАЗАЛАРДЫҢ ЖЫЛЖУЫ МЕН ЖИІЛІГІН ӨЛШЕУ

Жиілікті өлшеу. Өлшеу техникасының маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Бұл мақсаттар үшін тікелей бағалау және салыстыру әдістері қолданылады. Төменгі жиілік аумақтарында (2 кГц дейінгі) жиілікті өлшеу үшін электрмеханикалық жиілік өлшегіш пайдаланылады. Ал жоғары жиіліктерді өлшеу үшін электронды аналогтық және сандық жиілік өлшегіштер қолданылады. Жиілікті осциллографпен де жиі өлшейді (5.16 сурет).

Тікелей бағалау әдісімен өлшеу кезінде қосымша өлшеу құралдары қажет емес. Осциллографты эксплуатациялау бойынша нұсқаулықтарға сәйкес жаймалау ұзақтығын калибрлеуді жасайды және зерттелетін сигналды береді. Синхрондау деңгейінің жаймалау жиілігі мен реттелуін алмастыру арқылы экранда сигналдың тұрақты көрінісіне



5.16 сурет. Қоссәулемлі осциллографтың сыртқы көрінісі

жетеді. Көлденең жаймалау тізбегі бойындағы сигнал периодының (бөлімдерде) толық санын өлшеп, зерттелетін сигналдың Гц жиілігін келесі формуламен анықтайды:

$$f = \frac{n}{lT_p},$$

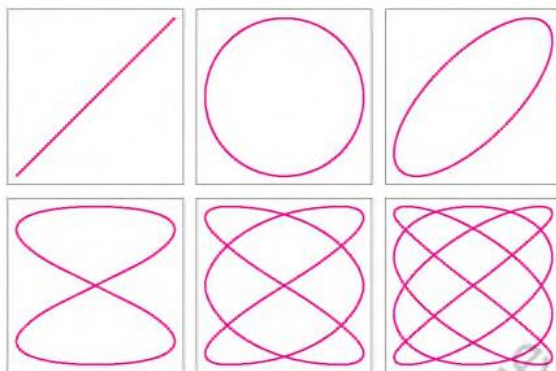
мұндағы n — зерттелетін сигнал периодының саны; l — зерттелетін сигнал периодының үлкен толық саны жататын жаймалау сызығының ұзындығы (масштаб торының бөлімдеріндегі); T_p — зерттелетін диапазондағы жаймалау коэффициенті болып табылады.

Жиілікті бұл әдіспен өлшеу, алдында айтылғындай, басқа да өлшегіш құралдарын қажет етпейді. Бірақ жоғары нақтылықты көрсете алмайды.

Салыстыру әдісімен өлшеу үшін қосымша сигнал генераторы қажет. Ал өлшеуді *Лиссажу фигурасы* әдісімен жасалады.

Сигнал генераторынан жиілігі белгілі сигналды осциллографтың «Х шығысына», ал зерттелетін сигналды «У шығысына» береді. Көлденең жаймалау генераторын қосады. Басқару органдары арқылы көлденең және тік сәуле ауытқушылықтарының шамамен бірдей қарқындарын орнатады. Сигнал генераторының жиілігін өзгерте отырып, экранда Лиссажу фигурасының алғашқы қатарын, яғни эллипс пен шеңберді алуға тырысады (5.17 сурет). Бұл ретте зерттелетін сигналдың және генератордың жиілігі тең болып шығады. Өлшенген жиіліктің мәнін генератор шкаласымен есептейді.

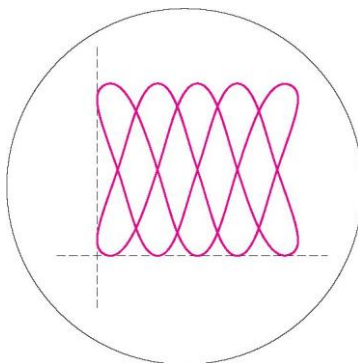
Егер генератор жиілігінің максималды мәні зерттелетін сигналдың жиілігінен төмен болатын болса, жиіліктің еселік қатынасы кезінде осциллограф экранынан алынатын Лиссажу фигураларының күрделі түрлерін пайдалануға болады.



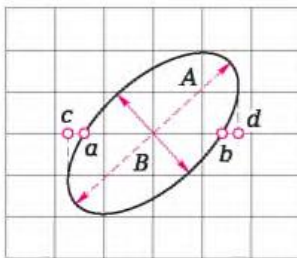
5.17 сурет. Лиссажу фигуралары.

Мұндай осциллограммдарды келесі жолдармен түсіндіреді. Сәуленің көлденең және тік тұрысты ретімен Лиссажу фигурасын экранның масштаб торы көлденең және тік сызықтары фигураның бүйіріне және төменгі (жоғарғы) жақтарына жанасатындай етіп жылжытады (5.18 сурет). Тор сызықтары мен фигураның жанасу нүктелерінің санын есептейді. Осы нүктелер санының қатынасы генератор жиілігінің f_r және зерттелетін f сигналдардың қатынасын көрсетеді. Мысалы, 5.18 суретте көрсетілген фигура үшін, f және f_r жиілігінің қатынасы $5 : 2$ тең, сондықтан зерттелетін сигналдың жиілігін келесі формуламен табады

$$f = \frac{5f_r}{2}.$$



5.18 сурет. Зерттелетін және эталондық сигналдар жиілігінің $5:2$ қатынасы кезіндегі Лиссажу фигурасы



5.1.9. сурет. Эллип әдісі арқылы фазалардың жылжуын өлшеу

Фаза жылжуын өлшеу. Жиіліктің артқы диапазонындағы әр түрлі төртпөлүстілерді (трансформаторлар, сүзгілер, күшейткіштер және т.б.) зерттеу кезінде, сонымен қатар, фаза жылжуының жиілігіне байланысты екі кернеу арасындағы фаза жылжуы *тікелей бағалау және салыстыру әдістерімен* анықталады. Фаза жылжуы радианмен немесе градуспен беріледі.

Фаза жылжуын өлшеуге арналған электрдинамикалық (төмен жиіліктегі), электронды, сандық фаза өлшегіштер және осциллограф (жоғары жиіліктегі) көбірек таралған.

5.19 суретте екі кернеу арасындағы фаза жылжуының бағалау тәсілі электронды-сәулелік осциллограф көмегімен *эллипс әдісі* арқылы көрсетілген.

Зерттелетін кернеудің бірі $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ Y шығысына береді. Ал басқасы $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$ — электронды-сәулелік осциллографтың X шығысына береді. Экранда эллипс фигурасы пайда болады. Эллипстің центрі координата басымен қиылысады. Эллипстің осьтермен қиылысу нүктелерін табады және максималды абсциссаны (ординатаны) анықтайды. $t = 0$ және $t = 2\pi/\omega$ болғанда, кернеу $u_1 = 0$, ал кернеу $u_2 = \pm U_{2m} \sin \phi$ болады. Эллипстің ab кесіндісі $2U_{2m} \sin \phi$ пропорционал, ал кесінді cd , көлденең сәуленің максималды ауытқуына сәйкес, $2U_{2m}$ пропорционал. Сонда:

$$\phi = \arcsin \frac{ab}{cd}.$$

Фаза бойынша және эллипстің үлкен B және кішкентай A осьтерінің қатынасы бойынша жылжуды есептеп табуға болады:

$$\phi = 2 \arctg \frac{B}{A}.$$

Фаза жылжуын осциллографпен өлшеу қателігі 5 — 10 % құрайды және кесінді ұзындығының санаудың нақты еместігімен, зерттелетін кернеулерде жоғары гармоника болғандықтан эллипстің деформациялануымен, құрал каналдарындағы фаза жеке ығыстырушының болуымен анықталады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Жиілікті өлшеудің қандай әдістері бар?
2. Осциллограф экранындағы Лиссажу фигурасы арқылы белгісіз жиілікті қалай анықтауға болады?
3. Фаза жылжуын эллипс әдісі арқылы өлшеудің мәні неде?



БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАРДЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Электрөлшегіш құралдардың қолданысы мен типтері.
2. Электрлік әдістермен бейэлектрлік шамаларды өлшеу.
3. Электрөлшегіш құралдардың өлшеу шектерін кеңейту әдістері және оларды жүзеге асыру.
4. Аналогтық және өлшеуіш құралдарының даму тенденциясы.
5. Сандық өлшеу құралдарының даму тенденциясы.
6. Микропроцессорлық техникаларды сандық өлшеу құралдарын дамытуда пайдалану.

ТРАНСФОРМАТОРЛАР

К

Бұл бөлімді оқу нәтижесінде сіздер толық меңгеретін боласыздар:

■ ***Жұмыс істеуде:***

- трансформатордың негізгі параметрлерін анықтау;
- трансформатордың параметрлерін өлшеу үшін электрлік

схемалар құру;

- электрлік тізбекте үшфазалы трансформаторды қосу үшін электрлік схема құру ;
- сипаттамасы бойынша трансформатордың ПӘК есептеу ;

■ ***Білетін боласыздар:***

- трансформаторлардың қолданысын, құрылғысын, әрекет ету принциптері мен пайдалану аймақтарын;
 - трансформатордың негізгі параметрлерін;
 - электрлік тізбекке трансформаторды қосу схемасын;
 - автотрансформаторлардың электрлік схемасын,
- артықшылықтары мен кемшіліктерін, пайдалану аймақтарын;
- үшфазалы трансформаторларды қосу схемасы және пайдалану аймағын.

6.1. ТРАНСФОРМАТОРДЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ МЕН ҚЫЗМЕТ ЕТУ ПРИНЦИПІ



Трансформатор деп бір кернеудің ауыспалы тогын, бірақ басқа кернеудің сол жиіліктегі ауыспалы тогына өзгертетін статикалық (қозғалыстығы бөліктерсіз) электромагнитті аппаратты айтамыз.

Трансформатор электр энергиясын беру және тарату жүйелерінде, сонымен қатар, өндірісте және де тұрмыста түрлі деңгейдегі кернеуді алу

үшін пайдаланылады. Оларды қолдану тұтынушыларға электр энергиясын үнемді түрде тасымалдаумен қамтамасыз етеді. Ал оны беру жоғарылатылған кернеу арқылы жүргізіледі. Бұл электр тасымалдау желісінің (ЭТЖ) кесілуін және ондағы қуаттың жоғалуын азайтады.

30 қараша 1876 ж. — орыс ғалымы және өнертапқышы П. Н. Яблочковтың патент алған күні еді. Сондықтан да бұл күн бірінші трансформатордың туылған күні болып саналады. Бұл орамдар оралатын өзек болып саналып, ажыратылған өзекті трансформатор болатын. Ажыратылған өзекті алғашқы трансформаторлар 1884 ж. Англияда ағайынды Джон және Эдуард Гопкинстармен жасалған.

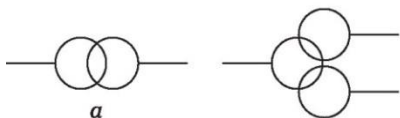
Трансформаторлар қолданылуы бойынша күштік және арнайы қолданыстағы (өлшеуіш, пісіргіш, келістіруші) болып бөлінеді. Күштік трансформаторлар бір және үшфазалы, жоғарылатушы және төмендетуші болып келеді. Трансформатордың шартты графикалық белгілері 6.1 суретте көрсетілген.

Трансформатор тұйықталған болат *магнит өткізгіштен* және екі немесе одан да көп өзара индуктивті байланысқан *орамнан* тұрады.

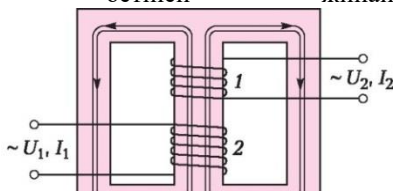
Магнитөткізгіш орам арасындағы электромагнитті байланысты күшейту үшін қажет. Қос орамдық трансформатордың схемалық құрылысы 6.2 суретте көрсетілген.

Бір фазалы трансформатордың сыртқы көрінісі 6.3 суретте көрсетілген.

Электр энергиясы көзінің желісіне қосылған орам *бірінші реттік* орам деп аталады. Ал электр энергиясы қабылдағышқа берілетін — *екінші реттік* орам деп аталады. Құйынды токтан шығынды азайту үшін трансформатордың магнит өткізгішін 0,35 немесе 0,5 мм электртехникалық болат бетінен жинайды.



6.1 сурет. Трансформаторлардың шартты графикалық белгілері:
а — қосорамды; б — үшорамды



6.2. сурет. Трансформаторлардың схемалық құрылысы:
1 — бірінші реттік орам; 2 — екінші реттік орам



6.3 сурет. Бір фазалы транс-форматор сыртқы

Беттер бір-бірінен арнайы металлургиялық өңдеу арқылы алынатын лакпен, жұқа қағаз немесе қабыршақ қабатымен ажыратылады. Әдетте беттерді үсті-үстімен, яғни саңылауларды жабумен жинайды. Бұл магнит өткізгішті жоғары магнит өтімділігінен қамтамасыз етеді және құйынды токтардың кіру жолдарын шектейді.

Трансформаторлар орамы әдетте дөңгелек немесе тік қиманың бір-бірінен ажыратылған жез немесе алюминий цилиндрлік шарғы түрінде орындалады.

Жоғары кернеулі желімен байланысқан орам жоғары кернеу орамы (ЖК), ал басқасы — төменгі кернеу орамы (ТК) деп аталады.

Трансформатордың әрекеті электромагнитті индукция құбылысына негізделеді.

Трансформатордың әрекет ету принциптерін бір фазалы қосорамдық трансформатордың мысалында (6.2 суретке назар ауд.) қарастырамыз. Трансформаторда индуктивті байланысқан екі орам бар: w_1 орам санымен **бірінші реттік** және w_2 орам санымен **екінші реттік**. Бірінші реттік орамды ауыспалы кернеуге U_1 қосу кезінде сол арқылы трансформатор өзекшесінде ауыспалы магнитті ағымды Φ іске қосатын ток I_1 өтетін болады. Бұл ағым трансформатор орамдарының орамымен өтіп, онда ЭҚК E_1 және B_2 индукцияланатын болады. Ал олардың шамасы орамдардың орам санына (w и W_2), магнит ағымы амплитудасына және оның өзгерістерінің жиілігіне тәуелді болады. Егер екінші реттік орамды қандай да бір электр энергиясын Z қабылдағышқа тұйықтайтын болса, бұл орам және қабылдағыш Z арқылы I_2 тогы өтеді.

Электр энергиясы тасымалдану арқылы бірінші реттік тізбектен екінші реттік тізбекке беріледі.

Трансформатордың бірінші реттік және екінші реттік орамдарында индукцияланатын ЭҚК қазіргі мәні келесі формулалармен анықталады:

$$E_1 \cong 4,44w_1f\Phi;$$

$$E_2 \cong 4,44w_2f\Phi,$$

мұндағы w_1, w_2 — бірінші және екінші реттік орамдарының сәйкес орам саны; f — ток жиілігі; Φ — өзекшедегі магнитті ағымның амплитудасы.

Трансформатор орамындағы кернеулерде кернеудің шашылу және азаю ағымдары едәуір аз. Сондықтан алғашқы қысымдағы U_1 кернеу және қайталама U_2 осы орамдардың ЭҚК тең, яғни $U_1 \ll E_1$ және $U_2 \ll E_2$.

Трансформатордың бос жүрісі кезінде (шығыста қуаттың болмауы) екі кернеу де сәйкес ЭҚК шамасы бойынша іс жүзінде еш ерекшеленбейді. Трансформатордың бос жүрісі кезіндегі алғашқы және қайталама орам қысымындағы кернеу қатынасы **трансформация коэффициенті** деп аталады және k әріпімен белгіленеді:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Осылайша, егер трансформатордағы бірінші реттік және екінші реттік орамдарында әр түрлі орам саны болса, бірінші реттік орамның ауыспалы кернеуі U_1 токтың тізбегіне қосылған кезде, екінші реттік орамның қысқышында U_1 кернеуіне тең емес кернеу U_2 пайда болады. Егер екінші реттік орамда орам саны бірінші реттіктегіден кем болса, ондай шамада екінші реттік орам қысқышында бірінші реттік орамдағыдан кем кернеу болады. Ал трансформатор **төмендетуші** болып табылады. Егер екінші реттік орамда орам саны бірінші реттіктен артық болса, ондай шамада екінші реттік орам қысымында бірінші реттік орамдағыдан артық кернеу болады. Ал трансформатор **жоғарылатушы** болып табылады.

6.1 мысал. Өндіріс жиілігі 50 Гц электр желісіне қосылған. Екі трансформаторындағы бірінші орамының ЭҚК анықтау қажет. Трансформатор өзекшесіндегі магнит ағымының амплитудасы $\Phi = 0,01$ Вб, ал бірінші реттік орамның орам саны 100 -ге тең.

Шешімі:

Электрқозғалтқыш күш келесіні құрайды:

$$E_1 = 4,44 w_1 f \Phi = 4,44 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 0,01 = 222 \text{ В.}$$



Есте сақтаңыз

- Трансформатордың әрекеті электромагниттік индукция құбылысына негізделеді.
- Электр энергиясы тасымалдану арқылы трансформатордың бірінші реттік желісінен екінші реттік желісіне беріледі.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қандай электртехникалық құрал трансформатор деп аталады?
2. Трансформатордың жұмыс принциптері неден құралады?
3. Трансформаторларды пайдалану аумақтары қандай?
4. Трансформатордың әрекеті қандай құбылысқа негізделеді?
5. Трансформатордың магнит өткізшіндегі құйынды тоқты азайту үшін қандай әдістер қолданылады?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Бір фазалы трансформатор 220 В желіге қосылған. Трансформатордың бірінші реттік орамында 800 орам, ал екінші реттікке — 40 орам бар. Трансформацияның коэффициентін және екінші реттік орамның кернеуін табыңыз.
2. Трансформация коэффициенті 20,5 және бір фазалы трансформаторды кернеумен екінші реттік орамға 400 В қосуға болатын желі кернеуін есептеңіз.
3. Егер бірінші реттік орамдағы орам саны $w_1 = 800$, ал кернеу $U_1 = 440$ В, магнит өткізгіштің кима ауданы $S = 18 \text{ см}^2$, ауыспалы ток жиілігі $f = 50$ Гц болса, трансформатор магнит өткізшіндегі магниттік индукцияның амплитудасын анықтаңыз.

6.2. ТРАНСФОРМАТОРДЫҢ ЖҰМЫС РЕЖІМІ

Трансформатордың *жұмыс режимі* кезінде оның w_1 және w_2 орамдары арқылы I_j және I_2 токтары орамдағы U_j және U , кернеуінде өтеді. Ал *номинал қолданыс режимінде* — номинал токтар $I_{1н}$ және $I_{2н}$ номиналды кернеулерінде $U_{1н}$ және $U_{2н}$ өтеді.

Трансформатордың бірінші реттік орамындағы кернеудің төмендеуін ескермегенде, $U_j = E_j$ деп есептеуге болады. Сонда кернеудің $U_j = U_{1н}$ өзгеріссіз мәнінде трансформатордың кез келген жүктемеде ЭДС E_j тұрақты болады. Өйткені ЭҚК E_j магниттік ағымға тәуелді ($E_j = 4,44w_j\Lambda$), сонда магниттік ағымды да кез келген жүктемеде тұрақты деп есептеуге болады.

Трансформатордың екінші реттік орамында өтетін ток I_2 Ленц ережесіне сәйкес өзінің магниттік ағымын құрайды. Бірінші реттік орамның магниттік ағымына қарама-қарсы бағытталады және оны азайтуға тырысады. Соңғы магниттік ағым өзгеріссіз қалуы үшін, екінші реттік орамның магниттік ағымы бірінші реттік орамның магниттік ағымына теңесуі тиіс. Сондықтан токтың I_2 ұлғаюы кезінде I_1 тогы да ұлғаяды.

Осы токтармен жасалатын магниттік ағымдар теңдеседі. Ал өзекшедегі қорытқы магниттік ағым іс жүзіндегі өзгеріссіз мәнін сақтап қалады.

Егер трансформатордағы жоғалтымды елемегенде, желіден қолданылатын және тұтынушыларға берілетін трансформатор қуаттарын тең деп санауға болады:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2.$$

Сонда:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = k.$$

Төмендетуші трансформаторда $U_1 > U_2$ k рет; $I_1 < I_2$ k рет.
Жоғарылатушы трансформаторда ара қатынастары керісінше.



Есте сақтаңыз

$k > 1$ болғанда трансформатор төмендетуші, ал $k < 1$ — жоғарылатушы. Трансформатор қайтымды құрал болып табылады. Сондықтан кез келген трансформатор жоғарылатушы да, сонымен бірге төмендетуші де болып қолданыла алады.

Жұмыс режиміндегі трансформатор жүктелімі жүктеме коэффициентімен есептеледі:

$$\beta = \frac{P_2}{S_n \cos \varphi} = \frac{I_2}{I_{2н}},$$

мұндағы P_2 — трансформатордың пайдалы қуаты; S_n — трансформатордың номинал толық қуаты; $\cos \varphi$ — қуат коэффициенті.

6.2 мысал. Кернеудің бос жүруі кезінде бір фазалы трансформатордың кірісінде $U_1 = 4$ кВ, ал шығысында $U_2 = 220$ В болады. Трансформатор номинал жүктемесі кезінде желіден толық қуатты $S_1 = 25$ кВ • А қолданады. Трансформатордың (жүктеме тогы) екінші реттік желісіндегі тоқты I_2 анықтау қажет. Трансформатор жоғалтымын ескермеу қажет.

Шешімі

Трансформация коэффициентін анықтаймыз:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{4\,000}{220} = 18,18 \approx 18,2.$$

Бірінші реттік орамдағы ток

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} = \frac{25\,000}{4\,000} = 6,25 \text{ A.}$$

Екінші реттік орамдағы ток

$$I_2 = I_1 k = 6,25 \cdot 18,2 = 113,75 \text{ A.}$$

?

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Трансформация коэффициенті деп не аталады және оны қалай анықтайды?
2. Трансформатор жүктемесі артқанда неліктен бірінші реттік орамдағы ток артады?
3. Жүктеме кезінде трансформатор жұмысы қандай коэффициентпен бағаланады?
4. Егер жүктеме өзгерісі кезінде екінші реттік орамдағы ток ұлғайса, трансформатордың бірінші реттік орамындағы ток та өзгере ме?

П

ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМА

1. Кернеуі 220 В желіге қосылған бір фазалы трансформатордың трансформация коэффициентін анықтаңыз. Тұтынылатын трансформатор қуаты 2,2 кВт, ал екінші реттік орамдағы ток — 2,5 А құрайды.
2. $S_M = 33 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ номинал қуатты бір фазалы трансформатордың бірінші реттік орамында орам саны 180, ал екінші реттік орамда 104. Бірінші реттік орам қысымында кернеу $U_1 = 380 \text{ В}$. Екінші реттік орамдағы кернеуді табыңыз.

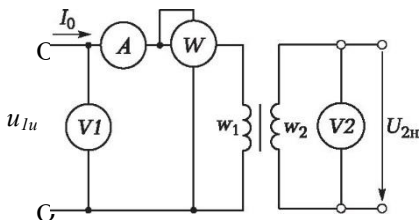
6.3. БОС ЖҮРІС ПЕН ҚЫСҚА ТҰЙЫҚТАЛУ ТӘЖІРИБЕСІ

Трансформаторды сынаудың негізгі әдістеріне бос жүріс және қысқа тұйықталу тәжірибелері жатады.

Трансформатордың бос жүріс тәжірибесі кезінде (6.4 сурет) оның екінші реттік орамы ажыратылған және бұл орамда ток жоқ ($I_2 = 0$), ал бірінші реттік орам болса ауыспалы токтың электр энергия көзі желісіне қосылған.

Мұндай жағдайларда бірінші реттік орамда бос жүріс тогы I_0 өтеді, ол трансформатордың номинал тогымен салыстырғанда аз шаманы білдіреді.

6.4 сурет. Трансформатордың бос жүріс тәжірибесінің схемасы



Көп қуатты трансформаторларда бос жүрісті ток номинал токтың 5 — 10 % мәніне, ал аз қуатты трансформаторларда номиналды токтың 25 — 30 % мәніне жете алады.

Бос жүрісті ток I_0 трансформатордың магнит өткізгішінде магнитті ағым тудырады. Магниттік ағымның қозуы үшін трансформатор желіден реактивтік қуатты тұтынады. Белсенді қуат бос жүріс кезінде трансформаторды пайдалана отырып, гистерезиске және құйынды токқа жоғалтылым болып табылатын, магнит өткізгіштегі жоғалтымды жабу үшін шығындалады. Трансформатордың бос жүріс кезінде реактивтік қуаты белсенді қуаттан айтарлықтай көп болатындықтан, қуат коэффициенті ($\cos \phi$) едәуір аз және 0,2 — 0,3 тең болады.

Трансформатордың бос жүріс тәжірибесі деректері бойынша келесілер анықталады:

- бос жүріс ток күшін I_0 ;
- магнитті өткізгіштің болатындығы гистерезис және құйынды токқа жоғалтылым $P_{ст}$;
- трансформация коэффициенті k .

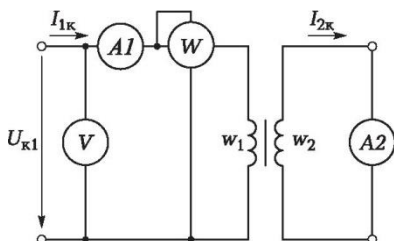
Бос жүріс ток күші I_0 трансформатордың бірінші реттік желісіне қосылған амперметрмен өлшенеді.

Магнит өткізгіштің болатындағы жоғалтым трансформатордың бірінші реттік желісіне қосылған ваттметрмен өлшенеді. Бұл бірінші реттік өткізгіштердегі жоғалтым негізінде жасалады. Өйткені аз бос жүріс тогының болмашылығынан ескермеуге және оны бос жүріс кезінде барлық қуат тек болаттағы жоғалтымға жұмсалады деп есептеуге болады.

Трансформатордың трансформация коэффициенті бірінші реттік және екінші реттік желілерге қосылған вольтметр көрсеткіштерінің қатынасымен анықталады.

Қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде трансформатордың екінші реттік орамы қысқа тұйықталған. Яғни екінші реттік орам қысымындағы кернеу нөлге тең (6.5 сурет). Пайдалану және тәжірибе жағдайларында қысқа тұйықталуды ажырата білу қажет.

Пайдалану жағдайларында қысқа тұйықталу — апаттық жағдай болып табылады. Өйткені, трансформаторда жылудың көп бөлігі бөлінеді және оны күйрете алатындай



6.5 сурет. Трансформатордың қысқа тұйықталу тәжірибесінің схемасы

көп механикалық күш шығарылады.

Қысқа тұйықталу тәжірибесі мұндай бірінші реттік кернеуде трансформатор орамы токтарының I_1 және I_2 мәні номиналдан аспауы үшін жасалады. Мұндай төмендетілген кернеу **қысқа тұйықталу кернеуі** деп аталады. Әдетте ол номинал мәнінің 5 — 10 % құрайды.

Қысқа тұйықталу тәжірибесінің деректері арқылы қысқа тұйықталу кернеуін, номинал жүктеме $P_{об}$ кезіндегі трансформатор орамдарының қыздырылуына кететін жоғалтымды, қысқа тұйықталу кезіндегі трансформатордың белсенді реактивтік және толық кедергісін анықтайды.

6.3 мысал. Бір фазалы трансформатор өзекшесіндегі максимал магниттік ағым 0,001 Вб тең. Бос жүріс кезіндегі екінші реттік орамда 220 В тең кернеу өлшенген. Ал бірінші реттік орамның орам саны $w_1 = 300$.

Желі жиілігі 50 Гц құрайды. Трансформация коэффициентін және желіні қоректендіргіш кернеуді анықтау қажет.

Шешімі:

Бос жүріс кезінде трансформатордың екінші реттік орамының ЭҚК өлшенген кернеуге тең $U_2 = 220$ В. Екінші реттік орамдағы трансформатор орамдар санын анықтаймыз:

$$w_2 = \frac{E_2}{4,44f\Phi_m} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,01} = 99.$$

Трансформация коэффициенті

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{300}{99} \approx 3.$$

Трансформатордың бірінші реттік орамының электр қозғаушы күші

$$E_1 = kE_2 = 3 \cdot 220 = 660 \text{ В.}$$

Бос жүріс кезінде қоректендіру желісінің кернеуі трансформатордың бірінші реттік орамының ЭҚК аздап ерекшеленеді:

$$U_1 \approx E_1 = 660 \text{ В.}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Трансформатордың қандай параметрлері бос жүріс тәжірибесі деректері бойынша анықталады?
2. Трансформатордың қандай параметрлері қысқа тұйықталу тәжірибесінің деректерімен анықталады?
3. Қандай қуат трансформатордың бірінші реттік желісіне қосылған ваттметрмен өлшенеді?
4. Трансформатордың бірінші реттік желісіне қосылған ваттметр қысқа тұйықталу тәжірибесінде нені көрсетеді?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Бір фазалы трансформатордың бос жүріс тәжірибесі кезінде бірінші реттік орамда кернеу $U_1 = 36$ В, ал екінші реттік орамда кернеу $U_2 = 220$ В өлшенген. Жиілік кезінде желіде 50 Гц. Егер трансформатор өзекшесіндегі максимал магниттік ағым 0,001 Вб құрайтын болса, трансформатордың трансформация коэффициентін, тұтынылатын қуатты P_1 , бірінші және екінші реттік орамдардағы орам санын анықтаңыз.
2. Бір фазалы трансформатор номиналды қуатпен $S = 20$ кВ·А кернеуі 220 В және жиілігі 50 Гц желіге қосылған. Трансформатордың бос жүріс кезіндегі екінші реттік орам қысымдарындағы кернеу $U_{2x} = 24$ В. Егер трансформатор өзекшесіндегі максимал магниттік ағым 0,002 Вб құрайтын болса, трансформатордың трансформация коэффициентін және бірінші және екінші реттік орамдардағы орам санын анықтаңыз.
3. Трансформатордың қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде өлшенген: тұтынылатын қуат $P_k = 50$ Вт, бірінші және екінші реттік желілердегі токтар $I_{1k} = 10$ А, $I_{2k} = 2,5$ А. Сол трансформатордың бос жүріс тәжірибесінде өлшенген: тұтынылатын қуат $P_x = 15$ Вт, қоректендіру кернеуі $U_1 = 120$ В. Номинал жүктеме кезіндегі трансформатордың ПӘК және трансформация коэффициентін анықтаңыз.

6.4.

ТРАНСФОРМАТОРДЫҢ ПӘК ЖӘНЕ СЫРТҚЫ СИПАТТАМАСЫ

Трансформатордың қолданыстық қасиеттері кернеудің жүктемеге U_2 және жүктеме тогына I_2 ПӘК η байланысты сипатталады.



Жүктеменің түрлі сипатындағы (белсенді, индуктивті, сыйымдылық) тәуелділік $U_2 = f(I_2)$ трансформатордың сыртқы сипаттамасы деп аталады.

Трансформатордың сыртқы сипаттамасы $U_2 = f(I_2)$ және тәуелділік $n = f(I_2)$ тәжірибелі және есептік жолдармен алуға болады.

Тәуелділік түрі $U_2 = f(I_2)$ жүктеме сипаттамасымен анықталады. Сонымен, жүктеменің сыйымдылық сипатында ($\cos \varphi < 0$) тоқтың I_2 өсуімен кернеу U_2 ұлғаяды. Ал индуктивтік сипатта ($\cos \varphi > 0$) төмендейді (6.6 сурет).



Пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК), немесе трансформатордың беруі, трансформатордың пайдалы қуатының P_2 электр энергия көзі желісінен P_1 тұтынылатын қуатқа қатынасы болып табылады:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Тұтынылатын қуат P_1 әрдайым пайдалыдан P_2 көп болады. Өйткені трансформатордың қолданысы кезінде ауысатын энергияның жоғалтымы орын алады. Трансформатордағы жоғалтым магнит өткізгіш ΔP болатындағы және орамдардағы ΔP жоғалтымдарынан жиналады.

Осылайша, трансформатормен тұтынылатын қуатты келесі формуламен анықтауға болады:

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{об}}.$$

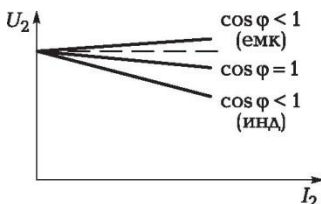
Бір фазалы трансформатордың пайдалы қуаты

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi = \beta S_n \cos \varphi,$$

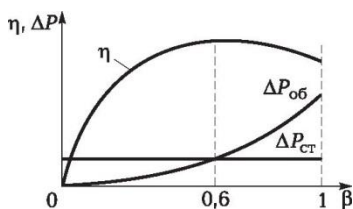
мұндағы β — жүктеме коэффициенті; S_n — трансформатордың толық қуаты, В- А.

Демек, бір фазалы трансформаторға арналған ПӘК-і

$$\eta = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi}{U_2 I_2 \cos \varphi + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{об}}}.$$



6.6 сурет. Жүктеме сипатынан тәуелділік $U_2 = f(I_2)$ (трансформатордың сыртқы сипаттамасы)



6.7 сурет. Жүктеме коэффициентінен β ΔP ΔP және η тәуелділіктері

6.7. суретте β жүктеме коэффициентіне ΔP және η тәуелділіктері көрсетілген.

Трансформатордың ең үлкен ПӘК магнит өткізгіш болаттағы жоғалтым орамдағы жоғалтымға тең болатын жүктеме кезінде болады. Заманауи трансформаторлардың ПӘК айтарлықтай жоғары және толық жүктемеде 95 — 99,5 % жетеді.

$\eta = f(\beta)$ тәуелділік графигінде трансформатордың бастапқы жүктемесі кезінде ПӘК кенет жоғарылайтыны, ал сосын β кейбір мәндерінде максимумға жете отырып, өте аз өзгеретіндігі көрінеді.



Есте сақтаңыз

■ Магнит өткізгіш болаттағы ΔP жоғалтылым магнитөткізгіште ауыспалы ток пен магниттік индукцияның жиілігіне және магнитөткізгіш жасалған болат маркасына тәуелді. Себебі, трансформатордың қолданысы кезінде ток желісінің жиілігі және магниттік индукция өлшенбейді. Содан болаттағы жоғалтым да жүктемеге тәуелді болмайды және тұрақтылығын сақтайды. Әрі бос жүріс жоғалтымына тең болады.

■ Трансформатордың орамдарымен токтардың өтуі трансформатордың жүктелімі коэффициентінің квадратына пропорционал орамдарда қуат жоғалтымын шақырады.

6.4 мысал. Бір фазалы трансформатор белсенді жүктеме кезінде желіден қуат $P_1 = 16$ кВт тұтынады. Пайдалы әрекет коэффициенті 0,95 құрайды. Бірінші реттік орамдағы ток $I_1 = 1,6$ А, трансформация коэффициенті $k = 4$. Трансформатор кірісіндегі және шығысындағы кернеуді анықтау.

Шешімі:

Трансформатор кірісіндегі кернеу

$$U_1 = \frac{P_1}{I_1} = \frac{16\,000}{1,6} = 10\,000 \text{ В.}$$

Жүктеме тұтынатын қуат (трансформатор шығысындағы кернеу),

$$P_2 = P_1 \eta = 16\,000 \cdot 0,95 = 15\,200 \text{ Вт.}$$

Жүктеме тогы

$$I_2 = I_1 k = 1,6 \cdot 4 = 6,4 \text{ А.}$$

Трансформатор шығысындағы кернеу

$$U_2 = \frac{P_2}{I_2} = \frac{15\,200}{6,4} = 2\,375 \text{ В.}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Трансформатордың пайдалы әрекет коэффициенті не деп аталады?
2. Трансформатор магнит өткізгіштегі болатта жоғалтым неге тәуелді ?
3. Трансформатордың орамдарындағы қуат жоғалтымы неге тәуелді?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

Белсенді жүктеме кезінде желіден трансформатор тұтынатын қуат $P_1 = 500$ Вт. Желі кернеуі 100 В, трансформация коэффициенті— 10 құрайды. Жүктеме тоғын анықтаңыз.

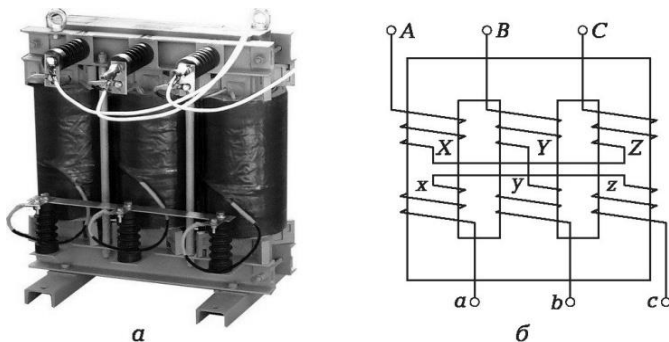
Қуаты $P_2 = 50$ кВт- А трансформатордың болатта $P = 350$ Вт жоғалтымы және толық жүктеме кезінде (100 %) орамаларда $P = 1\,325$ Вт жоғалтымы бар. 100, 75 және 50 % жүктемелер кезіндегі ПЭК табыңыздар.

6.5.

ҮШФАЗАЛЫ ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Үшфазалы токтың трансформациялануы үшін орамдары «жұлдызша» немесе «үшбұрыш» схемалары бойынша байланысуы мүмкін. Үш бір фазалы трансформаторларды қолдануға болады. Дегенмен, іс жүзінде барлығына ортақ магнит өткізгіші бар үшфазалы трансформатордарды (6.8, а сурет) пайдаланады.

Үшфазалы трансформаторлар орамы бір фазалы орамдар секілді конструктивті орындалады. Жоғары кернеу орам фазасының басы A, B және C әріптерімен, ал жоғары кернеу орам фазасының аяғы X, Y және Z әріптерімен белгіленеді.



6.8. сурет. Үшфазалы өзекшелі трансформатор: а — сыртқы көрінісі; б — үшфазалы өзекшелі трансформатордың схемасы

Егер жоғары кернеу орамының шыққан нөлдік нүктесі болса, бұл қысқыш О әріпімен белгіленеді.

Төменгі кернеу орамы қысқыштары келесі әріптермен белгіленеді: a, b, c — фаза басы және x, y, z — фаза аяғы; O — нөлдік нүктені шығару.

Үшфазалы трансформатор орамының бастапқы байланысу әдістеріне «жұлдыз» және «үшбұрыш» болып байланысуы да жатады.

Орамның «жұлдыз» схемасы бойынша байланысуы кезінде барлық үш фазаның аяғы (немесе басы) өзара байланысады. Олар ортақ бейтарап немесе нөлдік нүкте түзеді. Ал үш фазаның еркін қысқыштары басымен (немесе аяғымен) ауыспалы ток электр энергиясы көзіннің (немесе қабылдаушының) өткізгішіне қосылады.

Орамның «үшбұрыш» схемасы бойынша байланысуы кезінде бірінші фаза басы екіншінің аяғымен, екінші фаза басы үшіншінің аяғымен, ал үшінші фаза басы біріншінің аяғымен жалғасады.

Екі орамның «жұлдыз» арқылы байланысуы ең қарапайым және арзан болып табылады. Өйткені әрбір орам және оның ажырауы (жерлендірілген бейтараптама кезінде) тек фазалық кернеулерге және тізбектік токқа шамаланған болуы тиіс. «Жұлдыз»—«үшбұрыш» арқылы байланысуы үлкен қуатты трансформаторлар үшін, төменгі кернеу жағында бейтарап өткізгіш қажет етілмеген жағдайларда пайдаланылады.

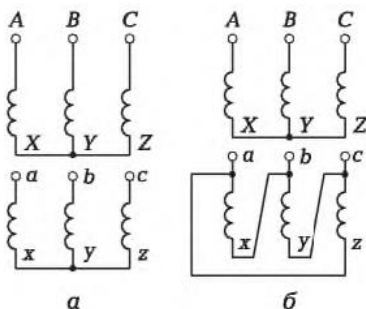
Тізбектік кернеу қатынастары трансформатор орамының байланысу әдістеріне тәуелді. Орамдардың «жұлдыз» немесе «үшбұрыш» схемаларымен байланысқанда, кернеу қатынастары трансформация коэффициентіне тең болады. Олар: «жұлдыз»—«үшбұрыш» және «үшбұрыш»—«жұлдыз» схемасымен байланысқанда, кернеу қатынастары сәйкесінше осы коэффициенттен $\sqrt{3}$ есе көбірек немесе азырақ болады.

Үшфазалы трансформаторлар орам байланысы жұлдыз болса Y , үшбұрыш болса Δ белгіленеді.

Байланысу топтары $Y/Y-0$, мұнда 0

a екінші реттік орамның A бірінші реттік орамымен фазаларының сәйкестігін меңзейді, 6.9, a суретте көрсетілген.

$Y/\Delta-11$ байланысу схемасы 6.9, b суретінде көрсетілген. Мұндағы 11 саны бірінші реттік орамның кернеу векторы U_{AB} фаза бойынша екінші орамды U_{ab} 30° асатынын көрсетеді және сағат нұсқаларының 11 санындағы кезімен дәлме-дәл келеді.



6.9 сурет. Үшфазалы трансформатор орамының байланысу топтары:
 a - $Y/Y - 0$; b - $Y/D - 11$

6.5 мысал. Үшфазалы трансформатор $B_n = 30$ кВ- А номинал (есептік) қуатпен, тізбектік кіріс және тізбектік шығыс кернеулерімен $U_{\Delta 1} = 660$ В және $U_{\Delta 2} = 400$ В, шығыстағы фазалық кернеумен $U_{\phi 2} = 230$ В бос жүріс кезінде $\Delta P_{ct} = 160$ Вт жоғалтымы болады. Ал қысқа тұйықталу кезіндегі жоғалтым $\Delta P_{oc} = 580$ Вт. Жоғары кернеу орамдары «жұлдыз» арқылы байланысқан, төменгі кернеу орамының басы және аяғы қысқыштар тақтасына енгізілген. Яғни бұл берілген орамдарды «жұлдыз» немесе «үшбұрыш» арқылы байланыстыруға мүмкіндік береді.

Фазалық кернеудің трансформация коэффициентін, төменгі кернеулі орамның «жұлдыз» және «үшбұрыш» арқылы байланысу кезіндегі тізбектік кернеудің трансформация коэффициентін анықтау қажет. Номинал жүктемедегі ПӘК және қуат коэффициентінің екі мәнін анықтау: $\cos \varphi = 1$ и $\cos \varphi = 0,7$ қажет.

Шешімі:

Үшфазалы трансформатор кірісіндегі фазалық кернеу

$$U_{\phi 1} = \frac{U_{\Delta 1}}{\sqrt{3}} = \frac{660}{\sqrt{3}} = 380 \text{ В.}$$

Фазалық кернеудің трансформация коэффициенті

$$k = \frac{U_{\phi 1}}{U_{\phi 2}} = \frac{380}{230} \cong 1,65.$$

Екінші реттік орамды «жұлдыз» арқылы байланыстыру кезінде шығыстағы тізбектік кернеу $U_{\Delta 2} = 400$ В, осыған сәйкес, тізбектік кернеудің трансформация коэффициенті

$$k_{\Delta} = \frac{U_{\Delta 1}}{U_{\Delta 2}} = \frac{660}{400} = 1,65;$$

$$k = k_{\Delta} = 1,65.$$

Бұл теңдік бірінші және екінші реттік орамдардың байланысу тобы бірдей болған уақытта әрдайым орындалады.

Екінші реттік орамды «үшбұрыш» арқылы байланыстырған кезде тізбектік кернеу фазалыққа тең болады. Сондықтан:

$$k_{\Delta} = \frac{U_{\Delta 1}}{U_{\phi 2}} = \frac{660}{230} \cong 2,9.$$

Трансформатордың пайдалы әрекет коэффициенті

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P_{ct} + \Delta P_{oc}} = \frac{S \cos \varphi}{S \cos \varphi + \Delta P_{ct} + \Delta P_{oc}},$$

мұндағы ΔP — бос жүріс тәжірибесінде өлшенген магнит өткізгіштегі жоғалтымдар; ΔP — қысқа тұйықталу тәжірибесінде өлшенген орам мысының жоғалтымдары болып табылады. Трансформатордың ПӘК анықтаймыз.

$\cos \varphi = 1$ болғанда

$$\eta = \frac{30\,000 \cdot 1}{30\,000 \cdot 1 + 160 + 580} \cong 0,98.$$

$\cos \varphi = 0,7$ болғанда

$$\eta = \frac{30\,000 \cdot 0,7}{30\,000 \cdot 0,7 + 160 + 580} \cong 0,96.$$

$\cos \varphi$ азаюының басқа да бірдей жағдайларында оның ПЭК кемуіне әкелетіндігін көре аламыз.



Есте сақтаңыз

- Үшфазалы трансформатор орамдарының басты байланысу әдістеріне «жұлдыз» және «үшбұрыш» жатады.
- «Жұлдыз» арқылы байланысу ең қарапайым және арзан болып табылады.
- «Жұлдыз»—«үшбұрыш» байланысын үлкен қуатты трансформаторларға пайдаланады .



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Үшфазалы трансформатор орамдары қалай байланысады?
2. Үшфазалы трансформатор орамдарында ең қарапайым және арзан қандай байланысты атаймыз?
3. Үшфазалы трансформатор орамдарының қандай байланысын үлкен қуатты трансформаторларға пайдаланады ?



ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМАЛАР

1. Үшфазалы трансформатор орамдарын Y/Y схемасымен байланыстырғанда тізбектік кернеудің трансформация коэффициенті 2 тең. Орамдардың Y/Δ схемасы арқылы байланысу кезіндегі тізбектік кернеудің трансформация коэффициентін анықтаңыз .
2. Тізбектік кернеу үшфазалы трансформатор кірісінде $U_{л1} = 660$ В, тізбектік кернеу шығыста $U_{л2} = 220$ В. Бірінші реттік орамдар «үшбұрыш» схемасы, ал екіншісі «жұлдыз» схемасы арқылы байланысқан трансформацияның тізбектік және фазалық коэффициентін табыңыз.
3. Үшфазалы қуатты трансформаторының бос жүріс жоғалтымы 0,12 кВт , қысқа тұйықталу жоғалтымы 0,6 кВт бар. Номинал режимдегі және қуат коэффициентіндегі $\cos \varphi = 0,9$ белсенді жүктеме кезіндегі трансформатордың ПЭК анықтаңыз.

Автотрансформаторлар конструктивті қатынаста трансформаторға ұқсайды (6.10, а сурет). Болат магнит өткізгішке түрлі көлденең қима өткізгіштерінен жасалған екі орам орналастырылады. Бір орамның аяғы басқасының басымен электрлік байланысқа түседі. Яғни екі байланысқан орамдар жоғары кернеулі ортақ орамды құрастырады. Жоғары кернеу орамының бір бөлігі болып табылатын төменгі кернеу орамына автотрансформатордың екі орамының біреуі қызмет етеді. Осылайша, автотрансформатордың жоғары және төмен кернеулері арасында тек магниттік емес, сонымен қатар электрлік байланыс та болады (6.10, б сурет).

Электр энергиясы автотрансформаторда тек электромагниттік жолмен ғана емес, сонымен қатар орамдар арасындағы тікелей электрлік байланыс арқылы да беріледі.

Автотрансформатордағы кернеу мен токтар әдеттегі трансформатордағы қатынаспен байланысады:

$$\frac{U_1}{U_2} \cong \frac{w_1}{w_2} \cong \frac{I_2}{I_1}.$$

Токтар I_1 және I_2 фаза бойынша қарама қарсы, сондықтан орамның ортақ бөлігінде w_2 тогы өтеді

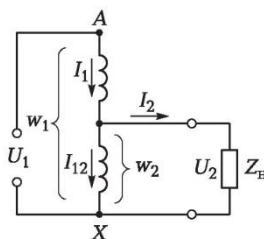
$$I_{12} = I_2 - I_1.$$

Өтпелі деген атауға ие, барлығына берілетін қуат үшін келесіні жазуға болады:

$$S = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = S_o + S_p,$$



а



б

6.10 сурет. Автотрансформатор: а — сыртқы көрінісі; б — принциптік схемасы

мұндағы S_3 — орамнан w_1 орамға w_2 электрлік байланыс арқылы берілетін қуат; S_p — магниттік жолмен берілетін есептік қуат.

Есептік қуат магнит өткізгіштің өлшемін анықтайды және ол тек өтпелі бөлікті құрайтындықтан, автотрансформаторды дайындау кезінде сол қуаттағы әдеттегі трансформаторды құру кезіндегіге қарағанда азырақ қиманың магнит өткізгішін қолдануға болады. Бұл болатты үнемдеуге көмектеседі.

Дәл сол пайдалы қуатты трансформаторы алдында *автотрансформатордың артықшылығы* белсенді материалдардың аз шығындары болып табылады. Яғни орама өткізгіші және магнитөткізгіш болатын аз энергия жоғалтым, айтарлықтай жоғары ПӨК, жүктеме өзгерістері кезіндегі кернеудің аз өзгерісі.

Дегенмен, трансформатор алдында автотрансформатордың артықшылықтары мен қатар айтарлықтай *кемшіліктері* де бар:

- қысқа тұйықталудың аз кедергісі, бұл қысқа тұйықталудың үлкен еселік тогына себепші болады. Яғни ол номинал токтан әлдеқайда көп;
- жоғары кернеудің төмен кернеу желісіне осы желілер арасында электрлік байланыс болуының нәтижесінде ауысу мүмкіндігі;
- энергия көзі және қабылдауыш арасындағы электрлік байланыстың болуы, бұл электр қабылдаушының жерлендірілген полюсі болған жағдайда автотрансформаторды қолдануға жол бермейтіндей етеді;
- таратушы желіні пайдаланушылар бетінің токпен зақымдануы қаупі. Бұдан басқа, екі тізбек те (бірінші және екінші реттік) желінің көтеріліуіне әкелетін жерге қатынасы бойынша бірдей ажыратылуы тиіс.

Автотрансформаторлардың артықшылықтары трансформация коэффициенті бірлікке жақындаған сайын артатын болады. Сондықтан автотрансформаторлар аз коэффициентті трансформацияларда қолданылады ($k = 1 — 2$).



Есте сақтаңыз

- Автотрансформатордағы электр энергиясы тек электромагниттік жолмен берілмейді. Сонымен қатар орамдардың тікелей электрлік байланысы арқылы да беріледі.
- Автотрансформатор артықшылығы трансформацияның аз коэффициентінде ғана едәуір кездеседі.

6.6 мысал. Автотрансформатор кернеуі $U_1 = 220$ В желіге қосылған . Екінші реттік қысқыштардағы кернеу $U_2 = 180$ В, жүктеме тогы $I_2 = 10$ А. Орамда 600 орам бар. Автотрансформатордың трансформация коэффициенті, желіден тұтынылатын токты және жүктеме жалғасқан орам санын анықау қажет.

Шешімі

Автотрансформатордың трансформация коэффициенті

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{180} = 1,22.$$

Желіден тұтынылатын ток

$$I_1 = \frac{I_2}{k} = \frac{10}{1,22} = 8,1 \text{ А.}$$

Жүктеме жалғасқан орам саны:

$$w_2 = \frac{w_1}{k} = \frac{600}{1,22} \approx 492.$$

?

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Автотрансформатордың трансформатордан айтарлықтай айырмашылығы неде?
- 2.Автотрансформатордың магнит өткізгішінің шамасын қандай қуат анықтайды?
- 3.Автотрансформатордың қандай артықшылықтары мен кемшіліктері бар?

П

ТӘЖІРИБЕЛІК ТАПСЫРМА

- 1.Автотрансформатор қуаты 10 кВ- А, кернеуі 220/200 В бірінші реттік орамның орам саны 110. Автотрансформатордың трансформация коэффициентін, екінші реттік орамның орам санын, бірінші реттік рамадағы ток және жүктемеге автотрансформатормен берілетін токты анықтаңыз.
- 2.Автотрансформатор ПЭК 96 %, кернеу 127 В желіге қосылған. Оның екінші реттік орамында ток 8 А өтеді. Кернеу 140 В. Автотрансформатор орамы ортақ бөліміндегі және бірінші реттік орамдағы токты табыңыз.

Т

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫБЫ

- 1.Арнайы трансформаторлардың пайдаланылуы мен оның принциптері.
- 2.Арнайы пайдаланылатын трансформаторлар (мамандық бойынша).
- 3.Үшфазалы трансформаторлардың техникада қолданылуы.
- 4.Трансформаторлық топтарды қосушы схема.

ЭЛЕКТРЛІК МАШИНАЛАР

К Бұл бөлімді оқу нәтижесінде сіздер істей алатын және білетін әрекеттер мен ақпараттар:

■ **істеу:**

- электрлік қозғалтқыштарға олардың сипаттамаларына сәйкес қолданыс параметрлері мен режимдерін анықтау;
- электрлік қозғалтқыштарды іске қосу, жиілікті реттеу және тежелуінің принципті электрлік схемаларын құрастыру ;
- тұрақты ток қозғалтқыштарының дәйекті, параллель, аралас және тәуелсіз қозуы арқылы қосылуының принципті электрлік схемаларын құрастыру;
- тұрақты ток генераторының сыртқы және реттеуіш сипаттамаларын құру;

■ **білу:**

- электрлік машиналардың классификациясы, құрылысы және әрекет ету принциптерін ;
- электрлік машиналардың қайтымдылық принциптерін;
- электрлік машиналарда қозудың магнитті кеңістігін алу жолдарын;
- асинхронды қозғалтқыштардың құрылысы және әрекет ету принциптерін ;
- асинхронды қозғалтқыштардың іске қосу және айналым жиілігін реттеуді;
- асинхронды машиналардың құрылысы және әрекет ету принциптерін ;
- тұрақты ток машиналарының әрекет ету принциптері мен қолданыс аймағын;
- тұрақты ток генераторының қозу орамын қосу схемасын;
- тұрақты ток қозғалтқыштарын іске қосу және айналу жиілігін реттеу.

7.1. ЭЛЕКТРЛІК МАШИНАЛАРДЫҢ КЛАССИФИКАЦИЯСЫ МЕН ӘРЕКЕТ ЕТУ ПРИНЦИПІ

Электрлік машиналар электрлік станцияларда, өндірісте, транспорттарда, авиацияда, автоматтандырылған реттеу және басқару жүйелерінде кең түрде қолданылады. Мұндай машиналар механикалық энергияны электрлікке және керісінше түрлендіре алады.



Механикалық энергияны электрлікке түрлендіруші машинаны генератор деп атаса, электрлік энергияны механикалыққа түрлендіретін машинаны қозғалтқыш деп атайды.



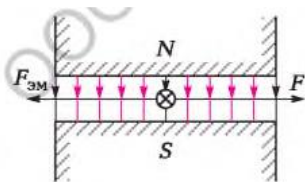
Электрлік машина, сонымен қатар бір түрдегі токтың энергиясын басқа түрлі токтың энергиясына түрлендіруде (ауыспалы ток фазаларының жиілігі, саны, тұрақты токтың кернеуі) қызмет атқаруы мүмкін. Мұндай электрлік машиналар түрлендіргіштер деп аталады.

Электрлік машиналар тұрақты және ауыспалы ток машиналарына жіктеледі. Ауыспалы ток машиналары бір фазалы, сондай-ақ көп фазалы бола береді. Аса кең қолданысқа үшфазалық синхрондық және асинхрондық машиналар ие болды.

Электрлік машиналардың әрекет ету принципі электрмагниттік индукция және электрмагниттік күштердің физикалық заңдарына негізделген. Осы заңдарға, сондай-ақ Ом, Джоуль-Ленц заңдарына сәйкес, электрлік машиналардағы жұмыс үрдісін сипаттаушы өлшемдер арасындағы негізгі қатынастарды алуға мүмкіндік береді.

Магниттік өрістен туындатушы электрмагниттің екі полюсі 7.1-суретте көрсетілген. Магниттік өрісте полюстер арасында қимасы шеңбермен бейнеленген өткізгіш орналастырылған. Егер тұрақты магниттер немесе электрмагниттердің полюстерінің магниттік өрістеріне өткізгішті орналастырғанда және оны қандай да бір күшпен қозғалтқанда, онда мәні келесі формуламен анықталатын ЭҚК туындайды:

$$e = Blv,$$



7.1-сурет. Электрлік машинаның әрекет ету принципі

мұндағы B — өткізгіш орналасқан орындағы магниттік индукция; l — өткізгіштің белсенді бөлігі, яғни магниттік өрісте орналасқан бөлігі; v — магниттік өрістегі өткізгіштің қозғалу жылдамдығы.

Бұл қатынас өткізгішті өріс сызығындағы магниттік күштерге бағытталған перпендикулярлы түрде қозғалатындығын болжайды.

ЭҚК бағыты оң қол ережесімен анықталады.

Егер осы өткізгішті электрлік энергияның қандай да бір қабылдаушының кедергісіне тұйықтаса, онда тұйықталған тізбекте ЭҚК әсерінен өткізгіштегі ЭҚК бағытына сай келетін электрлік ток жүретін болады.

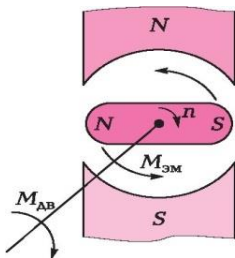
Өткізгіштегі токтың I магниттік өріспен әсерлесуі нәтижесінде бағыты сол қол ережесімен анықталатын электрмагниттік күш туындайды $P_{эм}$, яғни, бұл күш магниттік өрістегі өткізгішті қозғалтушы күшке қарсы бағытталатын болады.

$F = P_{эм}$ күштерінің тепе-тендігі жағдайында өткізгіш тұрақты жылдамдықпен қозғалатын болады.

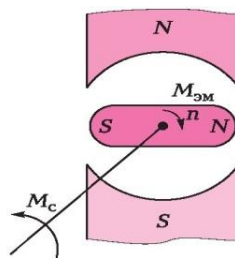
Мұндай қарапайым электрлік машинада өткізгішті қозғалтуға жұмсалатын механикалық энергия электрлік энергияға түрленеді. Яғни мұндай машина генератормен жұмыс істейді.

Егер электр энергиясының тұрақты көзінен өткізгіш арқылы токты өткізгенде, онда өткізгіштегі токтың магниттік өріспен әсерлесуі нәтижесінде энергияны қандай да бір механикалық қабылдаушының тежеуші күшін өте отырып, магниттік өрісте өткізгіштің қозғала бастауына әсер етуші электрмагниттік күш F туындайды. Мұндай режимде машина қозғалтқышпен жұмыс істейді.

Генератор режимінде (7.2-сурет) электрмагниттік мезеті M біріншілік желілік қозғалтқыштың (турбина, дизель және т.с.с.) мезетімен теңдесе отырып, айналуға қарсыласады. Қозғалтқыш режимінде электрмагниттік мезеті M айналу бағыты бойынша әрекет етеді (7.3-сурет). Біркелкі айналу кезінде механикалық қондырғыдан (станок, сорғы, желдеткіш және т.с.с.) іске келтірілетін кедергі мезеті M қарсыласады.



7.2-сурет. Генератор режиміндегі электрлік машинаның жұмысы



7.3-сурет. Қозғалтқыш режиміндегі электрлік машинаның жұмысы

Кез-келген электрлік машина генератор және қозғалтқыш ретінде де қолданылуына болады. Электрлік машинаның өзі түрлендірген энергиясы бағытын өзгерту қасиеті машинаның қайтарымдылығы деп аталады.

Электрлік машиналардың қайтарымдылық принципі орыс академигі Э.Ленцпен 1833 жылы орнатылған болатын. Құрылымдық тұрғыда электрлік машина екі негізгі бөліктен құралады: айналуы — *rotor*дан (лат. *rotor* — айналуы) және қозғалыссыз — *статор*дан (лат. *stator* — қозғалыссыз).



Есте сақтаңыз

- Магниттік өріс пен тогы бар өткізгіштердің болуы энергияны түрлендіруші ретіндегі электрлік машинаның жұмысы үшін қажетті шарт болып табылады. Ал олардың арасындағы тұрақты әсерлесуге айналма қозғалыспен қол жеткізіледі.
- Электр машина қайтарымдылық принципіне ие, яғни генератор ретінде де, қозғалтқыш түрінде де жұмыс істей алады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электрлік машиналардың әрекет ету принципі қандай физикалық заңға негізделген?
2. Қандай электрлік машина генератор деп аталады?
3. Қандай электрлік машина қозғалтқыш деп аталады?
4. Қандай электрлік машиналар түрлендірушілер деп аталады?
5. Электрлік машинаның қайтарымдылық принципінің мәні неде?

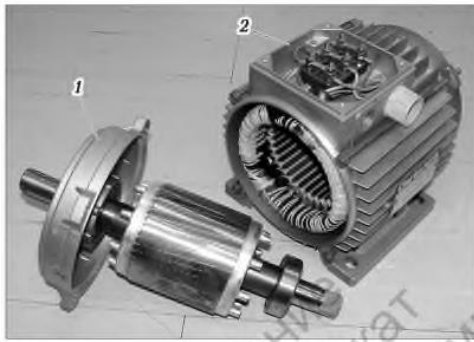
7.2 АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР

7.2.1. АСИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР. НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАР

Электрлік қозғалтқыштар арасында 1889 жылы атақты орыс электригі М. О. Доливо- Добровольский алғаш рет құрастырған үшфазалық асинхронды қозғалтқыш кең таралды. Бұл қозғалтқыш бүгінгі күнге дейін ешбір күрделі өзгерістерге ұшырамаған.

7.4-сурет. Асинхронды машина:

1 — ротор; 2 — статор



Асинхронды қозғалтқыш қарапайым құрылымы мен қызмет көрсетудің күрделі еместігімен ерекшеленеді. Ауыспалы токтың кез-келген машинасы секілді асинхронды қозғалтқыш ротордан 1 және статордан 2 тұрады (7.4-сурет). Асинхронды машина қозғалтқыштың да, генератордың да режимінде жұмыс істей алады. Алайда кейбір елеулі кемшілігіне орай асинхронды генераторлар мүлдем қолданылмайды. Асинхронды қозғалтқыштардың бірнеше түрлерін қарастырады. Олар үш, екі, бір фазалы және сызықтық болады. Өндірісте қуат диапазоңдары кең асинхронды қозғалтқыштар шығарылады: бірнеше ваттардан бірнеше мегаваттарға дейін. Соңғы жылдары асинхронды қозғалтқыштар өндіріс пен ауылшаруашылықтың көптеген салаларында кең қолданысқа ие болды. Оларды металл кесуші станоктардың, көтермелі-транспорттық машиналардың, транспортерлердің, сорғылардың, желдеткіштердің электржетегінде пайдаланады. Қуаты аз қозғалтқыштар автоматика қондырғыларында қолданылады.

Асинхронды қозғалтқыштардың принципіалдық кемшіліктеріне айналу жиілігін реттеуге байланысты қиындықтарды жатқызуға

болады. Сонымен қатар, бұл қозғалтқыштар салыстырмалы түрде төмен қуаттылық коэффициентіне ие $\cos \varphi$ (0,85 — 0,90 толық жүктемеде және 0,2 — 0,3 бос қозғалыста) болады.

Асинхронды қозғалтқыштар — өндіріс пен тұрмыста кең таралған қозғалтқыштар.

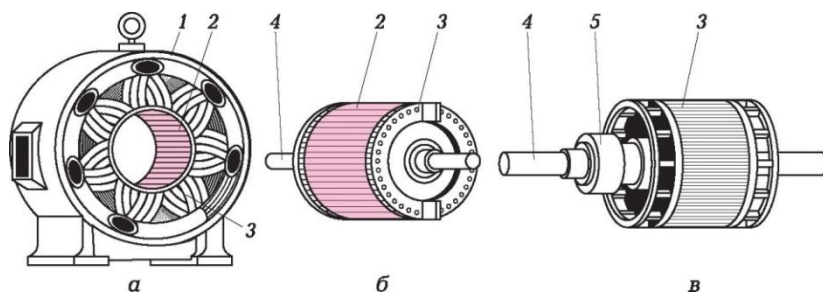
7.2.2. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Асинхронды қозғалтқыштың қозғалыссыз бөлігі — статордар және айналмалы бөлігі — ротордан құралады. Статордың бөліктеріне магнитөткізгіш пен корпус болып табылады. Өзекше электртехникалық болаттың оқшауланған бетінен жиналған.

Ішкі жағынан өзекшенің бос цилиндрі статорлық орама салынатын қималармен жабдықталған (7.5 а-сурет). Ораманы түзуші индуктивті катушкалардың саны үшке бөлінгіштік сан болуы қажет (3, 6, 9, 12 және т.б.).

Ротор орамасының құрылымына байланысты қысқа тұйықты және фазалық роторлары бар күштік асинхронды қозғалтқыштар кездеседі. Ротор, статордың өзекшесі секілді, электртехникалық болаттың беттерінен жиналған білікке бекітілген цилиндр тәрізді (7.5б-сурет). Көптеген жағдайларда ротор өзінің магнитөткізгішінің сыртқы бетінде қималарда оқшауланбай орналасқан мыс немесе алюминдік сырықтардан тұратын қысқа тұйықты орамамен жабдықталады. Сырықтардың кесік шеттері дәл сол материалдан жасалған сақиналармен қысқа түрде тұйықталады.

Қысқа тұйықталған роторы бар үшфазалы асинхронды қозғалтқыш аса қарапайым, жұмыста сенімді және арзан. Кейде ротор оқшауланған желімен орындалған фазалық (катушкалық) орамамен (әдетте қуаттылығы үлкен қозғалтқыштар үшін) жабдықталады. Осы жағдайда ротордың білігінде біліктен оқшауланған үш металдық түйіспелі сақиналар бекітіледі (7.5 в-сурет). Ротордың орамасы статор орамасы секілді индуктивтілік катушка саны бірдей желімен оқшауланған үшфазалықтан жасап шығарылады. Ротордың өзіндегі фазалық орамдар жұлдыз ретінде бірігеді. Ал олардың шеттері түйіспелі сақиналарға шығарылады. Сақиналарға қозғалыссыз қылшақ ұстауыштарға орнатылған қылшақтар салынған. Сақиналар мен қылшақ арқылы фазалық орама іске қосушылық реостатта тұйықталады.



7.5-сурет. Бөлшектелінген түрдегі асинхронды қозғалтқыш: а — статор; б — қысқа тұйықталған ротор; в — фазалық ротор; 1 — тұғыр; 2 — қалыпталған болат беттерден жасалған өзекше; 3 — орама; 4 — білік; 5 — түйіспелі сақиналар. Фазалық роторы бар қозғалтқыштар қысқа тұйықталғандарға қарағанда күрделірек, қымбаттау және эксплуатациялау кезінде аса мықты емес, бірақ жақсы іске қосушылық және реттеушілік қасиеттерге ие болады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Асинхронды қозғалтқыш қандай бөліктерден тұрады?
2. Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштың фазалық роторы бардан қандай құрылымдық ерекшеліктері бар?
3. Фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштарда қандай кемшіліктер бар?

7.2.3 АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ ӘРЕКЕТ ЕТУ ПРИНЦИПІ МЕН ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІ

Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету принципін 7.6-суретте келтірілген моделде қарастырайық.

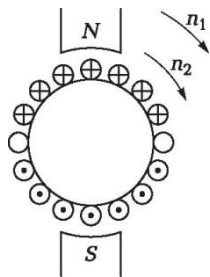
Статор мен ротордың өзекшелері асинхронды машинаның магниттік тізбегін түзеді. Статордың орамасы үшфазалы торға жалғанады және токтар статордың орамасын айнала отырып машинаның магниттік өрісін қыздырады. Ол ротор болаты арқылы тұйықталады және осылайша ротордың орамасымен ұстасады. Токтардың үшфазалы жүйесімен қоздырылған магниттік өріс статордың индуктивті катушкалардың өстеріндегі жазықтықта айналады.

Өрістің айналуы оны түзуші үш статордың фазалық орамасы өрісінің ретпен өзгеруінен туындайды. Сондықтан өрістің айналу жылдамдығы ауыспалы токтың жиілігіне f пропорционалды және келесі формуламен анықталады:

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

Егер статорда үш индуктивтілік катушкасы орнатылса, онда олардың тогымен қоздырылатын айналма өріс бір секундта бір айналым жасайды. 50 Гц тең стандарттық жиілікте бір минуттағы осындай өрістің айналым саны $n_1 = f \cdot 60 = 3\,000$ айн/мин. (Статорда катушка көп болған сайын, айналушы өрісте соғырлұм полюстер саны көп болады және осының әсерінен ол баяу айналады).

Статордың айналушы магниттік өрісі ротордың орамасынан өте отырып, оны ЭҚК өткізгіштерінде индукциялайды. Ротордың орамасы тұйық болғандықтан,



7.6-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету принципіне

онда индукцияланатын ЭҚК осы орамада өздеріне пропорционалды ротор токтарын туындатады. Соңғылары машинаның айналушы магниттік өрісімен әсерлесе отырып, өрістен соң роторды да айналуға мәжбүрлейді. Қозғалтқыштың роторы өріс айналуының синхронды жылдамдығымен n_1 салыстырғанда азырақ асинхронды жылдамдықпен n_2 айналады. Өріс пен ротордың айналу айырмасы сырғанаумен сипатталады:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100.$$

Қозғалтқыш режимінде жұмыс істеуші асинхронды машинаның сырғанауы нөлден бірлікке дейін өзгереді.

Ротор жылдамдығы $n_2 = 0$ кезіндегі қозғалтқышы іске қосу мезетінде сырғанау $S = 1$, немесе 100 %.

Бос жүрісте $n_2 \ll n_1$, сырғанау S «Асинхронды қозғалтқыштың сырғанауы жүктемеге байланысты аса көп өзгеріске ұшырайды» (1 — 6 %). Қозғалтқыштың қуаты көп болған сайын, оны сырғанауы төмендейді.

7.1-мысал. Егер ротор 960 айн/мин жасаса, токтың жиілігі $f = 50$ Гц болғанда алты полюсті асинхронды қозғалтқыш үшін пайыз бойынша сырғанауды анықтау.

Шешімі

Өрістің айналу жылдамдығы

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

(об/мин – минутына айналымы)

Онда сырғанау

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = \frac{1000 - 960}{1000} = 4 \, \%.$$

S сырғанауы айналушы магниттік өрістегі ротордың орамасымен қиылысу жылдамдығын сипаттайды.

Ротордың айналу бағытын өзгерту үшін, яғни қозғалтқышты реверсирлеу үшін статордың орамасымен туындайтын магниттік өрістің айналу бағытын өзгерту қажет. Бұл екі фазаны қайта қосу, яғни статордың орамасын желімен байланыстырушы үш желінің екеуін қайта қосу арқылы қол жеткізіледі.



- Егер ротор магниттік өрістің айналу жиілігіне ($n_2 = n_1$) тең жиілікпен, яғни өріспен синхрондық түрде айналса, онда мұндай айналу жиілігі синхронды деп аталады.

- Егер ротордың айналу жиілігі магниттік өрістің айналу жиілігіне ($n_2 \wedge n_i$) тең болмағанда, онда мұндай айналу жиілігі асинхронды деп аталады.
- Асинхронды қозғалтқыш тек асинхроды жиілікте ғана айналу мезетін үдетеді. Ротордың айналу жиілігі магниттік өрістің айналу жиілігінен аса ерекшелене қоймайды. Бірақ қозғалтқыштың жұмысында ол өрістің айналу жиілігінен төмен болатындығы ($n_2 < n_i$) аса маңызды.
- Қозғалтқышты реверсирлеу үшін, яғни ротордың айналу бағытын өзгерту үшін статор орамасымен туындаған магниттік өрістің айналу бағытын өзгерту қажет. Бұны статор орамалары фазаларының реттілігін өзгерту арқылы жасауға болады. Реверсивті қозғалтқыштар статор орамасы фазаларының кезектесуін, демек ротордың айналу бағытын өзгертуге болатын қайта қосқыштармен жабдықталады.

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Ротордың қандай айналу жиілігі синхронды, асинхронды деп аталады?
2. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету принципі неде?
3. Ротордың айналу бағыты мен статор магниттік өрісінің айналу бағыты сәйкес келе ме?
4. Сіздер ротор бағытын өзгертудің қандай әдістерін білесіздер?
5. Ротордың орамасы түріне байланысты асинхронды қозғалтқыштар несімен ерекшеленеді?
6. Асинхронды қозғалтқыштардың қандай артықшылықтары мен кемшіліктері бар?

7.2.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК МЕЗЕТТІҢ СЫРҒАНАУҒА ТӘУЕЛДІЛІГІ

Электромагниттік мезет статор орамасымен туындайтын магниттік өріс пен ротор орамасындағы токтың бар кезін айтамыз. Электромагниттік мезет мынадай қатынаспен анықталады:

$$M = C_M \Phi I_2 \cos \psi_{2i}$$

мұндағы C_M — асинхронды машинаның құрылымдық коэффициенті; Φ — машинадағы нәтижелеуші магниттік өріс; y_2 — ЭҚК және ротор тогы арасындағы фазалар бойынша ығысу; $I_2 \cos y_2$ — ротор тогының белсенді құрамдасы.

Асинхрондық қозғалтқыштың жұмысын талдауда қозғалтқыштың электромагниттік мезетінің M сырғанаудан S , статор орамасына жеткізілуші кернеуден U_1 , ораманы қыздыруға жұмсалған жойылымдарға байланысты ротор орамасының белсенді кедергісінен R_2 және шашырау ағымымен байланысты ротордың индуктивтілік кедергісінен X_2 тәуелділік формуласын пайдаланады:

$$M = C_M \frac{U_1^2 R_2 S}{R_2^2 + (S X_2)^2}.$$

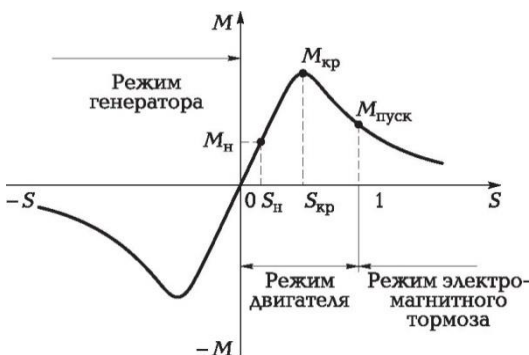
Электромагниттік мезет M үшін алынған өрнектен оның жеткізілуші кернеуге U_1 қатты тәуелді екендігі көрініп тұр.

Мысалы, кернеуді 10 % төмендеткенде электромагниттік мезет 19 % төмендейді. Бұл асинхронды қозғалтқыштардың кемшіліктердің бірі болып табылады.

Электромагниттік мезеттің өрнегі (7.1) (формуланы қараңыз) кез-келген режимі үшін оңтайлы және электромагниттік мезеттің сырғанаудан соңғысының $+j$ –дан $-j$ -ға өзгеруіне кезіндегі тәуелділігін тұрғызуға, қолдануға болады (7.7-сурет).

Қозғалтқышты қозғалысқа іске қосқанда ($S = 1$) $M_{\text{іске қосу}}$ мезеті үдетіледі. Мезеттің аса жоғары мәнге ие болатын сырғанауды шекті сырғанау S_{RF} деп атайды. Ал мезеттің аса жоғары мәнін — $M_{\text{шек}}$ шекті мезет. Шекті мезеттің аталған мәнге қатынасын қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті деп аталады:

$$\frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{н}}} = \lambda = 2 - 3.$$



7.7-сурет. Қозғалтқыштың электромагниттік мезетінің сырғанаудан тәуелділігі.

Генератордың жұмыс істеу тәртібі – генератор режимі, қозғалтқыш режимі, электромагниттік тежеуіш режимімен жүзеге асады.

Сырғанау 0-ден $B_{кр}$ өзгеретін сипаттамалары бар бөлімі (7.7-сурет) қозғалтқыштың тұрақты жұмысына сай келеді.

Аталған бөлімде номиналды режимнің (M_n , S_K) нүктесі орналасады. 0-ден S_{Rp} дейін сырғанаудың өзгеру шектерінде қозғалтқыштың білігіндегі жүктеме өзгерісі ротордың айналу жиілігінің, сырғанау мен айналу мезеттерінің өзгеруіне әкеп соғады. Жүктеме мезетінің артуымен білікте ротордың айналу жиілігі азаяды. Бұл өз кезегінде сырғанау мен электромагниттік (айналу) мезетінің артуына әкеледі. Егер жүктеме мезеті шекті мезеттен асқан жағдайда қозғалтқыш тоқтап қалады.



Есте сақтаңыз

- Қозғалтқыштың айналу мезеті қорек желісі кернеуінің шаршысына пропорционалды.
- Сырғанау мәні $B_{кр}$ -дан 1 дейін өзгеретін сипаттама бөлімі қозғалтқыштың тұрақсыз жұмысына сай келеді. Сипаттаманың аталмыш бөлімінде қозғалтқыш қозғалысқа іске қосу мен тежеуден өтеді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

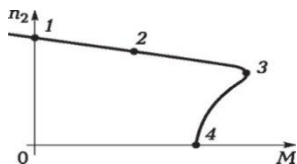
1. Асинхронды қозғалтқыштың электромагниттік мезеті M қандай параметрлерге тәуелді?
2. Қандай мезетте сырғанауды шекті сырғанау S деп атаймыз?
3. Қандай сырғанау кезінде қозғалтқыштың жұмысы генератор режиміне ауысады?
4. 7.7-суретінде қисықтың қайсы бөлімі қозғалтқыштың тұрақты жұмысына сай келеді?

7.2.5 АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТЫ



Механикалық сипаты — қозғалтқыш білігінде мезеттің өзгеруі кезіндегі ротордың айналу жиілігінің өзгеруін көрсетуші тәуелділік, $n_2 = f(M)$ (7.8-сурет).

1 — 3 бөлімі тұрақтыға сай келсе, ал 3 — 4 бөлімдері — асинхронды қозғалтқыштың тұрақсыз жұмысына сай келеді (қозғалтқыш іске қосуда немесе мәжбүрлі түрде тоқтатуда қолданылады).



7.8-сурет. Асинхронды

қозғалтқыштың
механикалық сипаты

1 нүктесі $n_1 = p_2$ болғандағы қозғалтқыштың идеалды бос қозғалысына сай келеді; **2 нүктесі** — қозғалтқыштың номиналды жұмыс режиміне, оның координаталары (M_n, p_n); **3 нүктесі** — шекті мезетке $M_{\text{шек}}$ және айнарудың шекті жиілігіне $\lambda_{\text{кр}}$; **4 нүктесі** — қозғалтқыштың іске қосу мезетіне M -ға сай болады.

Механикалық сипатты төлқұжаттық мәліметтер бойынша есептеуге және тұрғызуға болады.

1 нүктесі үшін $n_1 = \frac{60f}{p}$, мұндағы i — желінің жиілігі; p — қозғалтқыштың полюстер жұбының саны.

(M_n, p_n) координаталары бар 2 нүктесі үшін айнарудың номиналды жылдамдығы p_n төлқұжатта беріледі.

Номиналды мезет $\frac{\text{Вт}}{\text{об/мин}} = H \cdot M$, мынадай формуламен есептеледі:

$$M_n = 9,55 \frac{P_n}{n_n},$$

мұндағы P_n — номиналды қуаттылық (біліктегі қуат).

(M, p) координаттары бар 3 нүкте үшін шекті мезет мына формуламен анықталады:

$$M_{\text{кр}} = M_n \lambda_{\text{н}}.$$

Асқын жүктемелік қабілеті X қозғалтқыштың төлқұжатында беріледі. Айнарудың шекті жиілігі

$$n_{\text{кр}} = n_1 (1 - S_{\text{кр}}).$$

Шекті сырғанау

$$S_{\text{кр}} = S_n (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

Номиналды сырғанау

$$S_n = \frac{n_1 - p_n}{n_1}.$$

4 нүктесінде ($M = M_{\text{іске қосу}}, p_2 = 0$) координаталары бар. Іске қосу мезетін мына формуламен есептейді

$$M_{\text{пуск}} = M_n \lambda_{\text{пуск}}$$

(пуск – іске қосу)

мұндағы X — іске қосу мезетінің бөлінгіштігі, төлқұжатта беріледі.

Асинхронды қозғалтқыштар қатаң механикалық сипатқа ие. Себебі ротордың айналу жиілігі (1 — 3 бөлімі) 7.8-суретте біліктегі жүктемеге аса тәуелді емес. Бұл аталмыш қозғалтқыштардың артықшылықтарының бірі болып табылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Асинхронды қозғалтқыштың қандай сипаты механикалық деп аталады?
2. Қозғалтқыштың қайсы режимінде ротордың айналу жиілігі синхрондыққа жақын?
3. Қандай жағдайда асинхронды қозғалтқыштың тұрақсыз режимінің аймағын қолдануға болады?

ПРАКТИКАЛЫҚ ТАПСЫРМА

Төлқұжаттық мәліметтерді пайдалана отырып, асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипатын құрастырыңыздар.

7.2.6 АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫ ІСКЕ ҚОСУ

Қозғалтқышты іске қосу мезетінде $n_2 = 0$, яғни сырғанау $S = 1$. Ротор мен статор орамаларындағы токтар сырғанауға байланысты және оның артуы кезінде ұлғаяды. Қозғалтқыштың іске қосу тогы оның номиналды тогынан 5-8 есеге көп болады: $I_{\text{пуск}} = (5 — 8) I_{\text{н}}$.

Ротордың аса үлкен ЭҚК жиіліктерінен асинхронды қозғалтқыштарда шектелген іске қосу мезеті бар:

$$M_{\text{пуск}} = (0,8 — 1,8) M_{\text{н}}$$

Асинхронды қозғалтқышты қозғалысқа іске қосу үшін онымен үдетілетін іске қосу мезеті біліктегі жүктеме мезетінен асып түсуі қажет. Қорек көздерінің қуаттылығына және жағдайларына байланысты іске қосу тогы азайту мен іске қосу мезетін ұлғайту мақсатындағы әртүрлі іске қосу әдістері қолданылады.

Асинхронды қозғалтқыштарды қозғалысқа іске қосудың келесідей әдістерін бөліп-жіктейді. Олар желіге тікелей қосылу, төмендетілген кернеудегі іске қосу, реостаттық іске қосу, жақсартылған іске қосу қасиеттері бар қозғалтқыштарды қолдану.

Желіге тікелей қосылу. Бұл іске қосудың ең қарапайым, әрі арзан әдісі. Қозғалтқышқа қолмен немесе қашықтықтан басқару арқылы номиналды кернеу жіберіледі. Желіге тікелей қосылу қозғалтқыштың қуаты трансформатор қуатынан 5 % аспағанда, егер одан жарықтандырушы желі де қоректенген жағдайда рұқсат етіледі. Қуат бойынша шектеулер іске қосу мезетінде ток лақтырымдарымен түсіндіріледі. Бұл трансформатордың екіншілік орамаларындағы қысқыштарда кернеудің азаюына әкеледі. Егер трансформатордан жарықтандырушы желі қорек алмаса, онда желіге тікелей қосылуды трансформатор қуаттылығынан 25% аспайтын қуаты бар қозғалтқыштарға қолдануға болады.

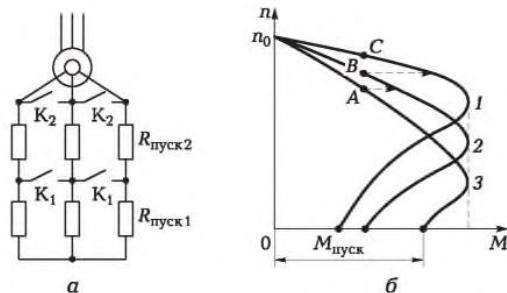
Төмендетілген кернеу кезіндегі іске қосу. Бұл әдісті желіге тікелей қосылу мүмкін емес қуатты қозғалтқыштарды іске қосқанда қолданылады. Статор орамасына жеткізілетін кернеуді азайту үшін дроссельдер және төмендетуші автотрансформаторларды қолданады. Қозғалысты іске қосқаннан соң статор орамасына желінің кернеуі беріледі. Кернеудің төмендеуін іске қосу тоғын азайту мақсатында жүзеге асырады. Бірақ іске қосу мезетінің төмендеуі де орын алады. Егер іске қосу кезінде кернеуді $1/3$ азайтқанда, онда іске қосу мезеті үш есеге төмендейді. Сондықтан іске қосудың бұл әдісін білікке жүктеме жоқ кезінде, яғни бос жүріс кезінде қолдануға болады. Егер, төлқұжаттық мәліметтерге сай, қозғалтқыш желіге «үшбұрыш» схемасы бойынша қосылуы қажет болса, онда статор орамасына қозғалысқа іске қосу уақытындағы іске қосу тоғын азайту үшін «жұлдыз» схемасы бойынша қосылады.

Іске қосудың бұл әдісіндегі негізгі кемшіліктер: іске қосу қондырғысының жоғары құны мен біліктегі жүктем бар кезінде іске қосудың мүмкін еместігін айтамыз.

Реостаттық іске қосу. Бұл әдісті аса қиын жағдайларда, яғни білікке үлкен жүктеме жағдайында қолданады. Реостаттық іске қосу үшін фазалық роторлары бар асинхроды қозғалтқыштар қолданылады. Ротор тізбегіне іске қосу реостаты жалғанады. Реостаттық іске қосу іске қосу мезетінің артуы үшін қызмет етеді. Бір уақытта қозғалтқыштың іске қосу тоғының азаюы орын алады. Қозғалтқыштың үдетілуі барысында іске қосу реостаты шығарылады және іске қосудан кейін ротор орамасы қысқа тұйықталған болады.

Реостаттық іске қосудың схемасы мен осы іске қосудағы механикалық сипаттар 7.9-суретте келтірілген.

Қозғалысқа іске қосу мезетінде (7.9 а-суретін қараңыз) ротор тізбегіне толықтай іске қосу реостаты ендірілген дәл сол үшін K_1 және K_2 релесінің түйіспелері алшақталған. Осы орайда қозғалтқыш 3 сипаты (7.9 б-суретін қараңыз) бойынша іске қосу мезетінің M әсерінен іске қосылады.



7.9-сурет. Асинхронды қозғалтқыш.

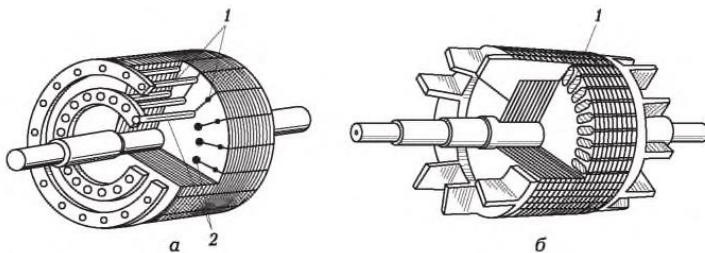
а — реостаттық іске қосу схемасы; *б* — реостаттық іске қосу кезіндегі қозғалтқыштың механикалық сипаттары.

Білікке берілген жүктеме мен енгізілген реостатта L үдемесі A нүктесінде аяқталады. Қозғалтқыштың әрі қарай үдетілуі үшін K_1 түйіспелерін тұйықтау қажет. осы орайда іске қосу реостатының кедергісі L дейін азаяды және үдетілу 2 сипаты бойынша B нүктесіне дейін жалғасады. K_2 түйіспелерін тұйықтағанда іске қосу реостаты толықтай шығарылады ($L = 0$) және қозғалтқыштың соңғы үдемесі оның табиғи 1 механикалық сипаты бойынша жалғасатын болады және C нүктесінде аяқталады.

Жақсартылған іске қосу қасиеттері бар қозғалтқыштарды қолдану. Асинхронды қозғалтқыштардың қысқа тұйықталған ротор (жоғары сенімділік) және фазалық ротормен (үлкен іске қосу мезеті) артықшылықтарын бірлестіру жақсартылған қасиеттерге ие іске қосу қозғалтқыштарын жасауға әкеп соқты. Оларда арнайы құрылымды ротордың қысқа тұйықталған орамасы бар. Ротор орамасы бар қозғалтқыштарды екеулік «тиін торы» түрінде (7.10 а-сурет) және тереңдетілген кима түрінде қарастырады (7.10б-сурет).

Екеулі «тиін торы» бар қозғалтқышта (7.10 а-суретті қараңыз) роторда екі қысқа тұйықталған орамаларды салады. Орама 1 іске қосу ролін атқарса, ал орама 2 жұмыс істеуші болып табылады. Аса жоғарылатылған іске қосу мезетін алу үшін іске қосу орамасы жұмыс орамасына қарағанда үлкен белсенді кедергіге ие болуы қажет. Сондықтан орама 1 орама 2 (мыс) қарағанда меншікті кедергісі жоғары материалдан (жез) жасалуы қажет. Іске қосу орамасын түзуші өткізгіштердің қимасы жұмыс орамасына қарағанда азырақ. Осының әсерінен іске қосу орамасының белсенді кедергісі арта түседі.

Тереңдеу орналасқан жұмыс орамасы іске қосуға қарағанда үлкен магниттік ағыммен қамтылады. Сондықтан жұмыс орамасының индуктивтілік кедергісі іске қосу орамасына қарағанда айтарлықтай үлкен.



7.10-сурет. Жақсартылған іске қосу қасиеттері бар қозғалтқыш роторларының құрылымы:

a — екеулік «тиін торы» бар; *б* — тереңдетілген қимасы бар; 1 — іске қосу орамасы; 2 — жұмыс орамасы

Осының салдарынан ротор тогының жиілігі аса үлкен мәнге ие кезіндегі қозғалысты іске қосу мезетінде Ом заңына сай, жұмыс орамасындағы ток аса үлкен болмайды және іске қосу мезетін жасауда негізінен аса үлкен белсенді кедергіге ие іске қосу орамасы қатысады. Қозғалтқыштың үдеуі барысында ротор тогының жиілігі төмендейді. Ротор орамаларының индуктивтілік кедергісі де азаяды. Бұл жағдай жұмыс орамасындағы токтың артуына ықпал етеді. Осының әсерінен айналу мезетін жасауда негізінен жұмыс орамасы қатысатын болады. Ол азғана белсенділік кедергісіне ие болады. Сондықтан қозғалтқыштың табиғи механикалық сипаты қатаң түрде болады.

Ұқсас жағдай тереңдетілген қимасы бар қозғалтқышта да кездеседі (7.10б-суретті қараңыз). Ораманың 1 терең сырғағын қиманың биіктігі бойында орналасқан бірнеше өткізгіштер түрінде елестетуге болады. Ротор орамасындағы жоғары ток жиілігінен қозғалысты іске қосу кезінде өткізгіштің бетіне токтың ығыстырылуы орын алады. Осының әсерінен іске қосу мезетін жасауда ротор орамалары өткізгіштерінің тек жоғары қабаты ғана қатысады. Жоғары қабаттың қимасы барлық өткізгіштің қимасынан аз, сондықтан қозғалысты іске қосуда ротордың орамасы жоғарылатылған белсенді кедергіге ие болады. Қозғалтқыш аса үлкен іске қосу мезетін үдетеді. Қозғалтқыштың үдеуі барысында ротор орамасы өткізгіштерінің қимасы бойындағы токтың тығыздығы теңдеседі, ротор орамасының кедергісі азаяды.

Жалпы бұл қозғалтқыштар қарапайым құрылымды қысқа тұйықталған роторлары бар қозғалтқышқа қарағанда қатаң механикалық сипатқа ие. Аса жоғары іске қосу мезетіне және іске қосу тогының төмен бөлінгіштігіне тең болады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Сіздер асинхронды қозғалтқышты қозғалысқа іске қосудың қандай әдістерін білесіздер?
2. Асинхронды қозғалтқышты қозғалысқа іске қосудың қайсы әдісі ең арзан болып табылады?
3. Төмендетілген кернеу кезінде асинхронды қозғалтқышты қозғалысқа іске қосудың қандай кемшіліктері бар?
4. Жақсартылған іске қосу қасиеттері бар қозғалтқыш роторларының құрылымында қандай артықшылықтар кездеседі?

7.2.7. АСИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫ ТЕЖЕУ РЕЖИМДЕРІ

Көптеген өндірістік механизмдердің жұмысы кезінде қозғалтқышты дереу токтатуға (тежеуге) мәжбүр болатын жағдайлар туындайды. Осы мақсатта кең түрде механикалық тежеуіштер қолданылады. Бірақ асинхронды машинаның өзі тежеу режимдерінің бірінде жұмыс жасай отырып, тежеуіш қондырғының қызметін атқара алады. Осы орайда механикалық тежеуіштер қосалқы немесе апаттық ретінде, сонымен бірге механизмді қозғалыссыз күйде ұстап тұруда қолданылады.

Асинхронды машиналардың үш тежеу режимдері кездеседі:

- 1) Генераторлық тежеу;
- 2) Динамикалық тежеу;
- 3) Қарсы қосылымды тежеу.

Генераторлық тежеу. Егер ротор магниттік өрістен жылдам айналатын болса машина генератор режиміне өтеді. Бұл режим полюстер жұбы санының ұлғаюымен айналу жылдамдығын реттеуде немесе қорек көзінің жиілігін төмендеткенде, сонымен бірге жүктің ауырлық күші әсерінен ротор магниттік өрістен жылдам айнала бастағандағы жүкті түсіру кезінде көтермелі-транспорттық машиналарда орын алады.

Генератор режимінде электромагниттік мезеттің бағыты өзгереді. Яғни, ол тежеуші болады. Соның әсерінен айналу жылдамдығының тез азаюы орын алады. Бір уақытта статор орамасындағы ток фазасы өзгереді. Бұл жағдай электрлік энергияның берілу бағытын өзгертуге әкеледі. Генератор режимінде энергияның желіге қайтарылымы жүзеге асады.

Асинхронды машиналардағы генераторлық тежеудің бір артықшылығына ротор магниттік өрістен жылдам айналғанда генератор режиміне автоматты түрде өтуі жатады. Бұл жағдай асинхронды қозғалтқыштарды тұрақты қозғалтқыштарында кездесетін апаттық жағдаяттан қорғайды.

Асинхронды қозғалтқыштар таратылымға жіберілмейді. Ротордың максималды айналу жиілігі магниттік өрістің айналу жиілігімен шектеледі. Генераторлық тежеу ең үнемді режим болып табылады. Себебі онда механикалық энергияның электрлікке түрленуі мен энергияның желіге қайтарылымы орындалады.

Бұл тежеу режимінің бір артықшылығына оның өзіндік әрекеті жатады. Яғни ешқандай бақылаушы қондырғыны қажет етпейді.

Динамикалық тежеу. Бұл тежеу режимі қуатты қозғалтқыштарды нақты токтатуда қолданылады. Тежеу уақытында статордың орамасы ауыспалы кернеудің желісінен өшіріледі және тұрақты кернеуі бар ток көзіне жалғанады. Осы орайда статордың орамасы тұрақты қозғалыссыз магниттік өрісті туындататын болады. Ротордың айналуы кезінде осы магниттік өріске қатысты ЭҚК және ротор тогының бағыты өзгереді. Бұл өз кезегінде электромагниттік мезет бағытының өзгеруіне әкеледі. Яғни ол тежеуші болады. Осы мезеттің әсерінен тежеу орын алады. Статор орамасына жеткізілген кернеудің өлшемін өлшегенде тежеу уақытын реттеуге болады.

Бұл тежеуші режимінің негізгі артықшылығы – нақты токтатылым болғандығында. Статор орамасына тұрақты кернеуді тек тежеу уақытында ғана жеткізуге болады. Токтағаннан кейін қозғалтқышты тұрақты ток желісінен ажырату қажет. Динамикалық тежеудің негізгі кемшіліктері – тұрақты токтың көзі қажет болатындығында.

Қарсы қосылымды тежеу. Бұл тежеу режимі қозғалтқыш реверсі кезінде туындайды. Сонымен қатар қозғалтқышты тез токтатуда қолданылады.

Қозғалтқышты тежеу үшін фазалық кезектесу ретінде өзгерту керек. Яғни екі фазаны қайта қосу қажет.

Осы тежеу режимінің артықшылығы тез тежеу болып табылады. Себебі тежеу мезеті барлық тежеу жолында әрекет етеді.

Кемшіліктері: тежеу кезіндегі аса үлкен токтар және жоғалымдар, айналу жылдамдығын бақылау мен қозғалтқышты токтатқан кезде оны желіден ажырататын қондырғы қажет болады. Егер механизм жетегінде қозғалтқыш көбінесе реверс режимінде жұмыс істесе, аса үлкен қуат жоғалымдары салдарынан оны қуаттылығын арттыруға тура келеді.

1. Асинхронды машиналардың қандай тежеу режимдері бар?
2. Асинхронды машиналардың қайсы тежеу режимі ең үнемді болып табылады?
3. Қарсы қосылысты тежеу режимінің кемшіліктері қандай?

7.2.8. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ АЙНАЛУ ЖИІЛІКТЕРІН РЕТТЕУ

Бір минуттағы ротордың айналым саны келесі өрнекпен анықталады:

$$n_2 = n_1 (S - 1) = \frac{60 f_1 (1 - S)}{p}$$

Өрнектен көрініп тұрғандай, асинхронды қозғалтқыш роторының айналым санын кез-келген үш өлшемді өзгерту арқылы реттеуге болады: f_1 , p , S .

Желі тогы жиілігін өзгерту арқылы асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу жартылай өткізгіштік техника базасында орын алады. Осындай реттеу кезінде айналу жиілігі бірсарынды түрде өзгереді.

Егер статорда әртүрлі полюстер саны бар бірнеше орамалар немесе әртүрлі полюс санына қайта қосылымды рұқсат ететін бір орама болғанда, электрлік машина полюстері санының өзгеруі мүмкін. Статор орамаларының полюстер санының өзгеруі кезінде оның магниттік өрісінің айналу жылдамдығы, демек қозғалтқыш роторының айналу жиілігі де өзгереді. Реттеудің аталған әдісі жеткілікті түрде үнемді болып келеді. Бірақ оның қозғалтқыштың айналу жиілігін сатылай өзгерту секілді кемшілігі бар. Сонымен қатар, мұндай қозғалтқыштың ұны статор орамаларының күрделілігі мен машинаның аса ірі өлшемдерінің артуы салдарынан ұлғаяды.

Осы әдіспен айналу жиілігін реттеу қысқа тұйықталған роторлары бар қозғалтқыштарда қолданылады.

Сырғанаудың өзгерісін ротор орамасының тізбегіне реттеуші реостатты енгізу арқылы алуға болады. Реттеуші реостат фазалық ротор орамасының тізбегіне іске қосу секілді қосылады. Бірақ іске қосуға қарағанда реостат токтың аса үлкен жүктемесіне сай есептеледі. Асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиілігін реттеудің бұл әдісі бірнеше айтарлықтай кемшіліктерге ие болады.

Асинхронды қозғалтқыштар электрлік қозғалтқыштар арасында аса кең таралған және 50 Гц желісінің өндірістік жиілігі үшін синхронды жиіліктердің стандартталған номиналды мәндерімен жасалады: 3 000; 1 500; 1 000; 750; 375; 300; 250; 187,5; 166,6; 150; 125; 100 айн/мин.

Асинхронды қозғалтқыштардың номиналды жұмыс жиіліктері сырғанаудың бар болуы себебінен синхрондықтан бірнеше есеге аз.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Сіздерге асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиіліктерін реттеудің қандай әдістері белгілі?
2. Реттеуші реостат көмегімен айналу жиілігін реттеу әдісінің кемшіліктері қандай?
3. Асинхрондық машиналардың полюс сандарын ауыстыруға бола ма, егер болатын болса, онда бұл жағдай неге әкеп соғады?
4. Асинхронды қозғалтқыштардың қандай түрлерінде полюстер санын өзгерту арқылы жиілікті реттеу әдісі қолданылады?

7.2.9. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ҚУАТ КОЭФФИЦИЕНТІ

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}},$$

Асинхронды қозғалтқыштың қуат коэффициенті мынадай қатынаспен анықталады:

мұндағы P_1 , Q_1 , S_1 — қозғалтқыштың сәйкесінше белсенді, реактивті және толық қуатты болады.

Қозғалтқыштың белсенді қуаты P_1 біліктегі қуат P_2 (пайдалы қуат) пен жоғалтым қуатынан ΔP алынады:

$$P_1 = P_2 + \Delta P.$$

Жоғалтымдар электрлім жоғалтымдардан ΔP (орамаларды қыздыруға жұмсалған жоғалтымдар); болаттағы жоғалтымдардан ΔP (өзекшені қыздыруға арналған жоғалтымдар) және механикалық жоғалтымдардан құралады ΔP :

$$\Delta P = \Delta P_{эл} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех}.$$

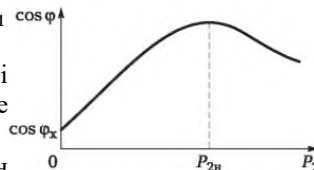
Электрлік жоғалтымдар ΔP орамалардағы токтарға байланысты және білікке жүктемені арттырған кезде ұлғаяды. Болаттағы жоғалтымдар біліктегі жүктемеге емес, тек статор орамасына жеткізілген кернеуге байланысты болады. Механикалық жоғалтымдар тұрақты жоғалтымдарға жатады.

Номиналдық режимде $\cos \varphi_n = 0,85 — 0,9$ бос қозғалыс режимінде $\cos \varphi_x = 0,1 — 0,2$.

$\cos \varphi$ төмендеуі белсенді қуаттылықтың аздығымен түсіндіріледі. ($P_x = P_{\Sigma} + P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}}$), ал реактивтік қуат Q_1 номиналдық режимдегідей қала береді.

Асинхронды қозғалтқыш қуатының біліктегі жүктемегі тәуелділік коэффициенті 7.11-суретте көрсетілген.

Асинхронды қозғалтқыштың үлкен кем тиелген жүктемесінде экономикалық тұрғыдан тиімсіз болатын төмен қуаттылық коэффициентіне ие.



7.11-сурет. Қуаттылық коэффициентінің біліктегі қуаттылыққа тәуелділігі

Аз жүктеме кезінде $\cos \varphi$ арттыру үшін қозғалтқышқа жеткізілген кернеуді төмендету ұсынылады. Осы орайда реактивтік қуат азаяды, ал қуаттылық коэффициенті артады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Асинхронды қозғалтқыштың қуаттылық коэффициенті қандай қатынаспен анықталады?
2. Аз жүктеме кезінде асинхронды қозғалтқыштың қуаттылық коэффициентін арттыру үшін қандай шараларды атқарған жөн?
3. Қозғалтқыштың белсенді қуаты қандай параметрлерден құралады?

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫБЫ

1. Асинхронды қозғалтқыштардың өндірісте қолданылуы.
2. Қуаттылығы аз электрқозғалтқыштар (микроқозғалтқыштар).
3. Асинхронды тахогенераторлар және олардың өндірісте қолданылуы.
4. Сызықтық асинхронды қозғалтқыштар.

7.3. СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР

7.3.1. СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫҢ НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАРЫ МЕН ҚОЛДАНЫС АЯСЫ

Синхронды машиналарда ротордың айналу жиілігі статордың магниттік өрісінің айналу жиілігіне тең. Демек, f желі тогының жиілігі мен p полюстері жұбының санымен анықталады:

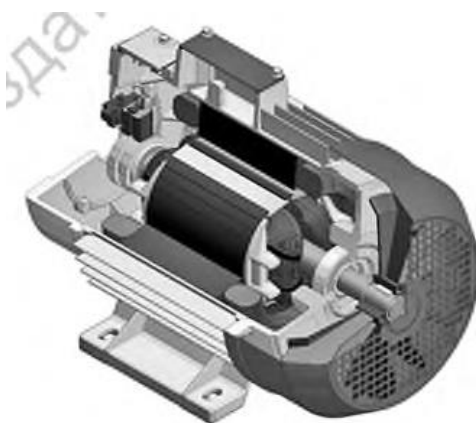
$$n = \frac{60f}{p}.$$

Кез-келген электрлік машина секілді синхронды машина қайтарымды болып табылады. Яғни генератордың да, қозғалтқыштың да режимдерінде жұмыс істей алады.

1876 ж. орыс ғалымы П. Н. Яблочков электромагнитті қозуы және онымен жасалған доғалық электрлік шамдарды (Яблочков шамдары) қоректеуге арналған электрлік түрде байланыспаған фазалары бар көп фазалы синхронды генераторлардың бірнеше үлгілерін жасаған болатын. Алғашқы үшфазалы синхронды генераторды белгілі орыс электротехнигі М. О. Доливо-Добровольский ойлап тапқан. Аталмыш генератордың қуаттылығы $230 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, айналымға гидротурбинадан орындалады және үшфазалы токтың төрт жетекті электрлік сызығы ойынша Франкфуртте 1891 жылы өткен халықаралық электротехникалық көрмені электрмен қамтамасыз еткен.

Сол уақыттан бері синхронды машиналардың негізгі электромагниттік схемасы өзгеріссіз қала берді. Бірақ олардың құрылымдық орындамасы жетілдірілді және электромагниттік жүктемелер артты. Бұл өз кезегінде синхронды машиналардың массагабариттік және энергетикалық көрсеткіштері мен жүктемелік қабілетін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік берді. Синхронды генератордың сыртқы түрі 7.12-суретте келтірілген.

Синхронды машиналардың негізінен ауыспалы токтың электр энергиясының көзі ретінде қолданады. Оларды қуатты жылулық, гидравликалық және атомдық электрстанцияларында, сонымен бірге жылжымалы электрстанциялар мен транспорттық қондырғыларда орнатылады (тепловоздар, автокөліктер, ұшақтар). Синхронды генератордың құрылымы негізінен жетектің түрімен анықталады.



7.12-сурет. Синхронды генератордың сыртқы түрі

Осыған байланысты турбогенераторлар, гидрогенераторлар және дизель-генераторлар кездеседі. Турбогенераторлар айналымға бу немесе газдық турбиналармен келтірілсе, гидрогенераторлар – гидротурбиналармен, дизель-генераторлар – іштен жану қозғалтқыштарымен жүреді.

Синхронды машиналарды 100 кВт және одан көп қуаттылығы кезінде сорғылардың, компрессорлардың, желдеткіштердің және тұрақты айналу жиілігінде жұмыс жасаушы басқа да механизмдердің жетектерінде кең түрде қолданылады. Желі қуаттылығының коэффициентін жақсарту және оның кернеуін реттеу мақсатында реактивтік қуатты түрлендіру және тұтынуға синхронды компенсаторлар қолданылады.

Электр тұрмыстық қондырғылар (магнитофондарда, ойнатқыштарда, киноқондырғыларда) мен басқару жүйелерінде әртүрлі синхронды микромашиналар – тұрақты магниттері бар, индукторлық, реактивті, гистерезисті, қадамдық кең қолданысқа ие болды.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

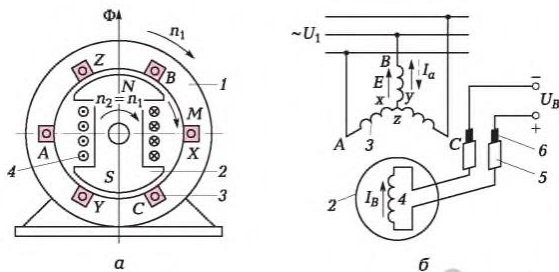
1. Қандай электрлік машина синхронды деп аталады?
2. Синхронды машинаның қайтарымдылығы дегенде не түсіндіріледі?
3. Синхронды генераторлардың қолдану аясы қандай?

7.3.1. СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ӘРЕКЕТ ЕТУ ПРИНЦИПІ МЕН ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Кез-келген электрлік машиналар секілді синхронды машиналарда статор мен ротор бар. Синхронды машинаның роторы тұрақты токпен қоздырылатын электромагнит тәрізді. Қуаттылығы төмен синхронды машиналарды ротордағы ораманың орнына тұрақты магниттер қолданылуы мүмкін.

Синхронды машинаның статоры 1 (7.13 а-сурет) асинхрондікі секілді орындалған. Онда үш фазалы (жалпы жағдайда көп фазалы) орама 3 орнатылған. Тұрақты ток көзінен қоректенетін ротордың орамасын 4 қоздыру орамасы деп атайды. Себебі ол машинада қоздырудың магниттік ағымын туындатады. Ротордың айналушы орамасын түйіспелі сақиналар 6 мен қылшақтар көмегімен тұрақты токтың сыртқы көзімен байланыстырады (7.13 б-сурет). Ротордың 2 айналуы кезінде бірнеше жиілігі n_2 қоздыру ағыны статор орамасының жетектерін кесіп өтеді және жиілікпен өзгертін ондағы фазаларында ЭҚК индуцирленеді:

$$f_1 = \frac{pn_2}{60}.$$



7.13-сурет. Синхронды машина:

а — электрмагниттік схема; *б* — қосылу схемасы; 1 — статор; 2 — ротор; 3 — үшфазалы орама; 4 — ротор орамасы; 5 — қылшақтар; 6 — түйіспелі сақиналар

Егер статордың орамасын қандай да бір жүктемеге жалғанғанда, онда осы орамамен өтетін көпфазалы ток I_a айналу жиілігі мынадай болатын айналушы магниттік өрісті туындатады:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

(7.2) және (7.3) формулалардан $n_1 = n_2$, яғни ротор статордың магниттік өрісі айналу жиілікпен айналатындығын көруге болады. Мұндай машинаны синхронды деп атайды.

Синхронды машинаның нәтижелесуші магнитті ағымы Φ қоздыру орамасының МКҚ және статор орамасының бірлеске әрекеті нәтижесінде туындайды. Және нәтижелесуші магниттік өріс ротор секілді жиілікпен кеңістікте айналады.

ЭҚК индуцирленетін және жүктеме тогы өтетін синхронды машинаның орамасын зәкір орамасы деп атайды. Ал қоздыру орамасы орналасқан машинаның бөлігін — индуктор деп атайды. Демек, келтірілген машинада (7.13-суретті қараңыз) статор — зәкір, ал ротор — индуктор болады. Машинаның әрекет ету принципі мен жұмыс теориясы үшін зәкірдің немесе индуктордың айналуы еш маңызды емес. Сондықтан кейбір жағдайларда кері құрылымдық схемасы бар синхронды машиналарды қолданады. Жүктеме жалғанатын зәкірдің орамасын роторда орналастырады. Ал тұрақты токпен қоректенетін қоздыру орамасы — статорда болады. Мұндай машинаны кері деп атайды. Кері машиналар салыстырмалы төмен қуаттылыққа ие, себебі оларда ротор орамасынан қуатты іріктеу қиындатылған болады.



Есте сақтаңыз

Синхронды машинаның орнатылған жұмыс режимдеріне келесідей ерекшеліктері тән:

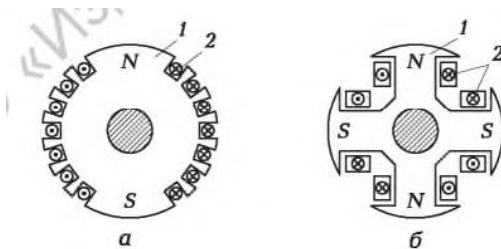
- Қозғалтқыштық және генераторлық режимдерде жұмыс істеуші машинаның роторы айналушы магниттік өрістің жиілігіне тең тұрақты жиілікпен айналады. Яғни $p_2 = p_1$, сондықтан машина синхронды деп аталады.
- Зәкір орамасында индуцирлеуші ЭҚК өзгеріс жиілігі ротор айналу жиілігіне пропорционалды;
- Орнатылған режимде қоздыру орамасындағы ЭҚК индуцирленбейді. Осы ораманың МҚК тек қоздыру тогымен анықталады және машинаның жұмыс режиміне байланысты емес.

7.2-мысал. Жиілігі 50 Гц ЭҚК алу үшін екі полюсті генератор 3000 айн/мин жасауы қажет

$$(f = \frac{pn_2}{60} = \frac{1 \cdot 3000}{60} = 50 \text{ Гц}).$$

Ротордың құрылғысы бойынша синхронды машинаның екі түрі кездеседі: тұрақты магниттің индуктивтік шарғылары шығарылыққы полюстерінде орналасқан айқын полюсті роторы бар машина (7.14а-сурет) және тұрақты токтың бөлінген орамасы ротордың қималарында орналастырылған айқан емес полюсті роторы бар машина (7.14б-сурет).

Ротордың айналу жиілігі 1500 және 3000 айн/мин кезінде жұмыс істейтін үлкен қуатты екі және төрт полюсті машиналарды әдетте айқын емес роторлы етіп жасап шығарады. Оларда айқын полюсті роторды қолдану полюстерді және қоздыру орамаларын бекітудің қажетті механикалық беріктігін қамтамасыз ету жағдайына байланысты мүмкін емес. Мұндай машинада қоздыру орамасын көлемді болат соғылмасынан жасалған ротордың өзекшелерінің қималарында орналастырады және магнитті емес сынамен бекітеді.



7.14-сурет. Синхронды машинаның роторы:

a — айқын полюсті; *б* — айқын емес полюсті; 1 — ротор өзекшесі; 2 — қоздыру орамасы

Айқын полюсті синхронды машина 1500 айн/мин дейінгі айналу жылдамдығы үшін жасап шығарылады және генератор немесе қозғалтқыш түрінде қолданылады. Аса ірі синхронды машиналар гидроэлектростанцияларды орнатады және айналым жиіліктері 50-500 айн/мин құрайтын гидравликалық турбиналармен келтіріледі. Осындай типтегі машиналар айналу жиілігі 100-ден 1500 айн/мин дейінгі іштен жану қозғалтқыштарымен әрекет ететін дизель-генераторлар ретінде қолданылуы мүмкін.

Турбогенераторлар айналымға тез қозғалушы бу немесе газдық турбиналармен келтіріледі және құрылымдық түрде айқын емес полюстермен орындалады. Ондағы білік көлденең орналасқан. Механикалық беріктік шарттары бойынша ротордың диаметрі 1-1,5 м өлшеммен шектелген. Ротордың шекті ұзындығы 7,5 — 8,5 м; ол мүмкін болатын біліктің майысуымен шектелген. Турбогенераторлардың қуаттылығы – 800-1200 МВт.

Technical drawing of a centrifugal pump assembly in cross-section. The drawing shows the internal components, including the impeller, shaft, and motor housing. Numbered labels 1 through 9 point to various parts:

- 1: Impeller
- 2: Shaft
- 3: Motor housing
- 4: Impeller nut
- 5: Impeller lock washers
- 6: Impeller lock washers
- 7: Impeller lock washers
- 8: Impeller lock washers
- 9: Impeller lock washers

1 — корпус; 2 — статор өзекшесі; 3 — статор орамасы; 4 — ротор; 5 — желдеткіш; 6 — орама шығарылымдары; 7 — түйіспелі сақиналар; 8 — қышпақтар; 9 — қоздырғыш

Қуаттылығы 500 МВт асатын гидрогенераторларда ротордың диаметрі оның 2 м ұзындығы бойында 15 м құрайды.

Дизель-генераторлар айналымға іштен жану қозғалтқыштары арқылы келтіріледі. Оларды біліктері көлденең орналасқан айқын полюстілерден жасап шығарады. Мұндай генераторлардың қуаттылығы 100-ден 1500 айн/мин дейін айналу жиілігінде бірнеше киловольт-амперден бірнеше мегавольт-амперге дейін жетеді.

Айқын емес полюсті синхронды машина негізінен жылу электрстанцияларында генератор ретінде қолданылады және айналымға айналу жылдамдығы 3000 айн/мин болатын бу турбинасымен келтіріледі (50 Гц жиілікте).

Есте сақтаңыздар!

- Синхронды машинаның роторы айқын және айқын емес полюсті болады.
- Синхронды генераторларды электрстанцияларында электр энергиясын жасаушы негізгі құрылғылар ретінде қолданады және оларды турбо, гидро және дизель-генераторлар деп жіктейді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

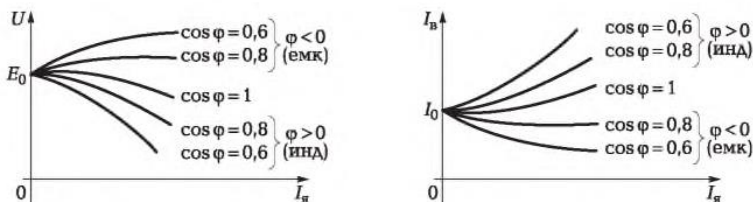
1. Синхронды машиналардың асинхрондылардан қандай принципиалды айырмашылығы бар?
2. Синхронды машиналарда қайтарымдылық принципі бар ма?
3. Синхронды генератор жұмыс принципінің мәні қандай?
4. Айқын полюсті және айқын емес полюсті синхронды машиналар қалай құрастырылған?
5. Синхронды машина роторының айналу жиілігі қандай параметрлерге тәуелді?

7.3.2. СИНХРОНДЫ ГЕНЕРАТОРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

Синхронды генератордың эксплуатациялық қасиеттері көбінесе оның сыртқы және реттегіштік сипаттамаларымен анықталады.

Егер синхронды генератор жүктелмесе (бос жұмыс істесе), онда статордың орамаларында ток жоқ және генератор қышқышындағы кернеу U статор орамасында туындаған ЭҚК E тең.

Жүктемеде жұмыс істеуші генератор қышқышындағы кернеу U бос қозғалыстағы ЭҚК E айтарлықтай ерекшеленеді. Бұл айырмашылық жүктеменің реактивті кедергісінің артуымен ұлғаяды.



7.16-сурет. Өртүрлі жүктемелердегі 7.17-сурет. Өртүрлі жүктемелердегі синхронды генераторлардың сыртқы синхронды генераторлардың реттегіштік сипаттамалары

Белсенді және реактивті жүктемелер үшін токты өзгерту кезіндегі генератор қысқаштарындағы кернеудің өзгерісін көрсетуші синхронды генератордың *сыртқы сипаттамалары* $U = f(I_a)$ 7.16-суретте көрсетілген.

Тәжірибеде генератор жүктемесі көпшілік жағдайда белсенді-индуктивті болып табылады.

Белсенді-индуктивті жүктемеде кернеудің төмендеуі зәкір реакциясының магнитсіздендіруден және машинаның ішкі индуктивтік кедергісінде кернеудің елеусіз азаюынан орын алған.

Көлемдік жүктеме кезіндегі сипаттамалардың көтерілімі зәкір реакциясының аса магниттенуінің әсеріне байланысты.

Өзгеріссіз кернеу U , бұрыш δ және жиіліктегі f_1 қоздырғыш токтың 1 жүктеме тогынан 1 тәуелділіктерін *реттегіш сипаттамалар* деп атайды (7.17-сурет). Олар жүктеме тогының өзгерісі кезінде оның кернеуін өзгеріссіз ұстап тұру үшін генератордың қоздырғыш тогын қалай өзгерту қажеттігін көрсетеді. $\delta > 0$ кезінде жүктеменің ұлғаюымен қоздырғыш токты арттыру қажет. Ал $\delta < 0$ кезінде – оны азайтқан жөн. Абсолюттік өлшем бойынша δ бұрыш үлкен болған сайын, соғұрлым қоздырғыш токты өзгерту қажеттілігі туындайды.



Есте сақтаңыз

- Индуктивті жүктеме кезіндегі зәкірдің реакциясы магнитсіздендіруші болады. Яғни машинаның нәтижелеуші аймағы әлсірейді.
- Көлемдік жүктеме кезіндегі зәкірдің реакциясы – аса магниттенеді. Яғни нәтижелеуші аймақ күшейеді деген сөз.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Синхронды генератордың эксплуатациялық қасиеттері қандай сипаттамалармен анықталады?
2. Синхронды генератордың сыртқы сипаттамасының көтерілімі неге байланысты?
3. Синхронды генератордың реттегіш сипаттамасы деген не?

7.3.4. СИНХРОНДЫ ГЕНЕРАТОРЛАРДЫҢ ПАРАЛЛЕЛЬДІ ЖҰМЫСЫ

Синхронды генераторлар ауыспалы токтың электр энергиясының көзі ретінде бөлінгіш желіге параллельді жалғанады. Генератордың желісі бар параллельді жұмысқа жалғану үшін қажетті шартқа оны синхронизациясы жатады. Яғни фазалардың, жиіліктердің, бастапқы фазалардың және генератор мен желі кернеуінің мәндерінің кезектесулерін сәйкестендіруге қол жеткізу. Желі мен генератор фазаларының сай келу мезеті синхроскоптармен бақыланады. Генераторларды параллельді жұмысқа қосу үшін қажетті түрде кернеу мен жиілікті реттеуге мүмкіндік беретін автоматтандырылған синхронизацияны пайдаланады. Сонымен қатар, өзіндік синхронизациялау әдісі қолданылады. Оның негізінде синхрондыққа жақын ротордың айналу жиілігінде генераторды желіге қоздырылмаған күйде қосады. Кейіннен қоздырғыш токты қосып, генератор роторы синхронизмге тартылады.

7.3-мысал. Орамаларды «үшбұрыш» және «жұлдыз» түрінде жалғау кезіндегі бос қозғалыс режимінде жұмыс істеуші синхронды үшфазалы генератордың қысқыштарындағы кернеуді анықтау, егер жиілік $f = 50$ Гц, статор кималарында орналасқан орамдарының саны, $w = 180$, орамалық коэффициент $k_{сб} = 0,9$, бір фазадағы магниттік ағымның амплитудалық мәні $\Phi_T = 0,01$ Вб.

Шешімі

Статор орамасындағы бір фазасының орамдарының саны

Айналушы магниттік ағын

$$\Phi = 1,5\Phi_m = 1,5 \cdot 0,01 = 0,015 \text{ Вб.}$$

Әрбір фазада индуцирленетін электр қозғаушы күш,

$$E_\Phi = 4,44fk_{сб}w_T\Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 60 \cdot 0,015 = 179,8 \text{ В} \approx 180 \text{ В.}$$

Генератор бос қозғалысында және оның орамаларын «үшбұрыш» тәрізді жалғаған кездегі қысқыштардағы кернеу ЭҚК тең:

$$U_\Delta = E_\Phi = 180 \text{ В.}$$

Орамаларды «жұлдызша» түрінде жалғағандағы қысқыштардағы кернеу

$$U = \sqrt{3} E_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 180 = 311,4 \text{ В.}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Синхронды генератор жүктемесінің қай түрі тәжірибеде жиі кездеседі?
2. Синхронды генераторды желіге жалғаудан алдыңғы қажетті синхронизациялау шарттарына қалайша қол жеткізіледі?
3. Генератордың өзіндік синхронизациялануы әдісінің мәні неде?

ПРАКТИКАЛЫҚ ТАПСЫРМАЛАР

1. $f = 50$ Гц жиілікті ауыспалы токтың энергиясын өндіруші синхронды турбогенератордағы полюстер жұбының санын анықтаңыз. Егер ротордың айналу жиілігі 3000 айн/мин болғанда не болады?
2. Егер қоректендіруші токтың жиілігі 400 Гц құрағанда айналушы магниттік өрістің төрт полюсті айналу жылдамдығын табыңыз.
3. Ротордың айналу жиілігі 1800 айн/мин болғандағы екі полюсті синхронды дизель-генератордағы ауыспалы токтың жиілігін анықтаңыз.
4. Статор қималарында орналасқан орамдарының саны $w = 270$, орамалық коэффициенті $= 0,9$ және ток жиілігі $f = 50$ Гц болатын үшфазалы синхронды генератордың статорындағы әрбір орамалық фазасында индуцирленетін ЭҚК мәнін есептеңіз.

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫБЫ

1. Синхронды машиналардың құрылғысы мен әрекет ету принципі.
2. Синхронды генераторлардың сипаттамалары.
3. Желісі бар синхронды генератордың параллельді жұмысы.

7.3.5. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР. ӘРЕКЕТ ЕТУ ПРИНЦИПІ МЕН ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Синхрондық қозғалтқыш синхронды генератордан айтарлық принципиалдық құрылымдық ерекшелікке ие емес. Қозғалтқыштың үшфазалы статорлық орамасын (зәкір) ауыспалы токтың үшфазалы желісіне жалғайды және айналым саны мынадай болатын айналушы магниттік өрісті туындатады:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

Қозғалтқыштың роторында тұрақты ток көзіне жалғанатын (әдетте реттеуші түзеткішке) қоздырғыш орама орнатылады. Қоздырғыш тогы полюстердің магниттік ағынын туындатады. Статор орамаларының токтарымен қоздырылатын айналушы магниттік өріс өзімен бірге ротор полюстерін тартады. Осы орайда ротор тек синхронды жиілікпен, яғни, статордың айналу өрісінің жиілігіне тең жиілікте айналады. Осылайша, синхронды қозғалтқыштың айналу жиілігі, егер қоректендіруші желідегі ток жиілігі өзгеріссіз кезінде, қатаң түрде тұрақты болады.

Синхронды қозғалтқыштар айқын полюстермен жүзеге асады және $\cos \varphi = 0,8$ озық мәнінде шектен тыс қоздыруы бар қалыпты режимде жұмыс істейді.

Синхронды қозғалтқыштарда келесідей артықшылықтар бар:

- $\cos \varphi = 1$ кезінде жұмыс істеу мүмкіндігі; бұл желідегі $\cos \varphi$ жақсаруына, сонымен қатар, қозғалтқыш өлшемдерінің қысқаруына әкеледі. Себебі оның тогы асинхронды қозғалтқыштікіндей қуаттағы тогынан азырақ. Озық токтармен жұмыс істегенде синхронды қозғалтқыштар асинхронды қозғалтқыштарға келіп түсетін генератордың реактивті қуаты қызметін атқарады, бұл осы қуатты электрстанция генераторларынан тұтынуды төмендетеді;
 - кернеудің тербелістеріне деген төмен сезімталдық, себебі олардың максималды мезеті бірінші деңгейдегі кернеуге пропорционалды (кернеу шаршысына емес);
 - Біліктегі механикалық жүктемеге қарамастан айналу жиілігінің қатаң тұрақтылығы.
- Синхрондық қозғалтқыштардың **кемшіліктері**:
- Құрылымның күрделілігі;
 - Қозғалысты іске қосудағы айтарлықтай қиындықтар;
 - Қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту жолымен ғана мүмкін болатын айналу жиіліктерін реттеудегі қиындықтар.

Синхронды қозғалтқыштардың көрсетілген кемшіліктері оларды асинхронды қозғалтқыштарға қарағанда 100 кВт дейінгі шектелген қуаттарда аз тиімді етеді. Алайда аса жоғары қуаттарда, $\cos \varphi$ жоғары мәні мен машинаның кішірейтілген өлшемдері кезінде, синхронды қозғалтқыштар асинхрондыққа қарағанда мықтырақ болады.



Есте сақтаңыз

- Синхронды қозғалтқыш роторының айналу жиілігі статор магниттік өрісінің айналу жиілігіне тең және жүктемеге байланысты емес. Синхронды қозғалтқыш абсолютті қатаң механикалық сипаттамаға ие.
- Қоздыруға қажетті тұрақты токтың қосалқы көзінің болуына қарамастан, синхронды қозғалтқыштар өндірісте жиі қолданылады. Себебі тұтынушының $\cos \varphi$ реттеуге мүмкіндік береді және соның салдарынан электр энергиясын беру кезіндегі жоғалтымдарды азайтады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

Синхронды қозғалтқыш қалай құрылған және қалай жұмыс істейді?

Синхрондық қозғалтқышта асинхрондық қозғалтқышпен салыстырғанда қандай артықшылықтар мен кемшіліктер бар?

Синхрондық қозғалтқыштарды қолдану аясы қандай?

7.3.6. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ІСКЕ ҚОСУ

Синхронды қозғалтқышты тікелей желіге жалғаумен қозғалысты іске қосу мүмкін емес. Себебі ротор өзінің айтарлық инерциясынан жылдамдығы лезде орнатылатын статордың айналушы өрісімен бірден тартылмайды. Роторға, егер ол қыздырылса, периодта орташа мәні нөлге тең айныма таңба мезеті әсер етеді. Статор өрісінің полюстері ротордың қоздырылған полюстері қатысында баяу қозғалғанда ғана электромагниттік мезет туындайды және роторды айналуға мәжбүрлейді.

Қозғалтқышты қозғалысқа іске қосу үшін алдын-ала ротордың айналым санын синхронды жылдамдыққа немесе оған жақын мәнге дейін ұлғайту қажет.

Синхронды қозғалтқыштардың үдетілуі үшін асинхронды іске қосуды қолданады. Ол үшін синхронды қозғалтқыш роторының полюстік ұштарында асинхронды қозғалтқыш роторының қысқа тұйықталған орамасы түріндегі тиін доңғалағы тәрізді жасаған іске қосу орамасы салынады. Қозғалтқыш роторын шамамен 0,95 пJ құрайтын синхрондыққа жақын айналу жиілігіне дейін үдеткенде қоздыру орамасына тұрақты ток беріледі және ротор синхронизмге тартылады.

Қорек көзінен ажыратылатын қоздыру орамасын белсенді кедергіге тұйықтайды. Егер де ораманы тұйықталмаған күйде қалдырса, онда статордың айналушы магниттік ағыны ЭҚК-ті қоздырғыштың номиналды кернеуінен 20-30 есеге артық индуцирлейді. Және бұл жағдай ротор орамасы изоляциясының ойығына әкелуі мүмкін.

Синхронды қозғалтқыштар әдетте статорлық ораманың желісіне тік жалғанумен іске қосылады. Және тек қуатты қозғалтқыштар ғана іске қосу тогының шектеуін талап етеді.

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

Синхронды қозғалтқышты желіге тікелей жалғанумен қозғалысқа іске қосу неліктен мүмкін емес?

Асинхронды іске қосу принципінің мәні неде?

Қуаттылығы қандай синхрондық қозғалтқыштар іске қосу тогының шектеуін талап етеді?

7.3.7. СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ЖОҒАЛТЫМДАРЫ ЖӘНЕ ПӘК

Синхронды машиналарда ротор мен статордағы электрлік шығындары бар статордың ядросындағы магнитті шығындар, статор жүрекшесіндегі магниттік жоғалтымдар, айналмалы бөліктердің үйкелісін айтамыз..

Үшфазалы синхронды генератордың тиімділігі төмендегі формула бойынша анықталады

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P}$$

Үшфазалы синхронды қозғалтқыштың пайдалы әрекет коэффициенті

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2 - \sum P}{P_1}$$

Жоғалтымдар сомасы

$$\sum P = P_{\text{м}} + P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{в}} + P_{\text{д}}$$

мұндағы $p_{\text{м}}$ — статор айналымы мысындағы жоғалтымдар, $p_{\text{м}} = 3I^2 R$; $P_{\text{ст}}$ — статор болатындағы жоғалтымдар; P — механикалық жоғалтымдар (үйкелістегі жоғалтымдар); P — қоздырудағы жоғалтымдар; $p_{\text{д}}$ — қосылатын жоғалтымдар.

Күшті синхронды генераторлардың пайдалы әрекет коэффициенті айтарлықтай жоғары және 0,98-ге жетеді. Синхронды қозғалтқыштардың пайдалы әрекет коэффициенті қозғалтқыш қуаты неғұрлым үлкен болса, соғұрлым жоғары және 0,91-0,96 шамаларын құрайды.

7.4-мысал. Үшфазалы синхронды қозғалтқыш $P_n = 600$ кВт номиналды қуатпен және 400 В номиналды кернеу мынадай деректерге ие: жиілігі $f = 50$ Гц, полюстердің саны $2p = 4$, ПӘК $\eta_n = 0,96$, қуат коэффициенті $\cos \varphi_n = 0,8$ (кернеудің фазасынан бұрынғы ток). Ротордың айналу жиілігін, номиналды айналу сәтін, желіден тұтынылатын белсенді және реактивті қуатты, статор тогын және оның реактивті компонентін анықтаңыз.

Шешімі

ротордың айналу жиілігі:

$$n_2 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин.}$$

Номиналды айналым сәті:

$$M_n = 9,55 \frac{P_n}{n_2} = 9,55 \frac{600000}{1500} = 3820 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Белсенді қуаттылығы

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{600}{0,96} = 625 \text{ кВт.}$$

Реактивті қуаттылығы:

$$Q = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{781,25^2 - 625^2} = 468,75 \text{ квар.}$$

Статор тогы

$$I_n = \frac{S_1}{\sqrt{3}U_n} = \frac{781,25}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1,148 \approx 1,15 \text{ А.}$$

токтың реактивті (сыйымдылықты) компоненті

$$I_p = I_n \sin \varphi = 1,15 \cdot 0,6 = 0,69 \text{ А.}$$



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Синхронды қозғалтқыштың жұмыс қағидасы қандай?
2. Синхронды қозғалтқыштың роторына қысқа тұйықталу орнын қоюдың мақсаты қандай?
3. Синхронды қозғалтқышты іске қосу кезінде қозу орамының кедергісі қандай мақсатта жабылды?
4. Синхронды машиналар жұмыс істегенде қандай шығындар пайда болады?



ПРАКТИКАЛЫҚ ТАПСЫРМАЛАР

1. $S \cdot i = 60 \text{ кВ}$ - А толық қуатын қолданатын $\cos \varphi = 0.8$ қуат коэффициенті бар және қозғалтқыштардағы жалпы қуат шығыны $2 P = 4 \text{ кВ}$ бар желіден тұтынатын синхрондық қозғалтқыштың ПӘК-ін анықтаңыз.

2. Синхронды қозғалтқыш желіден тұтынатын реактивті қуатты, егер бұл қозғалтқыш 220 В кернеуі бар желіге қосылған болса, 112 А сызықты тоқты тұтынса және $\eta = 0.95$ ПӘК бар қуаттылықты 36 кВт қуаттаған кезде табыңыз.

3. 220 В кернеумен, ток тұтынуы $I = 25 \text{ А}$ болған кезде қозғалтқыштың қуаттылығы $\cos \varphi = 0.8$ коэффициентте болған кезде синхронды қозғалтқыштың ПӘК-ін есептеңіз. Қозғалтқыштағы жалпы қуат шығыны $- 2 P = - \text{кВт}$.



БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАРДЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Синхронды қозғалтқыштардың жұмыс принципі, дизайны және көлемі.

2. Синхронды қозғалтқыштардың құрылымы және іске қосу.

3. Синхронды қозғалтқыштағы реактивті қуатты реттеу.

4. Синхронды микроқозғалтқыштар.

7.4. ТҰРАҚТЫ ТОК МАШИНАЛАРЫ

7.4.1. НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР МЕН ТҰРАҚТЫ ТОК МАШИНАЛАРЫНЫҢ ҚОЛДАНУ АЙМАҒЫ ТҰРАҚТЫ ТОК МАШИНАЛАРЫНЫҢ НЕГІЗІ

Тікелей ток машиналары электр қозғалтқыштар мен генераторлар ретінде қолданылады. Қозғалтқыш пен тұрақты ток генераторы бірдей құрылғыға ие. Тұрақты ток қозғалтқыштары жақсы реттейтін қасиеттерге ие және айтарлықтай жүктеме қабылетіне ие. Олар қатаң және жұмсақ механикалық қасиеттерді алуға мүмкіндік береді

Тұрақты ток қозғалтқыштарының дизайны күрделі және олардың құны асинхронды қозғалтқыштарға қарағанда жоғары болады.

Дегенмен, автоматтандырылған электр жетегі мен тиристорлық түрлендіргіштерді кеңінен қолдануға байланысты тұрақты электр тогы қозғалтқыштарын ауыспалы ток желісінен реттелетін кернеумен қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін бұл электр қозғалтқыштары экономиканың әр түрлі салаларында кеңінен қолданылады.

Тұрақты токтың генераторлары стационарлық және жылжымалы қондырғылардағы тұрақты токтың электр қозғалтқыштарын қоректендіру үшін, сондай-ақ электр энергиясының қайнар көзі ретінде аккумуляторлық батареяларды зарядтауға көмектеседі.

Олар электролиттік және гальваникалық ванналарды зарядтауға, әртүрлі электр тұтынушыларды автокөліктермен, ұшақтармен, жеңіл автокөліктермен, электровоздармен, дизельді локомотивтермен және т.б. қамтамасыз ету үшін кеңінен қолданылды.

Тұрақты ток электр қозғалтқышын құрудың негізгі мүмкіндігін алғаш рет 1821 жылы М. Фарадей көрсетті. Ол құрған тұрақты токты өткізетін құрылғыда өткізгіш магнит айналасында айналып тұрған.

Электромагниттік қозуы бар тұрақты токтың қозғалтқышы 1834 жылы Ресей академигі Б. С. Якобимен құрылды. Ол оны магниттік машина деп атады. 1838 жылы ол өзен кемесін басқару үшін пайдаланылатын электр қозғалтқышы анағұрлым қуатты электр қозғалтқышын жасап шығарды. Тұрақты токтың электр машиналарының теориясының айтарлықтай дамуы Д.А. Лачиновтың басқа шығармаларында жарық көрді. 1880 жылы ол “Электромеханикалық жұмыс» еңбегін жариялады. Онда ол электр қозғалтқыштың айналу сәтін құру мәселелерін, электр машиналарының ПӘК-ін, электр қозғалтқышты генератордан қуаттандырудың шарттарын қарастырып, сондай-ақ тұрақты ток машиналарының жіктелуін олардың қозуына байланысты берді.

Жиырмасыншы ғасырларда тұрақты ток машиналарының құрылымын жетілдіру мен теорияның дамуы жалғастырылды. Бұл машиналардың сенімділігін жақсартуға олардың қылшақтар (коммутацияны жақсарту) астында ұшқындардың пайда болуы мен коллекторда айналмалы отты тудыратын себептерді жоюға көп көңіл бөлінді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

- 1.Тұрақты ток генераторларының қолданылу саласы қандай?
- 2.Қандай Ресей ғалымы алғашқы болып тұрақты токтың электрлік қозғалтқышын ойлап тапты?
- 3.Ауыспалы ток қозғалтқыштарымен салыстырғанда тұрақты ток қозғалтқыштарының артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

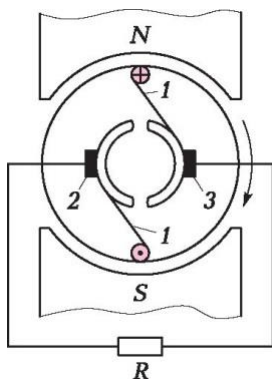
7.4.2. ТҰРАҚТЫ ТОК ГЕНЕРАТОРЫНЫҢ ӘРЕКЕТ ЕТУ ПРИНЦИПІ МЕН ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Кез-келген электр генератордың әрекеті электромагниттік индукция заңын қолдануға негізделген. Сондықтан тұрақты ток генераторы ауыспалы ток генераторы секілді полюстардан және орамалы якорьден тұрады. Ең қарапайым генератор N және S полюстерінің магнитті өрісінде айналатын орам болып табылады (7.18-сурет).

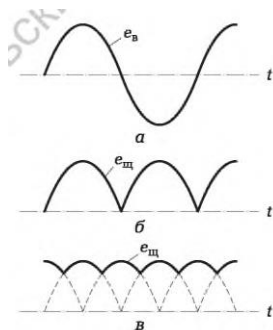
1 орамда уақытта ауыспалы ЭҚК ықпалдандырылады. Орам ұштарын ораммен бірге айналып тұратын контактілі сақиналарға қосқан кезде, қозғалыссыз қылшақ 2, 3 арқылы жүктемеде ауыспалы ток өтеді. Яғни мұндай машина ауыспалы токтың генераторы деп аталады. Ауыспалы токты тұрақты токқа түрлендіру үшін орамында ықпалдандырылатын ауыспалы токтың механикалық түзеткіші ретінде рөл ойнайтын коллекторды қолданады. 1 Орам ұштарын коллекторлы пластиналар деп аталатын екі мыс жартылай сақинаға (сегменттерге) қосады. Орамның айналуы кезінде коллекторлы пластиналар 2,3 қылшақтарының әр қайсысы не бір не басқа пластиналармен жанасатын машина біліктерімен бірге айналады.

Коллектордағы қылшақтар орамда ықпалдандырылатын ЭҚК нөлге тең болған кезде олар бір пластинадан екіншісіне өте алатындай етіп орнатылады. Осылайша, 2 қылшақ кез келген уақытта S полюсі астында орналасқан өткізгішпен байланыста болады. Ал 3 қылшағы әрқашан тек полюстің астында орналасқан өткізгішпен ғана байланыста болады. Демек, 2 және 3 қылшақтардағы ЭҚК таңбаны өзгертпейді және электр тізбегінің сыртқы бөлігіндегі ток бір бағытта 2 қылшақтан кедергі арқылы R қылшағына дейін ағып өтеді.

Сыртқы тізбек ішіндегі ЭҚК бағыты өзгеріссіз қалады және оның шамасы уақытпен өзгереді. Және тұрақты емес пульсті ЭҚК болады. Тиісінше, сыртқы тізбектегі ток та пульсирленген болады (7.19-сурет).



7.18-сурет. Тұрақты ток генераторы құрылғысының схемасы:
1 — орам; 2, 3 — қылшақтар.



7.19-сурет. Уақыттағы ЭҚК қисық өзгерістері: а — орамда (e_b); б — екі коллекторлы пластинадағы қылшақтарда ($e_{ш}$); в — төрт коллекторлы пластинадағы қылшақтарда болады.

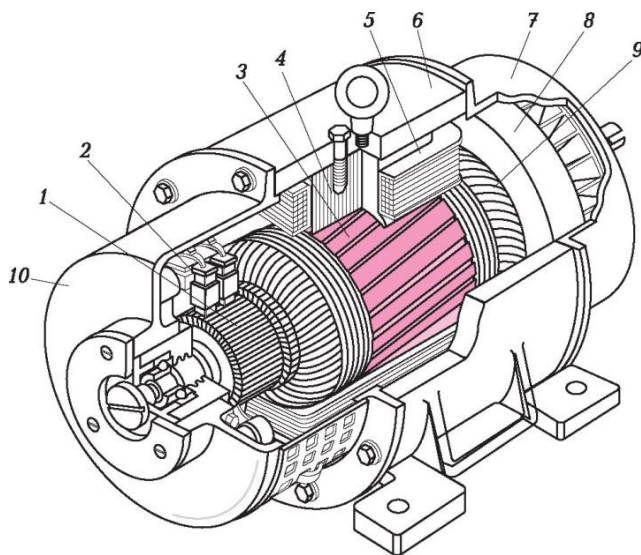
Коллекторлық пластиналар саны артқан кезде сыртқы тізбектегі ток лүпілі азаяды. Ал 16 пластинада полюстер қос полюстерде 1% -дан аз көрсеткішті көрсетеді. Осылайша, ЭҚК коллекторлық пластиналардың үлкен саны кезінде және сыртқы тізбектегі ток іс жүзінде тұрақты болады.

Кез-келген электр машинасы сияқты, тұрақты токтың генераторы қозғалыссыз және айналмалы бөлікті иеленеді. Машинаның стационарлық бөлімі *индуктивті* деп аталады. Яғни ол магнит өрісін жасайды. Ал айналмалы бөлік – *индуктирленетін* деп аталады.

7.20 суретінде бір жұп полюсі бар тұрақты ток машинасы ($p = 1$) көрсетілген. Полюстердің саны да үлкен болуы мүмкін. Бірақ бұл әрқашан он сан, яғни 2 p .

4 Қоздырғыш орамдары бар полюстер статор 6 тұғырының болат корпусының ішкі бетіне бекітіледі. Қоздыру орамдары тұрақты токпен қоректеніп, статордың тұғыры, полюстердің өзекшелері, ауалық саңылаулар және 3 якорь болаты арқылы жабылатын магниттік ағын қалыптасады.

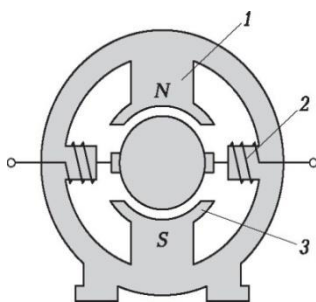
Машина корпусы ұшынан 7 және 10-шы мойынтірек қалқандары арқылы жабылған. Роторда машинаны салқындату үшін 1 коллектор және 8 желдеткіші бар 3 якорь орналасқан. Айналмалы шығындарды азайту үшін ротордың білігі мойынтіректерге бекітіледі.



7.20-сурет. Тұрақты ток машинасының құрылысы:

1 — жинақтағыш; 2 — қылшақтар; 3 — якорь; 4 — басты полюс; 5 — қоздыру орамының полюстік шарғысы; 6 — тұғыр; 7, 10 — мойынтіректі қалқандар; 8 — желдеткіш; 9 — якорь орамы

Арнайы муфталардың көмегімен механикалық құрылғыға қосылады. Якорь ойықтарында мыс өткізгіштер орналасып және бекітілген цилиндрлі өзекше болып табылады. Бұл өткізгіштер белгілі бір тәртіппен қосылған, якорьдың 9 жабық орамасын құрайды. Коллектор цилиндр пішіміне ие және бір-бірінен және біліктен оқшауланған мыс пластиналарынан тұрады. Әр платаға якорь орамасының өткізгіштерінің басы қосылады. Сыртқы электр тізбегі бар якорь орамасы коллекторға серіппелермен тығыздалған қылшақтар арқылы қосылады. Қылшақ ұстағыш машинаның мойынтірек қалқанына орнатылады.



7.21. сурет. Қосалқы полюстерді орауды қосудың схемасы. 1 — негізгі полюстер; 2 — қосалқы полюстер; 3 — компенсациялық орамы

Тұрақты ток машиналарының жұмыс ерекшеліктерін қарастырайық.

Ток қылшақтың ағымдық өтпелі контакт арқылы өткен кезде, коллекторда ұшқын пайда болуы мүмкін. Ол әрине, керек емес. Себебі ол коллекторды және қылшақтарды бұзады. Ұшқынды азайту үшін коллекторды мерзімді жону, өңдеу және басқа да сырғушы контактіні жақсы күйде сақтау үшін шаралар орындалуы керек.

Якорьдың ағымы машинада өзіндік магниттік ағын жасайды. Ол машинаның магниттік ағындарын бұрмалайды және тіпті азайтады. Бұл құбылысты ***якорь реакциясы*** деп атайды. Якорьдың реакциясы себебінен машинаның ЭҚК төмендейді және коллектордың жұмыс жағдайы нашарлайды. Сонымен қатар қылшақтар астында ұшқындар арта түседі. Машинаның негізгі 1 полюстары арасында коммутацияны жақсарту үшін қосымша тіректер 2 орнатылады (7.21-сурет). Коллектордың орамдар тогы коммутация аймағында якорьдың магнитті ағынына қарама-қарсы магнитті ағынды жасайды.

Машинаның негізгі полюстерінің ойықтарында якорь реакциясын толығымен өтеу үшін 3 өтемдік орамды орналастырады. Осы ораммен пайда болатын ағым якорь орамасына қарсы бағытталған.



Есте сақтаңыз

■ Тұрақты токтың қозғалтқышы мен генераторы бірдей құрылғыны иеленеді. Якорь мен полюстердің өзекшесін электротехникалық болат табақшаларынан құйынды токтарының және асыра магниттелуі салдарынан болатын шығындарды азайту үшін алынады. Тұрақты ток машинасының басты ерекшелігі - якорь орамасы мен сыртқы электр тізбегі арасындағы коллектордың және сырғушы байланыстың болуы.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток генераторының құрылысы мен принципі қандай?
2. Ауыспалы ток генераторынан тұрақты ток генераторы құрылғысының негізінде айырмашылық қандай?
3. Жинақтауыштың мақсаты мен құрылысы қандай?
4. Якорь мен полюстердің өзекшелерін электрлі болат табақтардан не үшін алады?
- 5.

7.4.3. ТҰРАҚТЫ ТОК МАШИНАСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ҚОЗҒАУШЫ КҮШІ

Якорь орамасының жекелеген өткізгіштерінде қозғалатын электр қозғалтқыш күштері магнит өрісінің индукциясына, өткізгіштің ұзындығына және өрістің магнитті сызығы бағытына перпендикулярлы бағыттағы осы өрістегі өткізгіштің ауысу жылдамдығына тікелей пропорционалды:

$$e = Blv.$$

Тұрақты ток машинасының якорінде N әріпімен белгіленген көптеген белсенді өткізгіштер салынады. Ораманың әр параллельді тармағында $N / 2a$ белсенді өткізгіштер және машинаның ЭҚК жалпы шамасы тізбекті түрде қосылады

$$E = \frac{N}{2a} Blv.$$

Өткізгіштердің магнитті өрісте жылжу жылдамдығы

$$v = \frac{2p\tau n}{60},$$

мұндағы, $2p$ - машинаның полюстерінің саны; m - полюсті бөлу, яғни әр түрлі атты полюстердің орталықтары арасындағы қашықтық; n - машина якорының айналу жиілігі.

Машинаның бір полюсының магнитті ағыны

$$\Phi = Bl\tau.$$

Машинаның электрлі қозғаушы күші

$$E = \frac{p}{a} N \frac{n}{60} \Phi.$$

Машинаның құрылымдың деректеріне байланысты тұрақты коэффициент,

$$C_E = \frac{pN}{60a}.$$

Сонда

$$E = C_E n \Phi.$$

Тұрақты ток Е машинасының ЭҚК жалпы шамасы n ротордың жылдамдығы мен Φ магнит ағынына тікелей пропорционалды.



Есте сақтаңыз

- ЭҚК және тұрақты ток генераторының кернеуін реттеу қоздыру тогына байланысты магнит ағынының өзгеруімен жүзеге асырылады.
- Қоздыру тізбегіне реостат іске қосылады. Оның кедергісінің өзгеруімен ток қозуы да өзгереді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

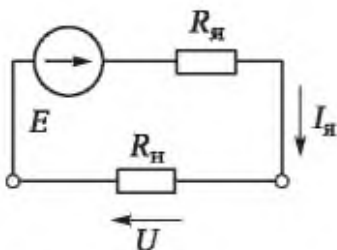
1. Якорь орамасының жеке өткізгіштерінде ықпал алатын ЭҚК қандай параметрлерге байланысты болады?
2. ЭҚК және тұрақты ток генераторының кернеуі қалай реттеледі?
3. Тұрақты ток машинасының бір полюсінің магниттік ағыны қандай параметрлерден тәуелді?

7.4.4. ТҰРАҚТЫ ТОК ГЕНЕРАТОРЫНЫҢ ЖҰМЫСЫ

Егер якорь орамасын L_n (7.22-сурет) сыртқы кедергісіне тұйықтаса, онда генератордың якорь тізбегіндегі электр күйінің жағдайы төмендегідей болады

$$E = I_a R_n + I_a R_a = I_a R_a + U,$$

мұндағы I_a — қылшақты контактінің кедергісін ескере отырып, якорь орамасының ішкі кедергісі; U – генератор қысқаштарындағы кернеу, $U = E$.



Осыдан

$$U = E - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Теңдеу (7.4) тұрақты ток генераторының сыртқы сипаттамасын анықтайды.

Осы теңдеуден генератордың қуат теңдеуін алуға болады:

$$UI_{\text{я}} = EI_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$$

$$P_2 = P_{\text{э}} - P_{\text{об}}$$

мұндағы P_2 - электр энергиясын тұтынушыға беретін генератордың пайдалы қуаты; $R_{\text{я}}$ - генератордың электромагниттік күші, ол электрлігіе түрлендірілген; P - якорь орамдары мен қылшақ байланыстарындағы қуат шығыны.

Генератор бос тұрғанда электромагниттік қуат нөлге тең ($P_{\text{е}} = 0$), бірақ машина якорінің айналымы үшін алғашқы қозғалтқыш жалғыз жүріс шығынына жұмсалған P_0 кейбір қуатты жұмсауы керек. P_0 қуаты гистерезис және $P_{\text{ст}}$ толқынды тоқтағы болат шығындарынан және $P_{\text{мех}}$ машинаның айналмалы бөліктерінен ауаға үйкелісі мен мойынтіректердегі үйкелісіне кеткен механикалық шығындардан құрылады:

$$P_0 = P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}}$$

Өздігінен қозатын генераторларда P_0 қуатына магниттік ағынды қалыптастыру үшін жұмсалған энергия, яғни машинаны қоздыруға жұмсалған қуат кіреді.

Тұрақты ток генераторының электромагнитті сәті

$$M_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{\Omega}$$

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}$$

мұндағы Q — якорьдың бұрыштық жылдамдығы, Себебі

$$P_{\text{э}} = EI_{\text{я}}$$

$$E = \frac{Np}{2\pi a} n\Phi$$

генератордың электромагнитті сәті келесі өрнекпен анықталады:

$$M_{\text{э}} = \frac{Np}{2\pi a} \Phi I_{\text{я}}.$$

А, Р және N шамалары берілген машина үшін тұрақты болып табылады. Сондықтан өрнек берілген машина коэффициенті үшін тұрақты болып табылады.

Тұрақты ток генераторының электромагниттік сәті

$$M_{\text{э}} = C_{\text{э}} \Phi I_{\text{я}}.$$



Есте сақтаңыз

- Тұрақты ток генераторының электромагниттік сәті полюстердің магниттік ағынына және якорьдың тогына байланысты.
- Генератор режиміндегі электромагниттік сәт ротордың айналуына қарсы бағытқа бағытталған. Яғни ол тежеуші болып табылады.



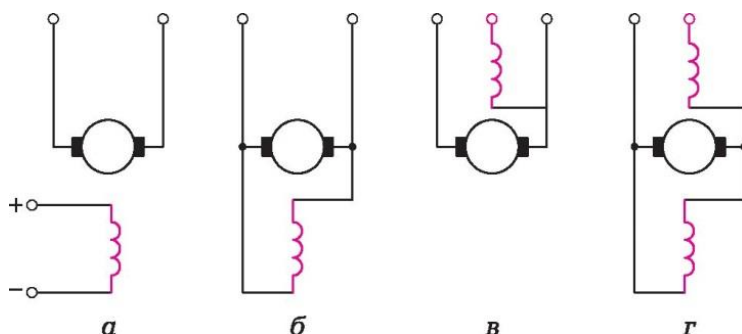
БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток генераторының якорь тізбегінің электр күйі қандай теңдеулерге ие болады? Жазыңыз.
2. Тұрақты ток генераторының электромагнитті сәті неге байланысты?
3. Жалғыз жүріс кезінде тұрақты ток ағынын генератордың электромагниттік қуаты қандай?
4. Тұрақты ток машинасының генераторлық режиміндегі электромагниттік сәті қайда бағытталған?

7.4.5. ТҰРАҚТЫ ТОК ГЕНЕРАТОРЫН ҚОЗДЫРУ ӨДІСТЕРІ

Тұрақты ток генераторларының қасиеттері негізінен қозу орамасының берілуіне байланысты болады (7.23-сурет). Осыған байланысты генераторлардың төрт түрін ажыратады:

- 1) тәуелсіз қозумен - қоздыру орамасын тұрақты токтың сыртқы көзімен қуатталады (7.23, а суретін қара);
- 2) параллельді қозу - қозу орамасы жүктемеге параллельді якорь орамасына қосылады (7.23, б суретін қара);
- 3) тізбекті қозу - қозу орамасы якорь орамасымен және жүктемемен бірізді байланыстырылады (7.23, в суретін қара);



7.23-сурет. Тұрақты ток машиналарының схемасы: а — тәуелсіз; б — параллельді; в — бірізді; г — аралас

- 4) аралас қоздырумен - екі қоздыру орамы бар: олардың біреуі жүктемеге параллельді қосылған, ал екіншісі онымен қатар қосылған (7.23-сурет)

Тәуелсіз қозуы бар генератор. Тәуелсіз қозуы бар генератордың артықшылығы — қоздыру тогы және кернеудің жүктемеде салыстырмалы түрде аз өзгеруін нөлден бастап U дейін жолымен үлкен ауқымда кернеуді реттеу мүмкіндігі. Дегенмен, генераторлардың қозу орамдарын қуаттау үшін сыртқы тұрақты ток көздері қажет.

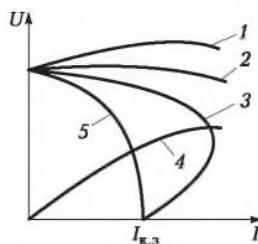
Параллельді қозуы бар генератор. Ресей өнеркәсібімен өндірілетін тұрақты ток генераторларының көпшілігі параллель қоздыруға ие. Қажет болған жағдайда мұндай генераторларды тәуелсіз қоздыру схемасымен де қосуға болады.

Тізбекті қозуы бар генератор. Тізбекті қозуы бар генераторда кернеу

жүктеменің өзгеруімен айтарлықтай өзгереді. Ал бос тұрған кезде ол нөлге жақын. Мұндай генераторлар электр тұтынушыларының көпшілігін қуаттау үшін жарамсыз. Олар тек электр қозғалтқыштарында тежеу кезінде қолданылады. Бұл жағдайда генераторлық режимге ауыстырылады

Аралас қозуы бар генератор. Бұл генераторда екі қозғау орамасы бар: негізгі (параллельді) және қосалқы (тізбекті). Екі орамды үйлесімді қосу жүктемені өзгерткенде шамамен тұрақты генератор кернеуін алуға мүмкіндік береді. Тізбекті және параллельді қозу орамдарын қарсы қосу қысқа тұйықталу тогының шектелуін қажет ететін дәнекерлеу генераторларында және басқа арнайы машиналарда қолданылады.

7.24-сурет. Қоздыру әдісіне байланысты тұрақты ток генераторларының сыртқы сипаттамалары



Қоздыруға жұмсалатын қуат айтарлықтай үлкен емес (тұрақты ток машинасының номиналды қуатының 1 - 5% -ы), ол кернеудің экономикалық реттелуіне мүмкіндік береді. Тұрақты ток генераторларының кернеу деңгейі, әдетте, автоматты реттегіштер арқылы жүзеге асырылады

Үлкен практикалық қызығушылық - бұл U генератордың шығу кернеуі жүктеме арқылы I тоқтың артуымен қалай өзгередінін көрсететін генератордың сыртқы сипаттамасы. Тұрақты ток генераторының сыртқы сипаттамаларының түрі әр түрлі қоздыру әдістеріне байланысты 7.24 суретінде көрсетілген.

2, 3 қисықтарда (тәуелсіз және параллельді қозу генераторлары үшін) жүктеме артқан кезде кернеу азаяды және параллельді қозу генераторы үшін көп жүктеледі. Өйткені оның жүктемесі кезінде қозудағы ток та азаяды.

Жүктеме кедергісін нөлге дейін біртіндеп азайту арқылы, параллельді қозу генераторының қысқа тұйықталу тогы аз болады. Себебі қозу орамасындағы кернеу нөлге тең, ал ЭҚК қалдық магнитизация ағынымен анықталады.

Лездік қысқа тұйықталу кезінде ток үлкен, себебі машинаның ЭҚК бастапқы сәтте өзгермейді.

4 қисық үшін (тізбекті қозу генераторы үшін) жүктеменің артуы

кезінде кернеудің жоғарылауына тән. Себебі бұл кезде қозу тогы күшейеді. Аралас қоздырғыш генераторының сыртқы сипаттамасының түрі (қисықтар 1, 5) орамалардың қосылғанына байланысты. Олардың келісімді қосылуы кезінде (қисық 1) кернеу жүктеменің артуымен біршама артуы мүмкін. Орамалардың қарсы қосылуы кезінде (қисық 5), сыртқы сипаттамалар күрт құлдырау сипатына ие болады. Өйткені жүктеме жоғарылағанда, тізбекті ораманың тогы параллель орамасының ағысына қарсы магниттік ағын қалыптастырады. Мұндай сыртқы сипаттамаға қысқа тұйықталу режимінде жұмыс істейтін дәнекерлеу генераторы сәйкес.



Есте сақтаңыз

- Тұрақты ток машиналарында электромагниттік қозу магниттік ағын құру үшін қолданылады.
- Тұрақты ток генераторының сыртқы сипаттамасы генератордың шығу кернеуінің жүктемесінің артуымен өзгередінін көрсетеді.
- Генераторлардағы кернеу қоздыру орамасындағы токтың өзгеруімен реттеледі.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток генераторларының қасиеттері қандай?
2. Тұрақты ток орамасының қозу орамасын қосудың қандай әдістерін білесіз?
3. Генератордың шығыс кернеуі жүктеме арқылы артқан кезде қалай өзгередінін көрсететін генератордың сипаттамасы қандай?
4. Тұрақты ток генераторының кернеуі қалай реттеледі?



БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАРДЫҢ ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Өнеркәсіпте тұрақты ток генераторларының қолданылуы.
2. Тұрақты ток генераторындағы токты ауыстыру.
3. Тұрақты ток генераторының сипаттамасы.

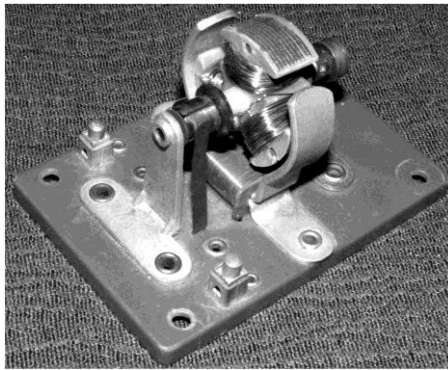
7.4.6. ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ

Тұрақты ток қозғалтқыштары өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Оларға мыналар жатады:

- түрлі ауыр салалардың крандары;
- жылдамдығын бақылауға қойылатын талаптары бар жетек кең диапазонда және жоғарғы бастапқы сәтте;
- локомотивтердің, электровоздардың, моторлы кемелердің, карьерлік самосвалдардың тартқыш электр жетегі;
- автокөліктердің, тракторлардың стартерлері және т.б

Тұрақты ток қозғалтқышының артықшылықтары:

- құрылғының және басқарудың қарапайымдылығы;
- қозғалтқыштың іс жүзінде сызықты механикалық және басқару сипаттамалары;



7.25-сурет. Тұрақты токтың жинақтағыш екі полюсті қозғалтқышы

- Айналым жиілігін бақылау жеңілдігі;
- жақсы іске қосу құрылғылары (үлкен іске қосу сәт);
- қозғалтқыштар мен генераторлық режимдерде тұрақты ток қозғалтқыштарын пайдалану мүмкіндігі бар, өйткені олар қайтымды машиналар.

Кемшіліктері:

- өндірістің құны жоғары болады;
- жинақтағыш-қылшақты тораптардың профилактикалық қызмет көрсету қажеттілігі туындайды;
- жинақтағыштың тозуына байланысты қызмет мерзімі шектеулі.

Тұрақты токты қозғалтқыштарды жобалау және пайдалану технологиясының қазіргі заманғы дамуы кезінде соңғы екі жетіспеушілік аса сезілмейді.

Жинақтағыш екі полюсті тұрақты ток қозғалтқышының сыртқы көрінісі 7.25 суретте көрсетілген.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток қозғалтқыштарын қолдану саласы қандай?
2. Тұрақты ток қозғалтқышының артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

7.4.7. ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШЫНЫҢ АЙНАЛУ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

Тұрақты ток қозғалтқыштары кең ауқымда айналу жылдамдығын тегіс және үнемді басқаруға мүмкіндік береді. Осы қасиетінің нәтижесінде тұрақты ток қозғалтқыштары кеңінен қолданылады.

Кез келген қоздыру схемасында якорьдың айналым саны төмендегі өрнекпен анықталады:

$$n = \frac{U_c - I_{я}(R_{я} + R_c)}{C_E \Phi},$$

мұндағы U — жүйе кернеуі; I - якорь орамасындағы ток; R - якорь орамасы тізбегінің кедергісі; R - қоздырудың тізбекті орамасының кедергісі (R_0 параллельді қоздыру қозғалтқышы үшін); C - электр машинасының тұрақты шамасы; Φ - магнит ағыны

Бұл өрнек қозғалтқыштың айналу жылдамдығының өзгеруін

үш жолмен жүзеге асыруға болатындығын көрсетеді. Реостатты R_n кедергісімен бірге якорь орамасының тізбегіне қосу, магниттік ағынды F өзгерткен кезде қорек кернеуін өзгерту арқылы жүзеге асады.

Реостатты якорь орамының тізбегіне қосу. Бұл реттеу әдісі өте қарапайым және кең ауқымда айналу жиілігін реттеуге мүмкіндік береді. Алайды, іске қосу сияқты кезде қозғалтқыштың қысқа мерзімді жұмыс режимі кезінде ғана олар іс жүзінде пайдаланылады. Сондықтан реттеуші реостатта қуаттың үлкен шығындары пайда болады. Қаралып жатқан осы реттеу әдісінің тағы бір кемшілігі айналу жиілігін n_1 -ден нөлге дейін ғана азайтуға болады.

Қуат кернеуін өзгерту. Қоректендіру кернеуін өзгерту кезінде n айналым жиілігі U шамасына пропорционалды өзгереді. Тартқыш қозғалтқыштарын генератордан қоректендіру локомотивтерде жүзеге асады. Ал түзеткіштерден ауыспалы токтың электр пойыздарынан және электровоздардан орындалады. Электр пойыздары мен электровоздарда түзеткішті трансформаторға қосады. Ол түзеткіш кірісіне, сәйкесінше U кернеу шығысына да беретін кернеуді өзгертуге мүмкіндік береді. Бақылау тізбектеріндегі локомотивтерде арнайы электр аппаратура бар. Ол генератордың қоздыру тогын өзгертуге мүмкіндік береді. Яғни оның шығыс U кернеуін қолмен немесе автоматты түрде өзгертуге болады.

Бұл қаралған әдіс өте күрделі жабдықты қажет етсе де, оны қазіргі заманғы локомотивтерде және электр пойыздарында кеңінен қолданады. Өйткені ол өте кең ауқымда жылдам және үнемді (реостатта энергия жоғалтпай) жылдамдықты бақылауды қамтамасыз етеді.

Магнит ағынының өзгеруі. Φ Магнит ағынын өзгерту үшін, қозғалтқыштың қозғау тогын реттелетін реостат арқылы реттейді. Бұл реттеу әдісі қарапайым және үнемді, сондықтан да оны локомотивтер мен электр пойыздарында кеңінен қолданады.

Алайда, бұл жағдайда айналым жиілігінің реттелуін салыстырмалы түрде аз диапазонда ғана жүзеге асыруға болады.



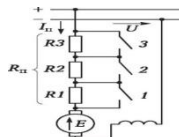
БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток қозғалтқышының якорь жиілігінің саны қандай параметрлерге байланысты болады?
2. Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын өзгертудің қандай әдістері сізге белгілі?
3. Тұрақты ток қозғалтқышының айналу жылдамдығын реттеудің келесі әдістерінің қайсысысы көлікте қолданылады?

7.4.8. ТҰРАҚТЫ ТОК ЭЛЕКТР ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫН ІСКЕ ҚОСУ

Қозғалтқышты іске қосу үшін үш әдісті қолдануға болады. Тікелей іске қосу, реостатикалық іске қосу және коректендіргіш кернеуді өзгерту арқылы іске қосу.

Тікелей іске қосу. Тікелей қосу кезінде қозғалтқыштың якорь орамасын тікелей электр желісіне қосады. Әдетте, тұрақты ток электрқозғалтқыштарында номиналды ток бойынша якорь орамасы тізбегінің ішкі кедергі кернеуінің төмендеуі 5-10% құрайды. Сондықтан тікелей іске қосу үшін ток $I_{я} = (10-20) I_{ном}$, мұнда машинаға жол берілмейді. Осы себеппен іске қосу өте төмен қуатты қозғалтқыштар үшін қолданылады (бірнеше жүздеген ваттқа дейін). Мұндай қозғалтқыштарды тікелей іске қосқан кезде іске қосу тогы $4сек = (4,6) 4 м$.



Реостатикалық іске қосу. 1, 2, 3 қысқа арнайы ажыратқыштарды (контакторлар) іске қосу процесінде тұйықталатын P1, P2, P3 бірнеше сатылар (секциялар) бар іске қосу реостатын RH (7.26-сурет) якорь тізбегіне тоқты шектеу үшін қосатын реостатты іске қосу кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, реостаттың кедергісі біртіндеп төмендейді. Бұл қозғалтқыштың барлық жеделдеу уақытында іске қосу сәтінің жоғары мәнін қамтамасыз етеді.

Реостатикалық іске қосу процесінде токтың және іске қосу сәтінің кейбір тербелістері (тартылыс күші) орын алады. Дегенмен, іске қосу реостатының жеткілікті дәрежедегі кезеңдері үшін бұл тербелістер жылжымалы құрамның жұмысына теріс әсер етпейді.

Тәуелсіз және параллель қоздыруы бар электр қозғалтқыштарының реостатикалық іске қосылуы іске қосу реостаттың жеке кезеңдерін біртіндеп ажырату арқылы жүйелі қоздыру жүйесіндегідей жүргізіледі.

Реостаттық іске қосуды локомотивтер мен пойыздарда қолданады. Электрпоездарға жататын поездың шамалас тұрақты көлемі кезінде іске қосу реостатының кезеңдерін ажырату автоматты түрде болады. Осы мақсатта

электрпоездарда іске қосу тогы көрсетілген шамаға дейін кеміген кезде орындалатын арнайы жылдамдату (минималды ток релесі) релесі қарастырылған және сол арқылы тиісті контакторлардың тұйықталуын қамтамасыз етеді. Іске қосу реостатының локомотив кезеңдерінде машинист контроллері деп аталатын қол аппаратының көмегімен поезд қозғалысының жылдамдығының ұлғаю шамасы бойынша ажыратылады. Алайда, кейбір локомотивтерде іске қосу реостатының кезеңдерін автоматты түрде ажыратуды сол немесе басқа жылдамдықты пайдаланылады.

Қоректендіру кернеуін өзгерту жолымен іске қосу. Реостатты іске қосуда қосылу реостатында өте үлкен энергия шығыны орын алады. Бұл кемшілікті якорь орамына қолданылатын кернеуді біртіндеп арттыру арқылы қозғалтқышты іске қосу арқылы жоюға болады. Мұндай іске қосуды реостатсыз деп аталады. Ол үшін реттелетін кернеуі бар (генератор немесе басқарылатын түзеткіш) жеке тұрақты ток көзі болу керек. Реостатсыз іске қосу ауыспалы токтың ток электр станцияларында және дизель локомотивтерінде қолданылады.

Барлық электр қозғалтқыштарының ішінде тұрақты ток электр қозғалтқыштары жақсы іске қосылу қасиеттеріне ие. Салыстырмалы аз іске қосу тогы кезінде $(2 - 2,5) / n$, олар жеткілікті үлкен іске қосу сәтін $(2,5-4)$ МН құра алады.

Реверс, яғни қозғалтқыштың айналу бағытындағы өзгерісті айналып тұрған сәттің айналу бағытын өзгерту арқылы жүзеге асыруға болады. Әдетте, кері қимыл үшін якорь орамасындағы кернеудің полярлығын өзгертеді. Яғни якорь орамасындағы ток бағыты кері қайтарылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қозғалтқышты іске қосудың қандай әдістері бар?
2. Транспортта тұрақты ток қозғалтқышының қандай іске қосу әдісін қолдануға болады?
3. Қозғалтқыштың кері қимылы үшін қандай шаралар қолданылады?

7.4.9. ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ



Орнатылған айналу жиілігінің қозғалтқыштың $n = f(M)$ электромагниттік сәтінен тәуелділігі **механикалық сипаттамалар** деп аталады.

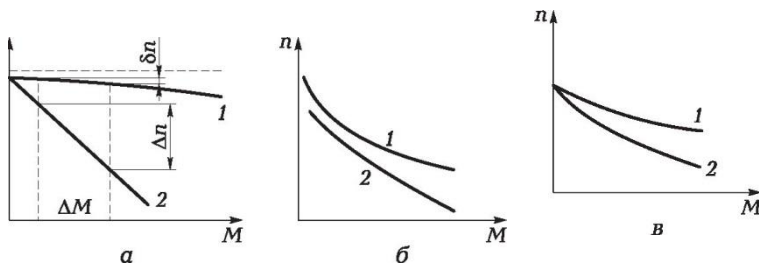
Механикалық сипаттама барынша практикалық қолданысқа ие.

Қорек кернеуінің номиналды мәндерінен алынған және якорь тізбегіндегі қосымша қарсыласудың болмауы кезінде алынған механикалық сипаттама **табиғи** деп аталады.

Қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары әртүрлі қозуларымен 7.27 суретінде көрсетілген. Барлық суреттердегі 1 қисық - **табиғи сипаттама** болады. Ал 2 қисық – **жасанды**, ол қозғалтқыштың якорь тізбегіне қосымша кедергіні қосу арқылы алынған сипат.

Тәуелсіз және параллель қоздыру қозғалтқыштары үшін механикалық сипаттама сызықтық (7.27, а суретті қараңыз) болып табылады. Сәтті арттыру кезінде айналу жиілігі төмендейді. Егер бұл жылдамдықтың азаюы шамалы (Δn) болса, онда сипат **қағты** (қисық 1) деп аталады. Якорь тізбегінде кедергі неғұрлым көп болса, сипаттама соғұрлым «жұмсақ» (қисық 2), айналу жиілігінің (Δn) өзгеруі де соғұрлым көп болады.

Қозғалтқыштың тізбекті қозуы жұмсақ механикалық сипаттамаға ие (7.27, б суретін қараңыз), өйткені M сәтінің жоғарылауымен және якорь тогының жоғарылауымен магнит ағыны артады және қозғалтқыштың айналу жиілігі төмендейді.



7.27-сурет. Қозғалтқыштардың әртүрлі қоздырғыштары бар тұрақты токтың механикалық сипаттамалары:

а — тәуелсіз және параллельді қозудың қозғалтқыштары үшін; б — тізбекті қозудың қозғалтқыштары үшін; в — аралас қозудың қозғалтқыштары үшін; 1 — табиғи сипат; 2 — жасанды сипат

Тізбекті қоздыру қозғалтқыштарының ерекшелігі жалғыз жүріс және шамалы жүктеме кезінде ток пен ағынның төмендеуі, ал оның жылдамдығы айтарлықтай артады. Қозғалтқыш «әр түрлі жаққа» өтеді. Бұл оның бұзылуына әкелуі мүмкін. Қозғалтқыштың білігінде номиналды жүктемеден 25% кем болмайтын жүктеме болуы керек.

Тізбекті қозу қозғалтқышына тән ерекшелік оның жүктеменің азаюымен айналу жиілігінің күрт өсуі болып табылады.

Аралас қоздыру қозғалтқышының механикалық сипаттамасы (7.27, с суретті қараңыз) параллельді және тізбекті қозғалтқыштардың сипаттамалары арасындағы орташа позицияны алады. Сипаттамасы жұмсақ, бірақ параллель орамының болуына байланысты бос жүрістегі айналым жиілігі шектелген.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қозғалтқыштың қандай сипаттамасы механикалық деп аталады?
2. Қандай механикалық қасиет жасанды және қайсысы табиғи деп аталады?
3. Тізбекті қоздыру қозғалтқыштарының ерекшелігі қандай?

7.4.10. ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНЫҢ ТЕЖЕЛУІ

Тұрақты ток қозғалтқышының жылдам тоқтатылуы механикалық тежеуіш көмегімен немесе электрлік әдістер арқылы жүзеге асырылады. Электрлік әдістерге рекуперативті және динамикалық тежелулер және қарсы қосу арқылы тежелу жатады.

Рекуперативті және динамикалық тежелулер кезінде машина қозғалыс режимінен генераторлы режимге ауысады. Бұл жағдайда электромагниттік сәт тежеуші сәтке айналады. Рекуперативті тежелу (энергияның желіге қайта оралуымен бірге) қозғалтқыштың жылдамдығы n идеалды бос жүрісінің жылдамдығынан асып түскен кезде (мысалы, қоздыру тогының артуы) қамтамасыз етіледі. Бұл жағдайда E зәкірінің электрқозғаушы күші (ЭҚК) U желісінің кернеуінен асып түседі. Ал зәкір тогы өз бағытын өзгертеді де, электромагниттік сәт тежеуші сәтке айналады. Сонымен бірге электрлік энергия желіге беріледі. Рекуперативті тежелу параллельді қоздыру кезінде ғана жүзеге асырылуы мүмкін.

Динамикалық тежелу зәкірді резисторға тұйықтап, электрлік энергия көзіне қоздыру орамын қосқан кезде қамтамасыз етіледі. Бұл жағдайда

қозғалыстағы массалардың кинетикалық энергиясы зәкір тізбегіне ендірілген резистордағы жылу күйінде таралған электрлік энергияға айналады.

Қарсы қосу арқылы тежелу жүріс барысындағы қозғалтқышты кері айналдырған кезде қолданылады. Бұл жағдайда айналыстың бір бағыты үшін қозғалтқыш орамдарын қосып қояды. Ал зәкір сыртқы сәт әсерінен кері бағытта айналады. Бұл жағдайда зәкірдің ЭҚК коректендіруші кернеуге қарай бағытталғандықтан, соңғы тізбектегі зәкір тогын шектеу үшін қосымша резисторды қосады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток қозғалтқышын тежеудің қандай әдістерін білесіздер?
2. Қозғалтқыштың рекуперативті тежелуі қалай жүзеге асырылады?
3. Қарсы қосу тежелуі қандай жағдайларда қолданылады?

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Тұрақты ток қозғалтқыштарының көлікте пайдаланылуы.
2. Микроқозғалтқыштар
3. Өмбебап коллекторлы машиналар

8 тарау

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУ, ТАРАТУ ЖӘНЕ ТҰТЫНУ



Бұл тарауды зерделеу барысында сіздер:

- Танысатын боласыздар:
 - Электр энергиясын қашықтыққа жеткізудің қарапайым функционалды схемаларын құрастыруды;
 - Электр жетегін басқарудың ең қарапайым электрлік схемасын құрастыруды.
- Білетін боласыздар:
 - Электрэнергиялық жүйелердің не екендігін;
 - Электрлік энергияны электрмен жабдықтау мен жеткізудің жалпы схемасын, электр станциялардың классификациясын, электрэнерсиясын үнемдеудің әдістерін;

- Электр желілердің құрамын, соның ішінде трансформаторлы қосалқы станцияларды, таратқыш құралдарды, электр жеткізудің желістерін;
- Өнеркәсіптік кәсіпорындардың электрмен жабдықталуын;
- Электр жетектері туралы негізгі мәліметтер;
- Электрлік энергияны тұтынушыларының жұмыс істеу принциптерін (электрмен қыздырудың, электрпісірудің, электрмен жарықтандырудың қондырғыларын).

8.1. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУ ЖӘНЕ ТАРАТУ

8.1.1. ЭЛЕКТРЭНЕРГИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

Кез келген өндірістің технологиялық процестері энергияны қолданумен байланысты. Оларды орындау үшін энергетикалық ресурстардың басым бөлігі пайдаланылады. Өнеркәсіп кәсіпорнында электрлік энергия маңызды роль атқарады. Ол – механикалық, жылу және өзге де энергия түрлерін алудың көзі болып табылатын энергияның ең әмбебап түрі. Электрлік энергия өзге энергия түрлерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие:

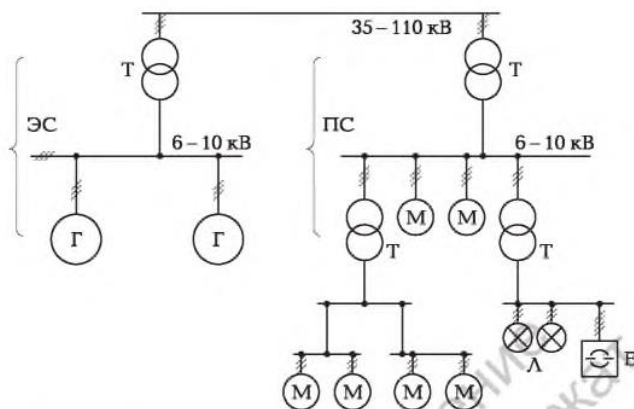
- Оны әр түрлі энергия түрлерінен оңай алуға болады және ПЭК жоғары болатын өзге энергия түрлеріне түрлендіру оңай;
- Электр энергиясын тұтыну мен оны алу орындары бір-бірінен алшақ орналасуы мүмкін. Бұл электрлік станцияларды энергиялық көздерге жақын етіп құруға және үлкен өнеркәсіп қуаттарын олардан алшақ орналастыруға мүмкіндік береді;
- Үлкен қашықтықтарға жеткізу барысындағы электр энергиясының жоғалтымы аз, ал жеткізудің өзі лезде жүзеге асырылады.
- Электр энергиясын қолдану еңбек өнімділігін арттырады және өндіріс процестерін автоматтандыруға мүмкіндік береді;
- Электр энергиясын қолдану халықтың тұрмыс жағдайын жақсартады, өйткені ол экологиялық тұрғыдан таза және тұтыну жағынан ыңғайлы.

Электрлік энергияны өндіру, жеткізу, тарату және тұтыну – бір уақытта жүретін бірыңғай процесс.

Электр энергиясын жинап алып, қоймада сақтау мүмкін емес. Оны берілген уақытта тұтынушыға керек көлемде өндіру қажет. Сол себепті электр энергия өндірісі өсу қажет немесе тұтыну көлеміне сәйкес төмендеуі қажет.

Электрэнергиялық жүйелер – бұл электрлік станциялардың, қосалқы станциялардың және орталықтандырылған оперативті басқару негізінде бір-

Тұтынушыларды электрмен жабдықтаудың стандартты схемасы 8.1. суретінде кескінделген. Өнеркәсіптік кәсіпорынның қосалқы станциясына тасымалданатын, электр станциясында ЭС генераторлар Г көмегімен өндірілген электрлік энергия кернеуі жоғары кернеулі электрді жеткізу желістері (ЭЖЖ) арқылы тасымалданатын генераторлы кернеуден артық. Жүйедегі кернеуді өзгерту үшін, Т трансформаторлары қолданылады. Электрлік энергия электр энергиясы қосалқы станциялардың ҚС құрамалы шиналарынан түрлі қабылдағыштарға: электрқозғалтқыштарына М, жарық көздеріне Л, электртермикалық қондырғыларына, қыздырғыш құралдарына Е және т. б. таралады.



Сур. 8.1. Электрмен жабдықтау схемасы

Бөлек электр станциялар электр энергиясының үздіксіз берілуін қамтамасыз ете алмайды. Сол себепті энергетиканың дамуына орай, жүйеге біріктірілген электрлік станциялар параллельді жалпы жүктемеге жұмыс істейді. Оларды бір-бірімен ЭЖЖ байланыстырады.

Энергиялық жүйелерге біріктірілген электр станцияларға келесідей талаптар қойылады:

- Генераторлар қуаттылығының электр энергиясын тұтыну трансформаторлардың максималды қуаттылығына сәйкес келуі;
- ЭЖЖ-нің жеткілікті өткізу қабілеттілігіне ие болуы;
- Энергияның жоғарғы сапасының және электрмен жабдықтаудың үздіксіздігінің қамтамасыз етілуі;
- Қолдану кезіндегі үнемділік, қауіпсіздік, ыңғайлылық.

Электр станцияларды электрэнергиялық жүйеге біріктірудің түрлі типті станциялардағы жұмысты келісіп жасауда маңызы зор. Әсіресе жылу және гидроэлектр станциялардағы (ГЭС) жұмысты жасауда маңызды болып келеді. ГЭС гидроагрегаттарының қуаттылықтары сел кезінде және қысты күндері әр түрлі болып келеді. Көктемде жүйенің басым жүктемесін гидростанциялар алады, жылу станцияларда болса, агрегаттардың бір бөлігі тоқтайды. Бұл отынды үнемдеп, жоспарлы жөндеу жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік береді. Қыс кезінде жылу және гидростанциялардың ролдері ауысады. Осылай түрлі типті электр станциялар үшін экономикалық тұрғыдан тиімді режимдерді жасау мүмкіндігі артады.

Энергиялық жүйелердің құрылуы энергиямен жабдықтаудың сенімділігін арттырады және электр энергиясының сапасын жақсартады. Кернеу мен жиіліктің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Өйткені жүктеменің тербелістерін көптеген электр станциялары қабылдайды.

Электрэнергиялық жүйелер және жоғарғы кернеу желістері ірі біріккен жүйелерге (ІБЖ) біріктірілген. ІБЖ құрамындағы бірнеше энергия жүйелерінің параллельді жұмыс істеуі барысында аталған артықшылықтар одан да артық дәрежеде көрінеді.

Энергия жүйелердің электрлік қондырғыларында кернеудің түрлі мәндері қолданылады. Электрлік қондырғылардың тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін және түрлендірген кезде энергия жоғалтымын азайту үшін бұл кернеулер стандартталған. Ауыспалы токтың стандартты номиналды кернеулер шкаласы бар: 220, 380, 660 В; 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 33, 500, 750, 1150 кВ. Электрлік қондырғы үшін кернеуді күрделі және пайдалану шығындарының минимумына қарап, электр энергиясы жоғалтымының минимумын ескеріп және қауіпсіздік талаптарына сәйкес етіп таңдайды.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Энергияның өзге түрлерімен салыстырғанда электрлік энергияның қандай артықшылықтары бар?
2. Электрэнергиялық жүйелерге не кіреді?
3. Электр станцияларды электрэнергиялық жүйелерге не үшін біріктіреді?
4. Энергиялық жүйелерге біріктірілген электр станцияларға қандай талаптар қойылады?

8.1.2. ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫ

Энергияның әр түрлерін электрлік энергияға түрлендірілуі электр станцияларда жүзеге асырылады.

Электр станциялары дегеніміз электр энергиясын өндіретін кәсіпорындар немесе қондырғылар.

Электрлік станциялар отын ретінде табиғи байлықтарды: көмірді, шымтезекті, желді, суды, күннің көзін, атом энергиясын және т. б. пайдаланады. Түрлендірілетін энергияның түріне байланысты электр станциялары келесідей негізгі типтерге бөлінуі мүмкін. Жылу, атом, гидроэлектрлік станциялар, гидрожинақтағыш, газтурбины станциялар. Сонымен қатар аз қуатты жергілікті мәндес электрлік станциялар – жел электр станциялары, күн электр станциялары, геотермалды, теңіздің көтерілуі мен қайтудың станциялары, дизельді және өзге де станциялар.

Электрэнергияның басым бөлігі (80%-ға дейін) жылу электр станцияларында (ЖЭС) өндіріледі. ЖЭС-да электрлік энергияны алу процесі жағылатын отын энергиясын су буының жылулық энергиясына тізбектеп түрлендіруден тұрады. Бұнда су буы турбоагрегатты (генератормен байланысқан бу турбины) айналысқа келтіреді. Айналыстың механикалық энергиясы электрлік энергияға генератор көмегімен түрлендіріледі. Электр станцияларында отын ретінде шымтезекті, таскөмірді, жанғыш тақтатастарды, мұнайды, мазутты, табиғи газды, ағаш қалдықтарын қолданады. ЖЭС-дың үнемді жұмыс істеуі барысында, яғни тұтынушыларға бір уақытта электрлік энергия мен жылудың оптималды көлемдері берілген жағдайда, ЖЭС-дың ПЭК 70%-дан артық деңгейге жетеді. Жылудың тұтынылуы толығымен тоқтатылған кезде (мысалы, жылытпайтын мезгілде) станцияның ПЭК төмендейді.

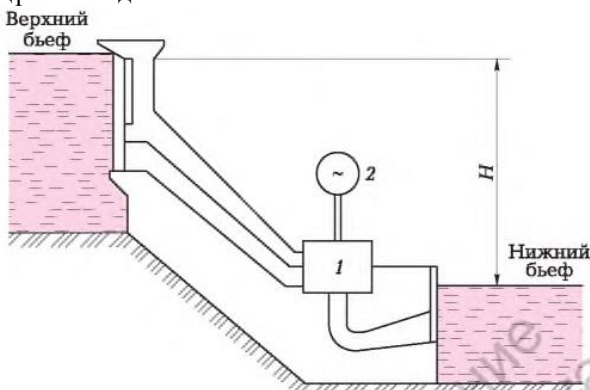
Атом электр станцияларының (АЭС) қарапайым бутурбиналардан ерекшелігі – АЭС-да энергия көзі ретінде уран, плутон, торий және өзгелердің ядроларын бөлу процесі. Бұл материалдарды арнайы қондырғыларда – реакторларда ажырату арқылы жылу энергиясының зор көлемі бөлінеді.

ЖЭС-мен салыстырғанда, атом электр станциялары жанармайдың аз мөлшерін пайдаланады. Бұндай станцияларды кез келген жерде құруға болады. Өйткені олар отынның табиғи қорларының орналасу орнынан тәуелсіз. Бұдан бөлек қоршаған орта түтінмен, күлмен, шаңмен және күкіртті газбен ластанбайды. Алайда, станция қызметкерлері мен станцияға жақын тұратын халықтың радиациялық қауіпсіздігін естен шығармау керек. Бұл АЭС-сын қолдану мен жобалау кезіндегі маңызды мәселе болып табылады.

Гидроэлектрстанцияларда су энергиясы электрлік энергияға гидравликалық турбиналар және оларға қосылған генераторлар көмегімен түрлендіріледі. Электр станцияның жұмыс істеу принципі жоғарғы бьефтен түсетін су ағынының төменгі бьефте орнатылған гидротурбина 1 (сур. 8.2) жұмыс доңғалағының қалақшаларына бағытталуы болып табылады.

Гидротурбина 1 доңғалағы электр энергиясын өндіретін электрлік генератор 2 роторын айналдырады. СЭС қуаты судың шығыны мен тегеурініне T тәуелді.

СЭС деривациялық және бөгетті типтерге бөлінеді. Бөгетті СЭС аздаған тегеурінге ие жазық өзендерде пайдаланылады. Ал деривациялық СЭС (айналып өтетін каналдары бар) еңкіштері үлкен таулы өзендерде және судың аз шығындалуы жағдайында пайдаланылады. Бұндайда СЭС жұмысы табиғи шарттармен анықталатын су деңгейінен тәуелді. СЭС артықшылықтарына жоғарғы ПЭК және өндірілген электрэнергияның төменгі өзіндік құны жатады.



Сур. 8.2. Гидроэлектрстанцияның жұмыс істеу схемасы: 1 – гидротурбина; 2 – электрлік генератор. (– жоғарғы бьеф, – төменгі бьеф).

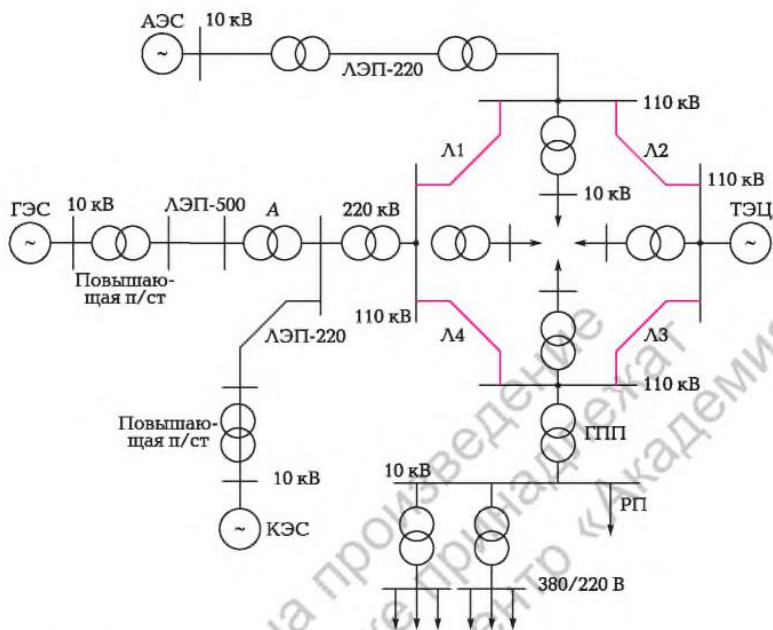
Алайда, СЭС құру көп уақытты алатынын және құны үлкен күрделі шығындардың жұмсалатынын есепке алу керек.

Кез келген электр станциясы электр энергиясын барынша аз шығындармен өндіруі тиіс. Бір типті және біртекті параметрлерге ие электр станцияларда орнатылған 1 кВт қуаттың құнын азайту үшін, басты агрегаттардың бірлік қуатын және электр станцияның жалпы алғандағы қуатын арттыруға тырысу керек. Осылай қуаттардың шоғырландырылуы әсерінен энергия арзандайды және оны өндірудегі шығындар төмендейді.

Электр энергиясы тұтынушыларынан үлкен қашықтықта орналасқан СЭС, ЖЭС және АЭС біріктіріліп, өнеркәсіп аймағының ортасында орналасқан жылу электр орталығы (ЖЭО) бар электр энергиясының таралу схемасы сур. 8.3.-те бейнеленген.

Генераторлармен өндірілетін электр энергиясы (көбінесе кернеуі 10 кВт) жоғарылатқыш трансформаторлы қосалқы станцияларға беріледі. Мұнда кернеу 220 және 500 кВ-қа дейін жоғарылайды және ЭЖЖ бойымен екі станциялар арасындағы байланыстырушы қызметін атқаратын аудандық

түсіруші қосалқы станциясына А келеді. Электр жеткізу желістері Ж1, Ж2, Ж3, Ж4 кернеуі 110 кВ-қа тең сақина тәрізді желіні қалыптастырады. Осы сақина ішінде өнеркәсіп және ауылшаруашылық кәсіпорындарды қоректендіретін, қайталама кернеуі 10 кВ-қа тең түсіруші трансформаторлы қосалқы станциялар орналасқан. Өнеркәсіп ауданының ортасында тұтынушыларды электр энергиясымен және жылумен қамтамасыз ететін ЖЭО орналасқан. Басты қоректендіретін түсіруші қосалқы станциядан (БҚҚС) электр энергиясы таратушы пунктке ТП үлестіріледі. Одан тұтынушыларға жақын орналасқан түсіруші қосалқы станцияларға жіберіледі.. Электрқабылдағыштарға электр энергиясы кернеу шамасы 660 немесе 380/220 В болған кезде беріледі.



Сур. 8.3. Электр энергиясының үлестірілуінің схемасы



Есте сақтаңыз

- Энергетикалық ресурстардың пайдаланылуына орай келесідей электр станцияларды бөледі: жылу электр станциялары, гидравликалық, атом электр станциялары, күн электр станциялары, жел электр станциялары, судың көтерілу станциялары және өзге де станциялар.

- Электр станцияларда өндірілетін электрлік энергияның қатаң түрде анықталған параметрлері болуы тиіс.
- Электр энергиясының сапасын көп жағдайда кернеу деңгейі мен электр тогының жиілігі анықтайды.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қандай кәсіпорындарды электр станциялары деп атайды?
2. Жылу электр станциялары қандай отынды пайдаланады?
3. СЭС-ның жұмыс істеу принципі неде?
4. 8.3 суретіндегі схема бойынша таралған электр энергиясының мәні неде? Схеманың суретін салыңыз.

8.1.3. ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІ

Электрлік энергияның оның көздерінен тұтынушыларға қарай жеткізілуі электр желілері көмегімен жүзеге асырылады. Олардың құрамына электрлік энергияны жеткізу, түрлендіру, тарату бойынша жұмыс істейтін барлық имараттар: трансформаторлы қосалқы станциялар, ашық және жабық таратқыш қондырғылар және ЭЖЖ кіреді.

Электр желілердің келесідей түрлерін ажыратады:

- Магистралды – бұл желі мемлекеттің бөлек аймақтары мен электр энергиясын өндірудің ірі көздерін, тұтыну орталықтарын байланыстырады. Аса жоғары және жоғары кернеумен және қуаттың үлкен ағындарымен (гигаваттар) сипатталады;
- Аймақтық – аймақ төңірегіндегі желілер (Ресейде – Ресей Федерациясы субъектілерінің деңгейі). Олар магистралды желілерден және өздерінің аймақтық қоректену көздерінен қоректендіріледі. Ірі тұтынушыларға қызмет етеді (қала, аудан, кәсіпорын, кен орны, көлік терминалы). Жоғары және орташа кернеу деңгейімен және қуаттың үлкен ағындарымен (гигаваттар, жүздеген мегаваттар) сипатталады.
- Аудандық, таратқыш – аймақтық желілерден қоректендіріледі. Көбінесе өздерінің қоректену көздері жоқ, орташа және ұсақ тұтынушыларға (ішкі тоқсандық және ауыл желілері, кәсіпорындар, үлкен емес кен орындары, көлік тораптары) қызмет етеді. Орташа және төмен кернеу деңгейімен және қуаттың аздаған ағындарымен (мегаваттар) сипатталады;
- Ішкі – үлкен емес кеңістікте: қала, ауыл, зауыт, кварал ауданы төңірегінде электр энергиясын таратады. Көбінесе ондай желілердің сыртқы желіден қоректенетін бір немесе екі көзі болады. Кей жағдайда өздерінің резервті қоректену көзі де болады. Төмен кернеу деңгейімен және қуаттың аздаған ағындарымен (жүздеген киловаттар, мегаваттар) сипатталады.

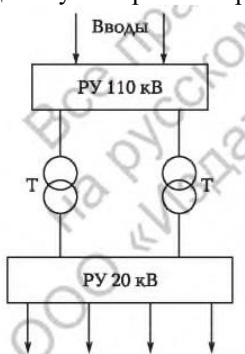
- Электртаратылым – ең төменгі деңгейдің желілері (бөлек тұрған ғимараттардың, цехтардың, бөлмелердің). Төменгі және тұрмыстық кернеу деңгейімен және қуаттың кішігірім ағындарымен (жүздеген, ондаған киловаттар) сипатталады.

Трансформаторлы қосалқы станция – электр энергиясын тарату мен түрлендіруге арналған электрқондырғы. Қосалқы станциялар басты жабдықтарының орналысуына байланысты ашық немесе жабық болулары мүмкін. Егер де жабдықтар ғимараттың ішінде орналасқан болса, онда қосалқы станция жабық деп аталады.

Қосалқы станцияның жабдығы блоктар немесе қондырғылардың жинақы түрінде келген бөлек элементтерінен құрылуы мүмкін. Қосалқы станцияның жабдығына электр тізбектердің қорғанысы мен коммутациясын жүзеге асыратын аппараттар кіреді.

Қосалқы станцияның басты элементі – күштік трансформатор. Күштік трансформаторларды өзекше мен орамдардан жұмыс істеген кезде, бөлінетін жылуды қоршаған ортаға қарай максималды түрде жеткізетіндей етіп жасайды. Электрқондырғы қуатының коэффициентін ұлғайту үшін, қосалқы станциялардағы жүктеменің реактивті қуатын өтемдейтін статикалық конденсаторды орнатады.

Қосалқы станция аппараттарын басқару мен қадағалаудың автоматты жүйесі жүктеме мен электрмен жабдықтау желістерінде орын алатын процестерді бақылайды. Ол трансформатор мен желістерді қорғау функциясын атқарады. Төтенше режим кезінде қорғаныстағы учаскілерді ажыратқыш көмегімен сөндіреді. Қайта қосуды, резервтің автоматты қосылуын жүзеге асырады.



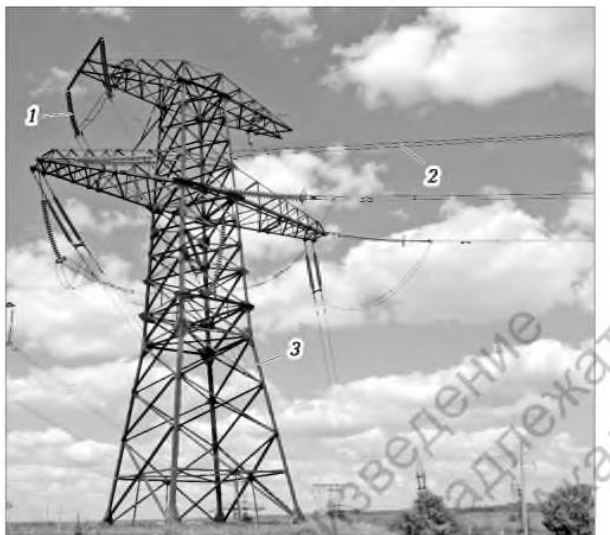
Сур. 8. 4. Таратқыш қондырғысының құрылымдық схемасы: ТҚ – таратқыш қондырғысы.

Өнеркәсіптік кәсіпорындарының трансформаторлы қосалқы станциялары қоректендіргіш желісіне түрлі әдістермен қосылады. Бұл тұтынушыларды үздіксіз электрмен жабдықтауын қамтамасыз етудің сенімділік талаптарына байланысты болып келеді.

Таратқыш қондырғылар – электр энергиясын қабылдау мен таратуға арналған ғимараттардың жиынтығы (шиналар, ажыратқыштар, айырғыштар және т. б.).

Бөлек таратқыш қондырғылар жүктеменің әр түрлі тағайындалуына орай жасалады (сур. 8.4).

Электрді жеткізудің ауа желістері. Оларды оқшаулатқыш 1 көмегімен оқшауланбаған тіректерге 3 бекітілген сымдардан 2 жасайды (сур. 8.5).

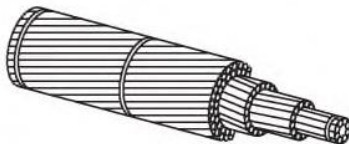


Сур. 8.5. Электрді жеткізудің ауа желісі: 1 – оқшаулатқыштар; 2 – оқшауланбаған сымдар; 3 – тіректер.

Сымдар бір талшықты, көп талшықты және арнайы профильді талшықтар болып бөлінеді.

Көбінесе көп талшықты өткізгіштер қолданылады (сур. 8.6). Электрді жеткізуге арналған сымдар мыс, алюминий, болаттан жасалуы мүмкін. Мыс – сирек кездесетін материал, сол себепті сымдар үшін оны сирек қолданады. Көп жағдайда алюминий мен болаттан жасалған көп талшықты сымдар пайдаланылады. Ондай сымның өзекшесі болаттан жасалған. Ал оның үстіне алюминий талшықтары оралған. Осының салдарынан жақсы электр өткізгіштік (алюминий) мен механикалық беріктік (болат) алынады.

Болат сымдар. Оларды найзағайдан қорғану үшін және кернеу деңгейі жоғары және аса жоғары болатын ЭЖЖ-нің фазалық сымдарының үсті жағына бекіту үшін қолданады.



Сур. 8. 6. Көп талшықты өткізгіш

Тіректер (бағаналар) жасалған материалына байланысты ағаш, темірбетонды, металл тіректер болып бөлінеді. Қазіргі кезде ағаш тіректер сирек қолданады. Темірбетонды тіректердің бағасы арзанырақ және олар ұзақ мерзімді қызмет етеді. Оларды ЭЖЖ-де 110 В дейін қолданады. Металл тіректерін кернеу деңгейі жоғары және аса жоғары болатын ЭЖЖ-де пайдаланады.

Кабельді ЭЖЖ. Электрді жеткізу желістерін жерге кабельдерді орнату арқылы жасауға болады. Қолданылатын кабельдердің құрылымы кернеумен, талшықтардың саны мен қималарымен, жұмыс істеу шарттарымен анықталады. Ток өткізгіш талшықтарды мыс пен алюминийден жасайды. Кабельдер бір және көпталшықты болып бөлінеді. Талшықтардың санына байланысты бір, екі, үш және төртталшықты кабельдер ажыратылады. Төртталшықты кабельдерді кернеу деңгейі төмен желістерінде пайдаланады. Бұнда талшықтардың біреуі нөлдік сым болып келеді.

Кабельді ЭЖЖ үшін трасса керек емес, олар атмосфералық құбылыстар әсерінен тәуелсіз, қалалық шарттарда қолданылуы ыңғайлы және т.б. Алайда, олар көп қаражатты қажет етеді және олардың зақымдалуын аңғару қиын.

ЭЖЖ жоғалтымдары. Ережеге сәйкес, генераторлар көздері мен тұтынушылар төмен номиналды кернеумен жұмыс істейді. Желістердегі энергия жоғалтымдары кернеу квадратына кері пропорционалды. Сол себепті жоғалтымдарды азайту үшін электр энергиясын кернеу деңгейі жоғары болған кезінде жеткізу тиімді. Ол үшін генератордан шығу жолында кернеуді жоғарылатады. Ал тұтынушының кіру жолында – трансформаторлар көмегімен төмендетеді (сур. 8.7). Алайда, кернеу өскен сайын әр түрлі разрядты құбылыстар орын алады.



Сур. 8.7. Электр энергиясын қашықтыққа жеткізу кезіндегі түрлендірудің схемасы
Жоғарылатқыш трансформатор;
– электрді жеткізудің жоғары вольтті желісі;
Төмендеткіш трансформатор;
Генератор, тұтынушы.

Ауыспалы ток ЭЖЖ үнемділігіне әсер ететін маңызды шама $\cos$ болып табылады. Ол ЭЖЖ-дегі активті және реактивті қуаттардың қатынасын сипаттайды.

Ауыспалы ток ЭЖЖ ұзындығы бірнеше мың километр болған кезде, тағы бір жоғалтымның түрі – радио сәулелендіру байқалады. Мұндай ұзындықты жиілігі 50 Гц болатын электромагниттік толқын ұзындығымен салыстыруға келетіндіктен, сым антенна сияқты жұмыс істей бастайды.

Электр желістеріндегі қысқа тұйықталу. Қысқа тұйықталудың себептеріне бұзылған оқшаулану, жыртылған өткізгіштер, қызметкерлердің дұрыс емес әрекеттері және т. б. жатады. Бұндай жағдайларда ток номиналды токтан көп есе артып түседі де, электрлік ғимараттардың механикалық бұзылуына және олардың қатты қызып кетуіне әкеледі.

! Есте сақтаңыз

Тұйықталу кезінде желістерді жылдам ажырату үшін және электрлік ғимараттарды бұзылудан алдын алу үшін әр ток өткізгіш желісі басында максималды токтан сақтайтын балқымалы сақтандырғыш, автоматты ажыратқыштар немесе максималды ток релелері көмегімен (нақты талаптарға байланысты) қорғаныс қою қажет.

? БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электр желістері құрамына қандай ғимараттар кіреді?
2. Электр желістері қандай түрлерге бөлінеді?
3. Трансформаторлы қосалқы станция не үшін қажет?
4. Электр желістерінің таратқыш қондырғылары не үшін пайдаланылады?

5. Электрді жеткізу үшін керек сымдарды қандай материалдардан жасайды?
6. Кабельді ЭЖЖ қандай артықшылықтары бар?
7. ЭЖЖ жылдам ажырату кезінде қандай қорғаныс қойылады?

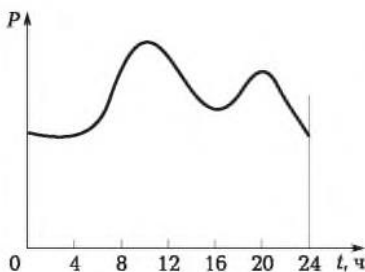
8.1.4. ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫ ЭЛЕКТРМЕН ЖАБДЫҚТАУ

Өнеркәсіптік кәсіпорындарының, көліктің, тұрмыс жағдайында, ауылшаруашылық өндірісінде электр энергиясының тұтынылуы бір тәулік ішінде де, бір жыл ішінде де өзгеріп отырады.

Электрлік жүктеме деп электр қондырғысы немесе бөлек тұтынушы желіден алатын қуатты айтады. Электр станциялары үшін электрлік жүктемені олар өндіретін қуат деп түсінеміз.

Электр қондырғыларында (басқару және қорғау аппараттарында, трансформаторларда, өткізгіштерде, кабельдерде және өзгелерінде) аппараттар мен токөткізгіш элементтерді қолдану үшін, оларды есептеу және таңдау жүзеге асырылады. Ол үшін электрлік жүктемені білу қажет.

Ережеге сәйкес, электрлік жүктеме тұрақты емес.



Сур. 8.8. Өнеркәсіп кәсіпорынынның тәуліктік жүктеме графигі

Электр энергиясының уақытта пайдалану режимі жүктеме графигінде сипатталған (сур. 8.8). Тәуліктік жүктеме графигтері тұтынушылар (тұрмыстық, өнеркәсіп, көліктік және өзгелері) құрамынан тәуелді. Тұрмыстық жүктеме графигінің күрт айқындалатын кешкі максимумы бар. Өнеркәсіп жүктемесі тәулік ішінде кәсіпорындардың ауысуына байланысты өзгеріп отырады.

Электрмен жабдықтау және үздіксіз қоректендірудің сенімділігін қамтамасыз ету дәрежесіне сәйкес, электрлік энергияны тұтынушыларының барлығы үш категорияға бөлінеді. Бұл категориялар электр энергия көздерінің санын және электрмен жабдықтаудың схемасын анықтайды.

Тұтынушыларды электрмен жабдықтау кезіндегі үзіліс адам өміріне қауіп төндіріп, экономикаға айтарлықтай зиян келтіретін, қымбат жабдықтардың зақымдалуына әкелетін, коммуналды шаруашылықтың

маңызды элементтерінің жұмыс істеуін бұзатын болса, ондай тұтынушылар **бірінші категорияға** жатады. Олар электр энергиясын кем дегенде екі тәуелсіз және өзара резервілейтін қоректендіруші көздерден алулары тиіс.

Электрмен жабдықтау кезіндегі үзіліс өнімнің беру кемістігіне әкелетін, қызметкерлердің, механизмдердің, өнеркәсіп көлігінің жаппай тұрып қалуын тудыратын, қала және ауыл тұрғындардың айтарлықтай бөлігінің әдеттегі жұмыс істеуін бұзатын болса, ондай тұтынушылар **екінші категорияға** жатады. Олар электр энергиясымен екі тәуелсіз көздерден қамтамасыз етіледі. Олардың біреуі электрмен жабдықтау кезінде бұзылатын болса, белгілі бір уақытқа электрмен жабдықтау үзілістерін жасауға болады. Ал осы уақыт ішінде кезекші қызметкерлер немесе оперативті шығу бригадасы резервті қоректендіруді қосулары қажет.

Үшінші категорияға электр энергиясын тұтынатын қалған барлық тұтынушылар жатады. Бұл тұтынушыларды электрмен жабдықтау бір көзден жасалынуы мүмкін.

Кез келген электр энергия тұтынушысының әдеттегі жұмысы электрмен жабдықтаудың үздіксіздігін ғана емес, электрлік энергияның белгілі бір сапасын қамтамасыз етуді талап етеді. Электрлік энергияның сапа көрсеткіштеріне: берілген номиналды мәндерден кернеу мен жиіліктің ауытқулары, кернеу мен жиіліктің тербелістері, кернеу қисығы пішінінің синусоидалды еместігі, үшфазалық кернеу жүйесінің симметрия еместігі жатады.

Түрлі тұтынушылар үшін кернеудің мүмкін болатын ауытқулары әр түрлі болып келеді. Мысалы, жарықтандыру үшін олар $-2,5$ -тен $+5\%$ -ды, электрқозғалтқыштар үшін -5 -тен $+10\%$; қалған тұтынушылар үшін $\pm 5\%$ номиналды ауытқуды құрайды.

Әр түрлі өнеркәсіптік кәсіпорындарының электрлік жүктемесі бірнеше ондықтан миллиондаған киловаттарға дейін баруы мүмкін. Көптеген қабылдағыштар ауыспалы токтың индуктивті сипаттамаға ие электрлік энергиясын тұтынады. Оларға, ең алдымен, асинхронды қозғалтқыштар және трансформаторлар жатады. Ток пен кернеудің берілген мәндерінде ондай тұтынушылардың қуаты $\cos\varphi$ қуат коэффициентінен тәуелді. Қуат коэффициенті көздің номиналды қуаты қалай пайдаланылатынын көрсетеді.

Номиналды режим кезінде тұтынушылардың $\cos\varphi = 0.7 - 0.9$ айтарлықтай жоғары болып келеді. Алайда аздаған жүктеме кезінде қуат коэффициенті де төмен болады. Желістер мен трансформаторларда реактивті энергияның бар болуы энергия мен кернеудің қосымша жоғалтымдарының туындауына әкеліп соқтырады. ЭЖЖ өткізу қабілеттілігін төмендетеді. Сол себепті реактивті энергия көздерін оны тұтыну жерлеріне барынша жақын орналастыруға тырысады.

Реактивті энергия көздеріне компенсаторлық қондырғылар жатады. Конденсаторлы батареялар мен синхронды қозғалтқыштар. Олар қоздыру тогын өзгерту арқылы реактивті энергияның тұтынылуын реттеп отырады.



Есте сақтаныз

Компенсаторлық қондырғыларды қолданудан өзге, өнеркәсіптік кәсіпорындардың қуат коэффициентін орнатылған қуаттарда тиімді пайдалану арқылы, қозғалтқыштар мен трансформаторлардың бос жүріс режимдерін шектеу арқылы да жақсартуға болады. Сонымен қатар аз жүктелген қозғалтқыштарды қуаты азырақ келетін қозғалтқыштармен ауыстыру арқылы, жабдықтардың энергетикалық режимін реттеу арқылы да жақсарту керек болады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электрлік жүктеме дегеніміз не?
2. Кәсіпорынның электрлік жүктемесі уақыт өткен сайын қалай өзгереді?
3. Электрмен жабдықтау және үздіксіз қоректендірудің сенімділігін қамтамасыз ету дәрежесіне сәйкес электрлік энергияның тұтынушылары қандай категорияларға бөлінеді?
4. Электрлік энергияның сапасын қандай параметрлер сипаттайды?
5. Тұтынушының $\cos\varphi$ коэффициентін қалай жоғарылатуға болады?

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫПТАРЫ

1. Ресей федерациясының бірыңғай энергиялық жүйесі.
2. Атом, жылу және гидравликалық электр станциялардың салыстырмалы техникалық-экономикалық параметрлері.
3. Атом энергетикасының әлемде даму перспективалары.
4. Электр энергиясын үнемдеу өнеркәсіп дамуының басты экономикалық мәселелерінің бірі ретінде қарастыру.
5. Электр энергиясын өндіру мен тұтыну бірыңғай процесі ретінде қарастыру.
6. Халықаралық энергетикалық интеграцияның даму перспективалары.

8.2. ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАРЫ МЕН ҚОЛДАНУ АЯСЫ

Алғашқы электржетегі 1838 жылы ресей академигі Б.С.Якоби аккумуляторлы батареядан қоректенетін тұрақты ток электрқозғалтқышын сынаған кезде жасалды. Ол кеменің ескек винтін жетектеу үшін пайдаланылды. Электржетектің кең өнеркәсіптік қолданылуының бастамасы айналмалы магниттік өріс құбылысының ашылуымен және орыс инженері М. О. Доливо-Добровольский құрастырған үшфазалық асинхронды электрқозғалтқышының жасалуымен байланысты болды. 1890 жылдары өнеркәсіптік кәсіпорындарда электржетек кең қолданысқа ие еді. Бұл электржетектің ішінде атқарушы органдарға жұмыс машиналарының қозғалысын хабарлайтын, фазалық роторы бар асинхронды электрқозғалтқыш орнатылған болатын.

1890 жылы электрқозғалтқыштардың жалпы қуаты өнеркәсіпте қолданылатын барлық типтегі қозғалтқыштар қуатына қатысты шамасы 5%-ды құрады. 1927 жылы бұл көрсеткіш 75%-ға дейін өсіп, 1976 жылы 100%-ға жақындады.

Электржетек дегеніміз электрлік энергияны бір немесе бірнеше жұмыс механизмдерінің механикалық энергиясына түрлендіретін электрмеханикалық жүйесі.

Электржетекті энергияны түрлендіру, жеткізу және тарату жүйелері мен бұл процестерді басқару жүйесін құрайды. Және ол топтық, индивидуалды және өзара байланысқан жетек болып бөлінеді.

Топтық жетекте бір қозғалтқыш бір топ механизмдерді немесе бір механизмнің бір топ жұмыс органдарын, мысалы бірнеше станоктарды, не болмаса бір станоктың түрлі жұмыс органдарын тармақталған беріліс көмегімен қозғалысқа келтіреді.

Бұндай жетектің кинематикалық схемасы күрделі әрі үлкен болады. Ал жетектің өзі үнемсіз. Сол себепті қазіргі кезде ол сирек кезде қолданылады.

Электрқозғалтқыш бір ғана жұмыс органын қозғалысқа келтіретін болса, ондай жетекті **индивидуалды жетек** деп атайды. Индивидуалды электржетек механизмнің кинематикалық схемасын айтарлықтай оңайлатады. Тиімділікті арттырады және бірқатар жағдайларда электрқозғалтқышты механизм ішіне орналастыруға мүмкіндік береді. Бұл оның металл сыйымдылығын төмендетеді. Электрқозғалтқыштың жұмыс органымен байланыстың мысалы ретінде түрлі электрлік саймандарды қарастыруға болады (электрлік бұрғы, электрқайрағыш, электршпиндель және өзгелері).

Өзара байланысқан жетек деп бір механизмнің жұмыс органдары бірнеше электрқозғалтқыштары көмегімен қозғалысқа келетін жетекті айтады. Өзара байланысқан электржетегі жалпылама технологиялық

процессе қатысатын және бір өнеркәсіп кешенінде орнатылған бірнеше индивидуалды электржетектерінен тұруы мүмкін.

Мысалы, металлкескіш станоктарда бөлек кескіш құрал-сайман дайындамаларының басты қозғалыс жетектері мен беріліс жетектері орнатылады. Өнеркәсіп роботтары бірнеше бөлек жетектерімен қамтамасыз етіледі. Өзара байланысқан жетек ішінде бірнеше электрқозғалтқыштардың бір жұмыс органына жұмыс істеу мүмкіндігі бар. Бұл жұмыс органы мен берілістегі күш салуды азайтып, механизм ішінде оны бірқалыпты таратуға, қисайып кеткен жерлердің бар болуын болдырмауға жағдай жасайды.

Заманауи электржетектің жұмыс сапасы көп жағдайда қолданылатын электрқозғалтқыштың дұрыс таңдауымен анықталады. Бұл электржетектің ұзақ сенімді жұмысы мен өнеркәсіптегі, көліктегі, құрылыстағы және басқа да жағдайдағы технологиялық және өндірістік процестердің жоғарғы тиімділігін қамтамасыз етеді.

Электрқозғалтқыштарды таңдау шарттары. Жұмыс шарттары мен жұмыс механизмдерінің түрінен тәуелсіз жетек үшін электрқозғалтқыштарды жалпы ережелерге сәйкес таңдайды:

- Қозғалтқыштың механикалық қасиеттері мен өндіріс механизмінің талаптары арасында толықтай сәйкестік болуы керек;
- Жұмыс процесінде қозғалтқыш қуаты максималды түрде қолданылуы тиіс;
- Қозғалтқыш параметрлері (кернеу, жиілік) желістің параметрлеріне сәйкес болуы керек;
- Қозғалтқыштың құрылымдық жасалуы қоршаған орта шарттарына (ылғалдылық, өрт қаупі, жарылу қаупі және өзгелері) сәйкес болуы керек;
- Қозғалтқыш қызмет ететін персонал үшін ыңғайлы әрі қауіпсіз болуы қажет.

Электрқозғалтқыштың типін, жасалуын және қуатын дұрыс таңдау қозғалтқыш жұмысының қауіпсіздігін, сенімділігін, үнемділігін және жұмыс істеу ұзақтығын ғана анықтап қоймайды. Сонымен қатар барлық электржетектің жалпы алғандағы техникалық-экономикалық көрсеткіштерін анықтайды.

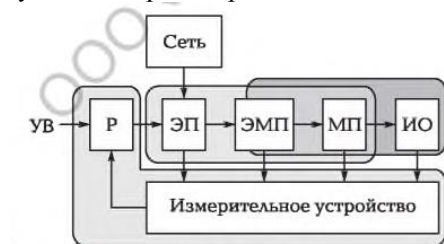
Электржетектің функционалды схемасы сур. 8.9 бейнеленген. Электржетектің функционалды схемасының басты элементтері болып электржетекте болып жатқан процестерді басқаратын регулятор Р; электрлік желінің электрлік энергиясын тұрақты және ауыспалы токтың реттегіш кернеуіне түрлендіретін электрлік түрлендіруші ЭТ; электрмеханикалық түрлендіруші ЭМТ – электрлік энергияны механикалық энергияға түрлендіретін қозғалтқыш; қозғалтқыштың айналу жылдамдығы мен оның қозғалу сипатын (ілгерілемелі қозғалыстан айналмалыға және айналмалы

қозғалыстан ілгерілмеліге) өзгертетін механикалық түрлендіруші МТ; БӨ – басқару әсері; АО – атқарушы орган.

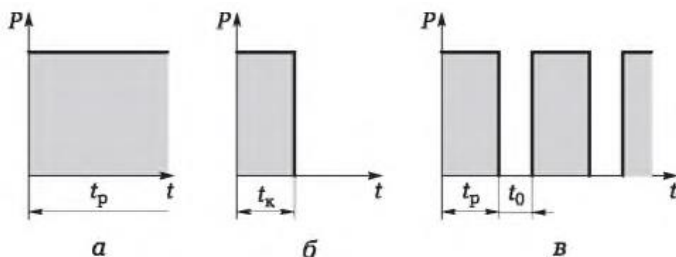
Электрқозғалтқыштардың қуатын таңдау.

Электрқозғалтқыштардың қуаты өндіріс механизмдері мен олардың жұмыс істеу режимімен анықталады.

Егер де жұмыс циклы кезінде қуат тұрақты болып қала берсе, онда режимді тұрақты жүктеме режимі деп атайды. Ал егер де ол өзгертін болса – ауыспалы жүктеме режимі деп атаймыз.



Сур.8.9. Электржетектің функционалды схемасы
– Желі, УВ – БӨ, ЭП – ЭТ, ЭМП – ЭМТ, МП – МТ, ИО – АО.– өлшеу қондырғысы.



Сур. 8.10. Электрқозғалтқыштардың жұмыс режимі:

а – ұзақ мерзімді; б – қысқа мерзімді; в – қайталама- қысқа мерзімді

Тұрақты жүктеме кезіндегі жұмыс істеудің үш режимі үшін жүктеме графиктері сур. 8.10. бейнеленген, мұнда t_p – жұмыс істеу уақыты; t_k – қысқа мерзімді жұмыс істеу уақыты; t – кідіріс уақыты.

Жұмыс циклының сипаты мен ұзақтығына байланысты жұмыс істеудің басты үш режимі орнатылған: ұзақ мерзімді, қысқа мерзімді, қайталама-қысқа мерзімді.

Қозғалтқыш жұмысының **ұзақ мерзімді режимі** қозғалтқыш температурасы орнатылған мәнге жету ұзақтығымен сипатталады. Бұндай режимде вентиляторлар, сорғыштар, түрлендіруші қондырғылар жетектері жұмыс істейді.

Қысқа мерзімді режим кезінде қозғалтқыш орнатылған температураға дейін қызып кетуге үлгермейді. Ал кідірістің ұзақ болуына

байланысты температура қоршаған орта температурасына дейін төмендейді. Бұндай режим шлюздер жетектеріне, электртермалды қондырғылардың жанама механизмдерінің жетектеріне, металкескіш станоктардағы бағана қысқыштарының жетектеріне және өзге жетектерге тән.

Қайталама-қысқа мерзімді режим қосылудың салыстырмалы ұзақтығымен сипатталады.

Қайталама-қысқа мерзімді режим кезінде қозғалтқыш орнатылған температураға дейін қызып кетуге үлгермейді және қосылыстар арасындағы кідіріс кезінде қоршаған орта температурасына дейін төмендеп кетуге үлгермейді.

Электржетектерді басқару. Электржетектерді басқару айналым бағытын қосу, тоқтату, өзгертуден және электрқозғалтқыштардың айналым жиілігін реттеуден тұрады.

Электржетектерді басқару жүйелері екі түрге бөлінеді. **Бірінші түрге** жылдамдықтың қосылу, тежелу, өзгеру процестерінің автоматтандырылуын, қорғанысты және т. б. қамтамасыз ететін ажыратылған жүйелер жатады. **Екінші түрге** – әр түрлі кері байланыстар: жылдамдық, ЭҚК, ток және т. б. бойынша пайдаланылатын басқарудың тұйық жүйелері жатады. Кері байланыстар жетекші (басқару) сигналмен бірге берілген технологиялық талаптарға сәйкес электржетектердің статикалық және динамикалық сипаттамаларын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Электржетектердің дұрыс және үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз етудің маңызды шарты басқару схемасын таңдау болып табылады. Басқарудың бірнеше әдістерін пайдаланады.

Қолдан басқару адамның өзінің қатысуымен автоматты емес коммутационды аппараттарды (контроллерлерді, үзгіштерді және өзгелері) пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Автоматты басқару автоматты әрекетке ие аппараттарды (релелерді, контакторларды және өзгелерді) қолдану арқылы жүзеге асырылады. Автоматты басқару адамдардың еңбек етуін оңайлатады. Еңбек өнімділігін арттырады. Механизмдерді қашықтықтан басқаруға мүмкіндік береді.

Электржетектер арқылы қашықтықтан басқару аппараттары арасында электрмагниттік контакторлар мен іске қосқыштар пайдаланылады. Іске қосқыштар дегеніміз электрмагниттік контактордың ортақ қорапта орнатылған, «Іске қосу» мен «Тоқтау» атты басқару батырмалары бар биметалл термиялық релемен үйлесімін айтады.

Электржетектерді түйіспесіз аппараттар арқылы да басқаруға болады. Олар магниттік (трансформаторлардан, дроссельдерден, күшейткіштерден), жартылай өткізгіш (диодтардан, транзисторлардан, тиристорлардан және өзгелерден) және жанама (резисторлардан, конденсаторлардан және өзгелерден) элементтерден тұрады. Бұндай аппараттарда тез тозатын

механикалық бөлшектер жоқ. Оларға тез арада әрекет ету тән. Алайда олардың тұрақты жұмыс істеуі температураға тәуелділікті тудырады.

Түйіспесіз аппараттары бар тізбектер күрделірек әрі қымбат болып келеді. Зақымдалуды анықтау мен баптау үшін аса қымбат және күрделі аппаратура қажет. Оларды реттелетін, қосылу жиілігі үлкен жетектерде және жарылу қаупі бар орталарда жұмыс істейтін жетектерде көбіне-көп пайдаланады.



Есте сақтаңыз

- Егер де механикалық энергия көзі электрқозғалтқыш болып табылатын болса, онда машина немесе механизмді электржетек қозғалысқа келтіреді. Станоктар, электрлік көлік, өнеркәсіп роботтары және манипуляторлар электржетек көмегімен қозғалысқа келтіріледі.
- Электржетектің басты функциясы – жұмыс механизмін қозғалысқа келтіру және технологиялық процесс талаптарына сәйкес оның жұмыс режимін өзгерту.
- Электржетектің басты құраушылары электрқозғалтқыш, беріліс механизмі және басқару аппаратурасы болып табылады.
- Электржетектің түрін және оны басқару әдісін таңдау электрді жеткізу жүйесінен, жұмыс істеу режимдерінен және объектінің (станоктың, көлік құралдарының, механизм және өзгелері) сипаттамаларынан тәуелді.
- Егер де айналым жиілігінің реттелуіне, іске қосу сәтінің немесе іске қосу тоғының мәніне арнайы талаптар қойылмаса, онда қозғалтқышты таңдау кезінде қысқатұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды таңдаған жөн. Олардың қондырғысы қарапайым, оларды басқару оңай және қолданыста аса сенімді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электржетек дегеніміз не? Оның басты функциялары қандай?
2. Электржетектің қандай басты элементтерін білесіздер?
3. Электрқозғалтқыштың типін қандай басты көрсеткіштерге қарап таңдайды?
4. Қозғалтқыштың қандай жұмыс істеу режимдері сіздерге таныс?
5. Электржетектің түрін және оны басқару әдісін таңдау неге байланысты?

6. Электржетекті автоматты түрде басқарудың қандай артықшылықтары бар?

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫПТАРЫ

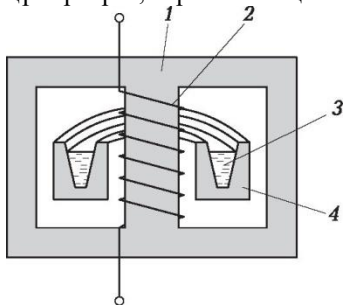
1. Электржетектің басты функциялары мен олардың классификациясы.
2. Электржетекті басқарудың жүйелері.
3. Электрлік көтеріп-тасымалдағыш құралдардың электржабдықтары.
4. Электрлік көліктің электржабдықтары.
5. Өнеркәсіп роботтары мен манипуляторлар жұмысында электржетектердің қолданылуы.

Электржылытқыш құралдарға электрлік жылытқыш тақталар, үтіктер, бойлерлер (су жылытқыштар), батареялар және т. б. жатады. Олардың жылу көзі болып үлкен кедергісі бар, электрлік энергия жылу энергиясына түрленетін сымнан дайындалған жылытқыш элемент болып табылады

8.3. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ТҰТЫНУ

8.3.1. ЭЛЕКТРЖЫЛЫТҚЫШ ҚҰРАЛДАР

Жұмыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін жылытқыш элементтерді керамикалық қабықшаға және кейін шойын тақтаға, герметикалық құбырларға, керамикалық патрондар каналдарына және т. б. жүргізеді.



8.11-сурет. Индукциялық пеш құрылысы:

- 1 — болат өзекше; 2 — бір реттік орам; 3 — балқытылатын металл; 4 — отқа төзімді канал.

Әдетте құралдарды бірнеше жылытқыштармен жасайды, бұл олардың қуатын саты бойынша көптұрғырлы ауыстырып қосқыштармен реттеуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, өнеркәсіпте жылыту, балқыту, кептіру және басқа да мақсаттар үшін пайдаланылатын электрпештің түрлі типтерін де жылытқыш элементтермен жабдықтайды.

Индукциялық электрпештер. Мұндай пештерді металдарды балқыту және қорытпалар алу үшін пайдаланады. Индукциялық пештерде электрлік энергия құйын тогы есебінен жылу энергиясына түрленеді.

Пештер болат өзекшемен немесе өзекшесіз жасалуы мүмкін. Болат өзекшесі бар индукциялық пеш құрылысы 8.11-суретте көрсетілген. Болат өзекше 1 магниттік ағынның сейілуін азайтады және оны балқытылатын металда 3 рет қоюлатады. Бұл қысқа тұйықталу режимінде жұмыс істейтін ерекше трансформатор. Бірінші реттік орам 2 жабық болат магнитөткізгіштің бетіне төселген, екінші реттік орамның қызметін балқытылатын металл 3 рет орындайды. Металды бірінші реттік орамды қапсыратын сақина тәріздес отқа төзімді каналға орналастырады. Осындай жолмен, екінші реттік орам қысқа тұйықталады. Бірінші реттік орамды жиілігі f айнымалы кернеумен қоректендіргенде екінші реттік орамда E_2 электрқозғалтқыш күші индукцияланады. Бұл күш бір канал үшін ($w_2 = 1$) келесі өрнекпен анықталады:

$$E_2 = 4,44f\Phi_m,$$

Φ_m — бірінші ораммен туындайтын максимал магнит ағыны.

E_2 әсерінен екінші реттік орамда (металда) өте үлкен мәндегі 12 тогы жүріп өтеді. Бұл жылудың көп мөлшерінің бөлінуіне әкеліп соғады. Металл жоғары температураға дейін қызады және балқиды.

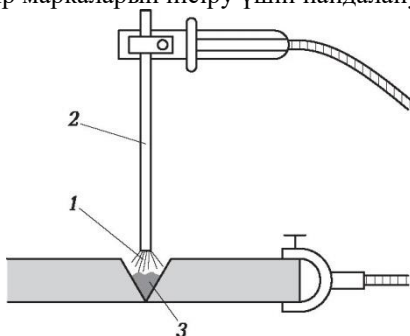
Электрдоғалы пештерде жылу көзі болып электрлік доға табылады. Металл бұл пештерде доғаның сәулелік энергиясымен қызады. Кішкентай көлемде жылудың көп мөлшері шоғырланғандықтан, салдарынан, доғада 3 000 — 5 000 °С-қа дейінгі температураны алуға болады. Доғалы пештерді электрмен жабдықтау салыстырмалы түрде күрделі болып келеді. Оларды қоректендіру үшін үлкен және созылмалы артық жүктемелерді көтеруге арналған арнайы трансформаторларды пайдаланады. Электродтар қалпын автоматтандырылған электр жетектермен реттейді.

Электрлік пісіру. Пісіру деп тетіктерді ағытпасыз жалғауға қол жеткізу әдісін айтады. Пісірудің доғалы, түйіспелі, плазмалы-доғалы және электронды-сәулелік түрлерін ажыратады.

Электрдоғалы пісірумен әсіресе, болат, ағытпасыз жалғауға қол жеткізеді. Бұл мақсат үшін электрлік доғаның пісірілетін тетіктеріне жылу әсерін пайдаланады. Бір электродтың қызметін пісірілетін тетік 3 орындайды. Ал екіншісінікін — арнайы электрод 2 орындайды (8.12-сурет). Электродтар арасындағы қашықтық үлкен болмағандықтан доға жылуы 1 кішкентай көлемде шоғырланған. Бұл металдың пісіріп жалғау орнында тез қызуына және балқуына әкеліп соғады. Электрод токтың доғаның пайда болу орнына берілуі және пісіру тігісінің қалыптасуына қажетті қосымша материалды (металды) жеткізу үшін арналған.

Доға v_{50} —80 В кернеуде пайда болады. Оны ұстап тұру үшін 25 — 30 В кернеу қажет. Доғаны қоректендіру тұрақты немесе айнымалы токпен жүргізілуі мүмкін. Айнымалы токпен пісіру экономикалық тұрғыда тиімдірек. Пісіру агрегаттары арзанырақ, оларды пайдалану шығындары

төменірек болып келеді. Дегенмен, айнымалы тоқты түсті металдарды пісіру және болаттардың кейбір маркаларын пісіру үшін пайдалануға болмайды.



8.12-сурет. Электрдоғалы пісіру схемасы:

1 — доға; 2 — арнайы электрод; 3 — пісірілетін тетік

Түйіспелі электрлік пісірудің келесі түрлері бар: түйіспе, нүктелік және аунақшалы. Нүктелік және аунақшалы (тігісті) пісіру токтың бірполярлы импульстарымен қуатталған түйіспелі машиналарда жүргізіледі.

Пісірілетін тетіктерді түйіспелі машина электродтары арасында орнатады, тығыздап қысады және токты қосады. Түйіспе орнында металл балқиды және пісіру нүктесі пайда болады, аунақшалы пісіру кезінде дайындамаларды аунақшалар арасында орнатады. Аунақшалардың айналуы кезінде оларға импульспен ток қосылады.

Жоғары сапалы нүктелік пісіруге ток импульсінің нақты амплитудасы мен ұзақтығы кезінде қол жеткізіледі.

Электрлік энергияның жылу энергиясына түрленуі тұрмыста (үтіктер, электржылытқыштар, электрлік тақталар және т. б.) және өндірісте (индукциялық және электрдоғалы электрлік пештер, пісірудің электрдоғалы, түйіспелі және т. б. түрлері) кеңінен қолданылады.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

Жылытқыш құралдар жұмыстарының қауіпсіздігі қалай қамтамасыз етіледі?

Электрпештің әрекет ету принципі неде?

Тұрақты ток көзін пайдалана отырып электрдоғалы пісіруді жүргізуге бола ма?

Электр тогының жылулық әсерімен жүргізілетін электрдоғалы пісірудің қандай түрлерін білесіз?

8.3.2. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӨНДІРІСТЕ ҚОЛДАНУ

Түсті металдар металлургиясында және химиялық өндірісте электрохимиялық процестер кеңінен пайдаланылады. Және ең алдымен, мыс, никель, қорғасынды тазарту, алюминий, цинк, магний, сутек, хлор және басқа да химиялық заттардың қатарын алу үшін қолданылатын электролиз процесі пайдаланылады.

Электролиз маңыздылығы электролиттен ол арқылы тұрақты ток жүріп өткенде заттегі бөлшектерінің бөлініп шығуы мен оларды электродтарда тұндыру (бұл процесс экстракция деп аталады) немесе заттектерді бір электродтан электролит арқылы басқа электродқа тасымалдауға (электролиттік тазарту) келіп тіреледі.

Сондай-ақ, электролиз анод материалдарынан немесе электролитте ерітілген жалғаулардан жасалған металл қаптамаларды катод ретінде қызмет ететін тетік бетіне жалату үшін де кеңінен қолданылады (хромдау, қалайылау, никельдеу және т. б.). Мұндай процесс гальваностегия деп аталады.

Электрохимиялық процестер матрицалар атауын алған бұйымдардан металл көшірмелерді алу үшін қолданылады. Мұндай процесс гальванопластика деп аталады. Гальванопластика полиграфияда кең қолданысқа ие болды.

Электролиз құбылысы тетіктер беттерін ластанудан олардан жұқа беттік қабатты алу жолымен тазартуда (өңдеуде) қолданылады. Өңдеу объектісі ретінде анод қызмет етеді.

Электрохимиялық процестерді түсті металлургияда алюминий өндірісі үшін кеңінен қолданады. Алюминийді алу процесі Al_2O_3 глиноземін ыдыратуға келіп тіреледі. Бұл ретте катодта алюминий, ал анодта оттегі бөлінеді. Дегенмен, глинозем балқудың жоғары температурасына (2 050 °C) ие және электрөткізгіш емес. Сондықтан, оны Na_3AlF_6 балқытылған криолитте ерітеді.

Алюминий оксидінің криолитпен қоспасы балқудың төменірек температурасына ие (950 °C) және алюминийді алу үшін электролит ретінде қызмет етеді. Замануи электролизерлер алюминийді алу үшін 7 000 — 10 000 А/м² анодтағы ток тығыздығында тұрақты токта жұмыс істейді. Ток тығыздығының одан артуы кезінде ваннадағы кернеудің төмендеуі мен электр энергиясының меншіктік шығынының артуына әкеліп соғатын қосалқы реакциялар күшейе түседі.

Алюминий өндірісі ең көп энергия сыйымдылығы процестердің бірі болып табылады. Өнеркәсіптік электролиз қондырғылары электр

энергиясының ірі тұтынушыларына жатады. Олар желіден созылмалы уақыт көлемінде белсенді қуат тұтынады. Қондырғылардың іске қосу режимдері бірнеше ондаған сағаттар көлемінде кернеу мен қуаттың бірқалыпты артуымен сипатталады. Осындай жолмен, электрмен жабдықтау жүйесі үшін қиындықтар туындамайды. Өнеркәсіптік электролиз қондырғыларының қуат коэффициенті 0,92-ден төмен болмауы тиіс.

Сондай-ақ, металл қаптамаларды вакуумдық тозандау жолымен алады. Бұл әдіспен бейметалл бұйымдарда металл қаптамаларды алуға болады. Вакуумдық тозандау радиоэлектрондық өнеркәсіпте конденсаторлар, баспа тақашалардың интегралды микросхемалары және т. б. өндірісі үшін кең қолданысқа ие болды.

Электрохимиялық өндірісте электролиз және электргальваника көмегімен электр энергиясын химиялық энергияға түрлендіреді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электролиз деп нені атайды?
2. Гальваностегияның гальванопластикадан айырмашылығы неде?
3. Алюминийді электрохимиялық процестер көмегімен қалай алады?
4. Вакуумдық тозандау қайда қолданылады?

8.3.3. ЭЛЕКТРЛІК ЖАРЫҚТАНДЫРУ

Электрлік жарықтандыру мен жарық көздері адам еңбегі мен демалысы үшін қажетті жарық жағдайларын қалыптастыруға арналған. Соңғы жылдары жарық көздері технологиялық мақсаттарға (кептіру, ауылшаруашылық өнімдерін сәулелендіру, химиялық заттектерді алу, ақпараттық техникада және т. б.) кеңінен қолданылып келеді. Біздің елімізде жарықтандыру үшін барлық өндірілетін электр энергиясының 10 %-дан артығы қолданылады.



Жарық көзі деп энергияның түрленуі нәтижесінде жарық шашатын денені атайды.

Іс жүзінде барлық заманауи жарық көздері өңделмеген энергияны тасымалдағыш ретінде электр тогын пайдаланады және электрлік деп аталады. Жарық көздеріне спектрдің көрінетін бөлігі оптикалық (толқын ұзындығы 380—780 нм), ультракүлгін (10—380 нм) және инфрақызыл (780 — 10 нм) сәулеленген құрылғылар жатады.

Оптикалық сәулелендіру көздері жылу (қыздыру денесін жоғары температураға дейін қыздыру кезінде) және газразрядты (электр тогының газдарда өтуі кезінде) болып бөлінеді.

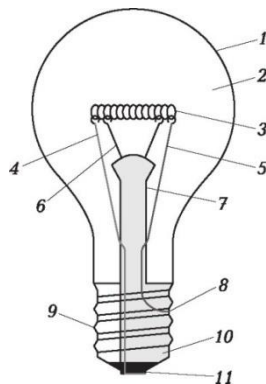
Жылу көздеріне қыздыру шамдары, көмір доғалары, инфрақызыл электржылытқыштар, ал газразрядтағыларға люминесценттік шамдар, доғалы сынап шамдар, доғалы жоғары сапалы және импульстік разрядты шамдар жатады.

Жарықтың электр көздері электрлік және жарық параметрлерімен сипатталады. Электрлік параметрлерге жататындар. Номинал кернеуі, R_n номинал қуаты, I_n шамының номинал тогы, жарық параметрлеріне — шамнан шашылатын, люменмен өлшенетін Φ жарық ағыны, шамның жарық берісі, жарық ағынының тұрақтылығы.

Қыздыру шамының негізгі бөлігі (8.13-сурет) болып электр тогы өткенде қызған кезде оптикалық сәулелендіруге алып келетін қыздыру денесі табылады. Қазіргі кезде қыздыру денесі ретінде вольфрам негізіндегі қорытпалардан жасалған спираль пайдаланылады. Шыны құты 1 денені 3 және электродтарды 4, 5 (ток кіргізімдері) сыртқы ортадан оқшаулайды.

8.13-сурет. Заманауи қыздыру шамының құрылымы:

1 — құты; 2 — құты қуысы (вакуумдалған немесе газбен толтырылған); 3 — қыздыру денесі; 4, 5 — қыздыру денесін ілмек-ұстағыштар; 7 — шам аяқшасы; 8 — кіргізім токтарының сыртқы буыны, сақтандырғыш; 9 — цоколь корпусы; 10 — цоколь оқшаулағышы (шыны); 11 — цоколь түпшесінің түйіспесі



Құты қуысынан ауа сорылады және ол инертті газбен немесе газдар қоспасымен толтырылады. Ток өткізгіш жетектер бір-бірінен оқшауланған сыртқы электродтарға балқытып жапсырылған. Жарық беруді күшейту үшін қыздыру денесінің бетін арттырады. Сол себепті көпшілік шамдарда қыздыру денесі жіп немесе жіңішке жіптен жасалған спираль түрінде жасалады. Қыздыру шамдарының кейбір құрылымдарында шағылыстыратын қаптамалар пайдаланылады.

Қыздыру шамдары құрылысы бойынша және пайдалануда қарапайым болып келеді. Арзан және арнайы іске қосу аппаратурасын қолдануды қажет етпейді. Олардың маңызды кемшілігі — жарық тудыратын спектрдің күндізгіден айырмашылығы және аз жарық беруі. Мұндай шамдар қызметінің орташа ұзақтығы шамамен 1000 сағ.

Люминесценттік лампа — көрінетін жарық негізінен разрядты ультракүлгін сәулелендіру әсерінен жанатын люминоформен сәулеленетін жарықтың газразрядты көзі (8.14-сурет). Разрядтың өзі де көрінетін жарықты сәулелендіреді. Бірақ айтарлықтай аз дәрежеде болады.

Люминесценттік шамның жарық беруі бірдей қуатты қыздыру шамдарына қарағанда бірнеше есе көп болып келеді. Люминесценттік шамдар қызметінің мерзімі қыздыру шамдарының қызметі мерзімінен электрлік коректендірудің, баланстың қажетті сапасының қамтамасыз етілуі мен қосу және сөндіру мөлшері бойынша шектеулердің орындалуы жағдайларында 10 есе көп болуы мүмкін.

Люминесценттік шамдар қоғамдық ғимараттарды (мектептерді, ауруханаларды, кеңселерді және т. б.) жарықтандыруда кең қолданыс тапты. Люминесценттік шамдар танымалдылығы олардың келесі артықшылықтарына негізделген:



8.14-сурет. Люминесценттік шамдардың алуан түрлері біршама көп жарық беруі (20 Вт люминесценттік шам жарықты 100 Вт қыздыру шамы секілді береді). Ұзақ қызмет ету мерзімі (2000-нан 20000 сағатқа дейін), шашыраңқы жарығы, жарық реңктерінің әртүрлілігіне байланысты болады.

Люминесценттік шамдарды жалпы жарықтандыру, ең алдымен, ауданы үлкен ғимараттарды жарықтандыру үшін жағдайларын жақсартуға және энергия тұтынуды 50 — 83 %-ға төмендетуге және шамдардың қызмет ету мерзімін арттыруға мүмкіндік беретін жүйелермен бірге қолданған жөн. Люминесценттік шамдар жұмыс орындарын жергілікті жарықтандыруда, жарық арқылы көрсетілетін жарнамада, үйдің алдын жарықтандыруда кеңінен қолданылады.



Есте сақтаныз

Трубканың тікелей жарық сәулесі өте аз болады. Бірақ сынап жұптарындағы электр разряды люминофор қабатында көрінетін жарыққа түрленетін қарқынды ультракүлгін сәулесінің (көзге көрінбейтін) көзі болып табылады.

Қыздыру шамасына қарағанда люминесценттік шам электр желісіне тікелей қосыла алмайды. Себебі, доғаның тұтануы үшін люминесценттік шамда жоғары кернеудегі импульс қажет және шам тұтанғаннан кейін ток көп мәрте артады. Егер оны шектемесе, шам қатардан шығады.

Бұл мәселелерді шешу үшін арнайы құрылғыларды – электрондық балласттарды қолданады.

Жарық көздерін және электр энергиясының басқа тұтынушыларын қоректендіру үшін үйлер мен өндірістік ғимараттарда арнайы құрылғыларды орнатады. Олар тұстамалар мен сызықтардан тұрады.

Электр тұстамаларының негізгі, топтық, қабаттық және пәтерлік түрлері болады. Олардың тағайындамасына байланысты қорғаныс, басқару, өлшеу және сигнализация аппаратураларын жөндейді.

Электр сызықтары электр тұстамаларынан шығады және қоректендіргіш, топтық және шығарушы түрлері болады.

Қоректендіргіш сызықтар негізгі тұстаманы сыртқы электр желісімен немесе топтық тұстамалармен, топтық сызықтар топтық тұстамаларды тікелей электр энергиясын қабылдағышпен байланыстырады. Ал шығарушы сызықтар түйіспелерге немесе сызықтарға (жарықтандырғыш құрылғылар) қосылу үшін қызмет етеді.

Қоректендіргіш және топтық сызықтардың фазалық өткізгіштерінде міндетті түрде сақтандырғыштар орнатады. Нөлдік өткізгіште сақтандырғыштарды орнатпайды.

Тұрғын үй және өндірістік ғимараттарда электр құрылғыларын қоректендірудің кернеуі 380/220 В тарату желісімен жүзеге асырады.

?

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Жарық көзі деп нені атайды?
2. Қыздыру шамдарының артықшылықтары мен кемшіліктері неде?
3. Люминесценттік шамдардың қандай артықшылықтары бар?
4. Люминесценттік шамдардың қызмет ету мерзімі қандай?

Т

БАЯНДАМАЛАР МЕН РЕФЕРАТТАР ТАҚЫРЫПТАРЫ

Электр энергиясын біздің мамандығымызда қолдану.

Электржылытқыш құрылғылары.

Индукциялық қыздыру құрылғылары.

Электрлік пісіру.

Электр энергиясын пісіру өндірісінде пайдалану.

Электрлік жарықтандыру және жарық көздері.

8.4. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ҮНЕМДЕУ

Электр энергиясын тұрмыста да, өндірісте де қолданады. Уақыт өте келе оны тұтыну жағы ұлғаяды. Себебі, тұрғын үйлер құрылысы белсенді түрде жүріп жатыр және жаңа өндірістік қуаттар енгізілуде.

Электр энергиясы шығынының артуы электрмен жабдықтауда тәуліктің нақты сағаттары мен жылдың жеке маусымдарында (жыл сайын пайдалануға жаңа электр станцияларының енгізілуіне қарамастан) қиындықтар тудырады. Ең үлкен қиындықтар күзгі-қысқы кезеңдерде, таңғы және кешкі сағаттарда туындайды. Сонымен қатар, энергия өндіру үшін жаңартылмайтын энергетикалық көздерді – көмір, мұнай, табиғи газ, олар болашақта сарқылады. Мұның бәрі электр энергиясын үнемдеу мен энергетикалық ресурстарды тиімді пайдалану бойынша шараларды жүргізуге мәжбүрлейді.

Энергия үнемдеу – табиғи ресурстарды сақтаудың маңызды міндеті.

Желідегі шығындарды төмендету энергия үнемдейтін құрылғыларды пайдалану, өткізгіштер (сымдар мен кабельдер) номиналдары мәндерін арттыру, мыс талшығы бар сымдар мен кабельдерді максималды түрде пайдалану және жүйеге рұқсатсыз қосуды қадағалауға келіп тіреледі

Тұрмыста электр энергиясын үнемдеу электр тұрмыстық құралдар мен сәйкес типті және қуатты жоғары ПӘК бар жарықтандыру құралдарын қолданумен тұтынушылар жұмыстарының (артық қосылған шамдар, жылытқыш электр құралдары, теледидарлар және т. б.) зая кетуінің алдын алу жолымен жүзеге асуы мүмкін.

Электр энергиясын өндірісте үнемдеу электрқозғалтқыштар жұмысының уақытын және жарықтандыру құралдарының босқа қосылуын шектеу, механизмдер мен машиналар жүктемелерін номинал өлшемге дейін арттыру, жүктелмеген тетіктерді қуаты бойынша сәйкес келетін басқаларымен ауыстыру, трансформатор жұмысының ең үнемді режимін таңдау, параллель жұмыс кезінде олардың санын азайту, жарық көздері мен жарықтандыру құралдарын жақсы энергетикалық көрсеткіштермен пайдалануға келіп тіреледі.

Электр энергиясын үнемдеу экономиканы қайта құрумен де тығыз байланысты. Ескірген энергия сыйымды технологияларды жаңа, ең технологиялық түрлерімен уақытында ауыстыру қажет. Электр энергиясының шығындары – бұл пайдасыз және қайтарымсыз жоғалған энергетикалық ресурстар болып табылады.



Есте сақтаңыз

Үнемдеу электр энергиясын шектеу немесе жоюды емес, оны дұрыс және үнемді пайдалануды білдіреді.

Электр энергиясын үнемдеу өнімнің өзіндік құнының төмендеуіне әкеліп соғады және қосымша өнімді өндіруге мүмкіндік береді.



БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

Электр үнемдеу дегеніміз не?

Тұрмыста және өнеркәсіптік кәсіпорындарда электр энергиясын үнемдеудің қандай әдістерін білесіз?

Электр энергиясын үнемдеу өндірістің дамуына қалай әсер етеді?

Әдебиеттер тізімі

Бутырин П. А. Электротехника / П. А. Бутырин, О. В. Толчеев, Ф. Н. Шакирзянов ; ред. П. А. Бутырина. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2015.

Прошин В. М. Электротехника / В. М. Прошин. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2015.

Справочное пособие по электротехнике и основам электроники / [П. В. Ермурацкий, А. А. Косякие, В. С. Листвин және т. б..] / под ред. А. В. Нетушила. — М. : Высш. шк., 1986.

Электротехника и электроника: оқулық / [Б. И. Петленко, Ю. М. Иньков, А. В. Крашенников и др.]. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2014.

Электротехника / [А. Я. Шихин, Н. М. Белоусова, Ю. Х. Пухляков и др.] ; ред. А. Я. Шихина. — М. : Высш. шк., 1989.

Электротехника и электроника / [М. К. Бечева, И. Д. Златенов және т. б.]. — М. : Высш. шк., 1991.

Алғы сөз.....	4
1 тарау. Электростатика негіздері.....	6
Электрлік өріс.....	6
Зарядтардың өзара әрекеттесуі. Кулон заңы.....	8
Потенциал.....	10
Өріс кернеулігі.....	11
Электр тогы ұғымы.....	12
Өткізгіштер мен диэлектриктер.....	14
Электрлік сыйымдылық. Конденсаторлар.....	14
Конденсаторлардың жалғануы.....	17
2 Тарау. Тұрақты токтың электр тізбектері.....	21
Тұрақты токтың электр тізбектерінің көздері мен қабылдағыштары.....	21
Электрлік кедергі.....	23
Ом заңы.....	26
Резисторлардың тізбекті, параллельді және аралас жалғануы.....	29
Кирхгоф заңы.....	33
Электр тогының жұмысы мен қуаты.....	37
Пайдалы әсер коэффициенті.....	40
Джоуль—Ленц заңы.....	41
Электр тогының химиялық әсері	42

Электромагнетизм және электромагниттік индукция
Магниттік тізбектер
Магниттік өріс туралы негізгі мәліметтер
Магниттік өрістің сипаттамалары
Магниттік өрісте тогы бар өткізгіш
Магниттік тізбекті есептеу
Электромагниттік индукция
Электромагниттік индукция заңы
Өздік индукция. Индуктивтілік
Өзара индукция
Құйындық токтар
Айнымалы токтың электр тізбектері
Айнымалы токтың бірфазалық электр тізбектері
Айнымалы ток. Негізгі параметрлері
Айнымалы ток тізбектеріндегі электрлік өлшемдердің векторлық кескіні.
Резистивті элементі бар айнымалы токтың электр тізбегі
Индуктивті элементі бар айнымалы токтың электр тізбегі
Сыйымдылықты элементі бар айнымалы токтың электр тізбегі
Белсенді, индуктивті және сыйымдылықты кедергілі айнымалы ток тізбегі
Кернеу резонансы
Ток резонансы
Айнымал ток тізбегінің қуаты
Үшфазалы электр тізбектері
Жалпы ұғымдар мен анықтамалар
Үшфазалы генератор мен электр энергиясын қабылдаушының біріктіру схемасы
Үшфазалы электр тізбегінің қуаты

5 тарау. Электрлік өлшеу және электр өлшеуіш

Құралдар	97
Электрлік өлшеу түрлері мен әдістері.	
Қателіктер классификациясы	97
Электр өлшеуіш құралдар классификациясы	103
Ток пен кернеуді өлшеу	107
Электр энергиясы мен қуатын өлшеу	112
Электрлік кедергіні өлшеу	115
Индуктивтілік пен сыйымдылықты өлшеу	119
Фазаның жылжуы мен жиілігін өлшеу	121
6 Тарау. Трансформаторлар	126
Трансформатордың құрылысы мен қызмет ету принципі	126
Трансформатордың жұмыс режимі	130
Бос жүріс пен қысқа тұйықталу тәжірибесі	132
Трансформатордың ПӘК және сыртқы сипаттамасы	135
Үшфазалы трансформаторлар	138
Автотрансформаторлар	142
7 Тарау. Электрлік машиналар	145
Электрлік машиналардың классификациясы мен әрекет ету принципі	146
Асинхронды қозғалтқыштар	148
Асинхронды машиналар. Негізгі ұғымдар	148
Асинхронды қозғалтқыш құрылғысы	149
Асинхронды қозғалтқыштардың әрекет ету принципі мен жұмыс режимі	151
Электромагниттік мезеттің сырғанауға тәуелділігі	153
Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаты	155
Асинхронды қозғалтқыштарды іске қосу	157

Асинхронды машиналардың тежеу режимдері	161
Асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиіліктерін реттеу	163
Асинхронды қозғалтқыштың қуат коэффициенті	164
Синхронды машиналар	165
Синхронды машиналардың негізгі ұғымдары мен қолданыс аясы	165
Синхронды машиналардың әрекет ету принципі мен құрылғысы	167
Синхронды генератордың сипаттамалары	171
Синхронды генераторлардың параллельді жұмысы	173
Синхронды қозғалтқыштар. Әрекет ету принципі мен құрылғысы	174
Синхронды қозғалтқышты іске қосу	176
Синхронды машиналардың жоғалтымдары және ПӘК	177
Тұрақты ток машиналары	179
Тұрақты ток машиналарының негізгі ұғымдары мен қолданыс аясы	179
Тұрақты ток генераторының әрекет ету принципі мен құрылғысы	180
Тұрақты ток машинасының электр қозғаушы күші.	184
Тұрақты ток генераторының жұмысы	185
Тұрақты ток генераторын қоздыру әдістері	187
Тұрақты ток қозғалтқыштары	190
Тұрақты ток қозғалтқышының айналу жылдамдығын реттеу	191
Тұрақты ток электрқозғалтқыштарын іске қосу	193
Тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы	195
Тұрақты ток қозғалтқыштарының тежелуі	196
8 Тарау. Электр энергиясын өндіру, тарату және тұтыну	198
Электр энергиясын өндіру және тарату	198

Электроэнергиялық жүйелер _____	198
Электр станциялары _____	201
Электр желілері _____	205
Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау _____	209
Электржетектердің негізгі ұғымдары мен қолданыс аясы _____	212
Электр энергиясын тұтыну _____	217
Электржылытқыш құралдар _____	217
Электр энергиясын электрхимиялық өндірісте қолдану _____	220
Электрлік жарықтандыру _____	222
Электр энергиясын үнемдеу _____	226
Әдебиеттер тізімі _____	228

Оқу басылымы
Ярочкина Галина Владимировна
Электротехника негіздері
Оқу құралы
4-ші басылым, стереотиптік
Редакторлары Л. В. Толочкова, С. Асанов
Техникалық редактор Е. Ф. Коржуева

Компьютерлік беттеу: Д. В. Федотов

Корректор И. А. Ермакова

Бас. № 104113312. Баспаға жіберілді 07.06.2016. Формат 60 x 90/16.

Гарнитура «Балтика». № 1 Офсеттік қағаз. Офсеттік баспа. Усл. печ. л.
15,0.

Тираж 1 000 дана. № Тапсырыс

ООО «Академия» баспа орталығы. www.academia-moscow.ru 125252,
Мәскеу, Мир даңғылы, 101В, стр. 1.

Тел./факс: (495)648-0507, 616-0029.

Санитарлық-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС
RU.ПЩ01.Н00695 31.05.2016.

Идел-Пресс-те басылып шығарылды.