Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі
«Кәсіпқор» холдингі» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

**А.Е. ДАИРБЕКОВА, М.Д. САРБАЕВА,
М.К. НИГМЕТЖАНОВА, Б.К. ЖАНАБАЕВ**

ЭЛЕКТР СҰЛБАЛАРЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЖАБДЫҚТАРЫ ФУНКЦИЯЛАРЫН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ТЕКСЕРУ

0901000 – «Электр станциялары мен желілерінің электр жабдықтары (түрлері бойынша)» мамандығы бойынша техникалық және кәсіптік, орта білімнен кейінгі білім беру жүйесі үшін өзектендірілген үлгілік оқу жоспарлары мен бағдарламалары бойынша оқу құралы ретінде әзірленді

Нұр-Сұлтан, 2019

ӘОЖ 621.317.318 (75)
КБЖ 31.23
Э 46

Электр сұлбаларының электр жабдықтары функцияларын талдау және тексеру: Оқу құралы / А. Е. Даирбекова, М.Д. Сарбаева, М.К. Нигметжанова, Б.К. Жанабаев. - Нұр-Сұлтан: «Кәсіпқор» холдингі» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, 2019 ж.

ISBN 978-601-333-890-3

Оқу құралы 0901000 – «Электр станциялары мен желілерінің электр жабдықтары (түрлері бойынша)» мамандығы бойынша оқытудың кез келген нысанын (күндізгі, сырттай, қашықтан) жүзеге асыру кезінде ТжКБ ұйымдарының қолдануына арналған.

Оқу құралында электр және магнит тізбектерінің заңдары; тұрақты және айнымалы ток тізбектерін талдау әдістері; сызықтық және сызықтық емес электр тізбектерін есептеу әдістері; электр машиналарының жіктелуі, қолданылу аясы, құрылымы және жұмыс істеу қағидаттары; электр машиналарының негізгі пайдалану көрсеткіштері; электр энергиясының көздері мен тұтынушылары; электр энергиясын өндіру, беру және тарату қағидаттары; жерге қосу шиналарын дәнекерлеу және оларды қапсырмаға және бекіткіш бөлшектерге пісіру жайлы мәліметтер бар.

Электр машиналары мен трансформаторлардың функцияларын тексеру мәселелері, айнымалы және тұрақты токтың электр машиналарының құрылғылары мен жұмыс істеу қағидаты және олардың электрлік сұлбаларын талдау; электр энергиясын өндіру, беру және тарату қағидаты қарастырылған.

Оқу құралы кестелермен, суреттермен безендірілген, әрбір бөлімнің соңында білімді бекітуге және тексеруге арналған бақылау сұрақтары келтіріледі.

Оқу құралы студенттерге, оқытушыларға практикалық сабақтарды ұйымдастыру үшін, өндірістік оқыту шеберлеріне өндірісте жұмысшыларды дайындау үшін пайдалы болады.

ӘОЖ 621.317.318 (75)
КБЖ 31.23

Рецензенттер:

– Алматы мемлекеттік энергетика және электрондық технологиялар колледжі «Энергетика» бейіні бойынша оқу-әдістемелік бірлестік»;

– «Тау-кен өндіруші және тау-кен металлургиялық кәсіпорындардың республикалық қауымдастығы» ЗТБ.

«Оқулық» Республикалық ғылыми-практикалық орталығымен ұсынылған

© КеАҚ Холдинг «Кәсіпқор», 2019

«Delta Consulting Group» ЖШС аударған

Мазмұны

Кіріспе …….…… 5
1-тарау. Электр тізбектерінің негізгі заңдарын және сипаттамаларын талдау …….. 7
1.1. Электр тізбегінің негізгі құрамдас бөліктерін талдау…… 7
1.2. Электр және магнит өрістерінің заңдары…… 9
1.3. Электр тізбектерінің негізгі заңдары мен қасиеттері……. 21
1.4. Магнит тізбектерінің негізгі заңдары мен қасиеттері…… 27
1.5. Тұрақты және айнымалы ток тізбектерінің ерекшеліктері…… 29
1.6. Сызықты емес тізбектердің ерекшеліктері …… 66
2-тарау. Электр тізбектерін аналитикалық және графикалық әдістермен есептеу……. 68
2.1. Тұрақты токтың сызықты және сызықты емес тізбектерін есептеу…… 68
2.2. Айнымалы токтың бір фазалы тізбектерін есептеу ……... 71
2.3. Айнымалы токтың симметриялы және симметриялы емес үшфазалы тізбектерін есептеу…….. 78
3-тарау. Электр машиналары мен трансформаторлардың құрылымы бойынша түрлері ……. 85
3.1. Электр машиналары мен трансформаторлардың тағайындалуы, жіктелуі, қолданылу саласы, құрылымы және жұмыс істеу принципі……. 85
3.2. Трансформатордың жұмыс және номиналды режимдердегі, бос жүріс режиміндегі және қысқа тұйықталу режиміндегі қосылу сұлбасы және жұмысы……... 96
3.3. Трансформатордың параметрлерін есептеу ……... 101
3.4. Трансформаторларды қосу топтарының сұлбалары…….. 104
3.5. Электр машиналарының сипаттамаларын есептеу және құру әдістері…….…… 106
3.6. Трансформаторларды параллель жұмысқа қосу шарттары……... 112
4-тарау. Электр энергиясын өндіру, беру және тарату принциптері…… 117
4.1. Электр энергиясының көздері мен тұтынушыларының мақсаты.… 117
4.2. Электр энергиясын өндіру принципі…… 122
4.3. Электр энергиясын беру және тарату принциптері…… 127
5-тарау. Жерге қосу шиналарын дәнекерлеу және оларды қапсырмалар мен бекіту бөлшектеріне пісіру……. 133
5.1. Дәнекерлеу жабдығын жұмысқа дайындау……. 133

5.2. Өрт қауіпсіздігі бойынша нұсқамалардың негізгі түрлері……. 135
5.3. Металды дәнекерлеуге дайындау және құрастыру …… 138
5.4. Механикаландырылған тәсілмен дәнекерлеу орындарын өңдеу….. 141
5.5. Дәнекерлеу режимдері……... 143
5.6. Әр түрлі материалдарды дәнекерлеу…… 149
5.7. Әртүрлі қалыңдықтағы бөлшектерді дәнекерлеу……... 160
Қорытынды …….. 166
Белгілеулер мен қысқартулар тізімі……... 167
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі……... 168

Кіріспе

Бұл оқу құралы білім алушыларға 0901000 - «Электр станциялары мен желілерінің электр жабдықтары (түрлері бойынша)» мамандығы бойынша «Электр сұлбаларынның электр жабдықтары функцияларын талдау және тексеру» модулінің бағдарламасымен танысуға, теориялық материал негізінде оқылатын модуль туралы толық түсінік алуға мүмкіндік береді.

«Электр сұлбаларының электр жабдықтары функцияларын талдау және тексеру» модулі кәсіби біліктілік модульдерінің бірі болып табылады және жұмыстың нәтижелілігін сипаттайды, электр машиналары мен трансформаторлар қызметін тексеруге және олардың электр сұлбаларын талдауға қажетті дағдылар мен білім алуға мүмкіндік береді.

Оқу құралы төмендегі оқу нәтижелеріне қол жетуге көмектеседі:

1) Электр тізбектерінің негізгі заңдары мен сипаттамаларына талдау жасау;

2) Электр тізбектерін аналитикалық және график

алық әдістермен есептеу;

3) Электр машиналары мен трансформатор түрлерін құрылымы және паспорттық деректері бойынша анықтау;

4) Электр энергиясын өндіру, беру және тарату қағидасын түсіну;

5) Жерге қосу шиналарын дәнекерлеу және оларды қапсырмалар мен бекіту бөлшектеріне пісіруді орындау.

Электрлендіру – бұл жоғары вольтты электр желілерімен энергетикалық жүйелерге біріктірілген қуатты электр станцияларында өндірілетін электр энергиясын өнеркәсіпке, ауыл шаруашылығына, көлік пен тұрмысқа кеңінен енгізу.

Электрлендіру электр машиналары мен трансформаторларды әзірлеумен және өндірумен айналысатын электр техникалық өнеркәсіп өндіретін электр техникалық бұйымдар арқылы жүзеге асырылады.

Электр машинасы – механикалық және электр энергиясын өзара түрлендіруді жүзеге асыратын электрмеханикалық құрылғы. Электр энергиясы электр станцияларында механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіретін электр машина – генераторлармен өндіріледі.

Электр энергиясын өндіру процесінде электр энергиясы көздеріне қойылатын өсіп келе жатқан экологиялық талаптарды ескеру қажет және дәстүрлі әдістермен қатар күн, жел, теңіз толқыны, жылу көздері энергиясын пайдалана отырып, электр энергиясын өндірудің экологиялық таза (балама) тәсілдерін дамыту қажет.

Электр станцияларында өндірілетін электр энергиясын оны тұтыну орындарына, ең алдымен қуатты электр станцияларынан жүздеген, кейде мыңдаған шақырым жерде орналасқан елдің ірі өнеркәсіптік орталықтарына беру қажет. Электр энергиясын алыс қашықтыққа жеткізу жоғары кернеуде (500 кВ-қа дейін және одан да көп) жүзеге асырылады, бұл электр

желілеріндегі электр шығынын азайтады. Бұл үрдіс трансформаторлар деп аталатын электромагниттік құрылғы көмегімен жүзеге асырылады.

Электр энергиясын тұтыну процесінде оны энергияның басқа түрлеріне (жылу, механикалық, химиялық) түрлендіру жүреді. Электр энергиясының шамамен 70% -ы білдектерді, механизмдерді, көлік құралдарын қозғалысқа келтіру, яғни оны механикалық энергияға түрлендіру үшін пайдаланылады. Бұл түрлендіруді электр машиналары – электр қозғалтқыштары жүзеге асырады.

Электр станциялары мен трансформаторлық қосалқы станциялардың апатсыз жұмысын қамтамасыз ету үшін электр жабдықтарының, электр сұлбаларының функцияларын талдау және тексеру қажет; электр жабдықтарының жұмыс режимдерін бақылау: жекелеген жалғаулардың жүктемесін, электр желілерінің бақылау нүктелеріндегі кернеуді және жиілікті, активті және реактивті қуат ағындарының мәні мен бағытын, жіберілген энергия мөлшерін. Сондықтан, ғылыми-техникалық даму жағдайында шығарылатын электр жабдықтарының сапасын арттырумен байланысты жұмыстар үлкен маңызға ие болады.

Әзірленген оқу құралы электр машиналары мен трансформаторлардың функцияларын тексеру және олардың электр сұлбаларын талдау мәселелерін зерттеуге мүмкіндік береді және өзінің мақсаты жоғары білікті техник – электрикті дайындау болып табылады. Оқу нәтижелерін бағалау үшін оқу құралында өз бетінше жұмыс істеуге арналған тапсырмалар, оқу материалдарын тексеру және бекіту сұрақтары қарастырылған.

1-тарау. Электр тізбектерінің негізгі заңдарын және сипаттамала рын талдау

1.1. Электр тізбегінің негізгі құрамдас бөліктерін талдау

Электр тізбегі – электр тогын өткізуге арналған құрылғылар жиынтығы. Тізбек энергия көздерінен (генераторлармен), энергия тұтынушылардан (жүктемелермен), энергия беру жүйелерінен (сымдармен) құралады.

Электр тізбегі – электр тогының бағытын құрайтын құрылғылар мен объектілердің жиынтығы, онда электр қозғаушы күш, ток және кернеу туралы ұғымдармен сипатталуы мүмкін электромагниттік процестер.

Электр тізбегі ішкі және сыртқы бөлікке бөлінеді. Электр тізбегінің ішкі бөлігіне электр энергиясы көзі жатады. Электр тізбегінің сыртқы бөлігіне жалғастырушы сымдар, тұтынушылар, айырғыштар, ажыратқыштар, электр өлшеуіш құралдар, яғни электр энергиясы көздерінің қысқыштарына жалғанатындардың барлығы кіреді.

Электр тізбегінің негізгі элементтері мыналар:

1) электр энергиясының көзі;

2) тұтынушылар;

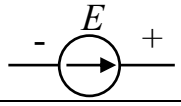
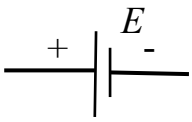
3) электр энергиясын беруге арналған құрылғы.

Электр тізбегінің барлық негізгі элементтерінің электрлік кедергісі болады.

Электр тізбегінің негізгі элементтерінен басқа қосалқы элементтер болады: сақтандырғыштар, ажыратқыштар, автоматтар, реле, өлшеу аспаптары (амперметрлер, вольтметрлер, ваттметрлер, есептеуіштер) және т. б.

Электр сұлбасы элементтерінің шартты белгілері бар электр сұлбасының графикалық бейнесі (1.1-сурет) электр тізбегінің сұлбасы деп аталады. Электр тізбегінің барлық негізгі және қосалқы элементтерінің 1.1-кестеде келтірілген белгілері болады.

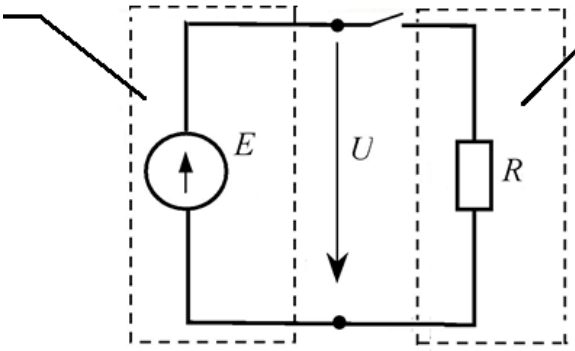
1.1-кесте. Электр тізбектерінде қолданылатын шартты графикалық белгілер [11].

Элементтің шартты графикалық белгісі	Атауы
	Электр тізбегінің көзі, ЭҚК көзі
	Тұрақты ток электр генераторы
	Химиялық энергия көзі, гальваникалық элемент

1.1-кестенің жалғасы

M	Тұрақты токтың электр қозғалтқышы
	Электр қыздыру шамы
	Электр энергиясын қабылдағыш, резистор
	Реттелетін реостат
	Айнымалы реостат
	Конденсатор: тұрақты сыйымдылық ауыспалы сыйымдылық
	Индуктивтілік катушкасы: магнит өткізгішсіз магнитөткізгішпен
	Электр тізбегінің сымы, кабелі, шинасы
•	Электр байланысы
ø	Ажырайтын байланыс
	Ажыратқыштар: бір полюсті қос полюсті
	Балқымалы сақтандырғыш
A	Амперметр
V	Вольтметр
	Жартылай өткізгіш диод
	Жерге қосу

тізбектің ішкі учаскесі,
энергия көзі бар:
- генератор;
- аккумулятор және т. б.



сыртқы тізбек учаскесі,
тұтынушылар бар:
- резистор, реостат;
- электр қозғалтқыш;
- қыздыру шамы;
- электрлік жылыту құралдары және т. б.

1.1-сурет Электр тізбегінің сұлбасы

Бақылау сұрақтары:

1. Электр тізбегін анықтау.
2. Электр тізбегінің негізгі элементтері.
3. Тізбектің ішкі және сыртқы бөлігінде мынадай негізгі элементтер болады: ….

1.2. Электр және магнит өрістерінің заңдары

Кеңістіктің белгілі бір нүктесіне орналастырылған электр заряды осы кеңістіктің қасиеттерін өзгертеді. Яғни заряд өз айналасында электр өрісін тудырады.

Электростатикалық өріс - материяның ерекше түрі**.**

Қозғалмайтын зарядталған денелердің айналасындағы электростатикалық өріс зарядқа күшпен әсер етеді, зарядқа жақындаса күшейеді.

Электростатикалық өріс уақыт бойынша өзгермейді.

Электр өрісінің күштік сипаттамасы **кернеу** болып табылады $\vec{E}$

Осы нүктедегі электр өрісінің кернеулігі - бұл өрістің осы нүктесіне орналастырылған жеке оң зарядқа әрекет ететін сандық күшке тең векторлық физикалық шаманы білдіреді.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \qquad (1.1)$$

мұнда $\vec{F}$ - жеке оң зарядқа әрекет ететін күш;

q – заряд.

СИ халықаралық жүйесінде электр өрісінің кернеулігін өлшеу бірлігі үшін $[E] = \frac{В}{м}$ қабылданады.

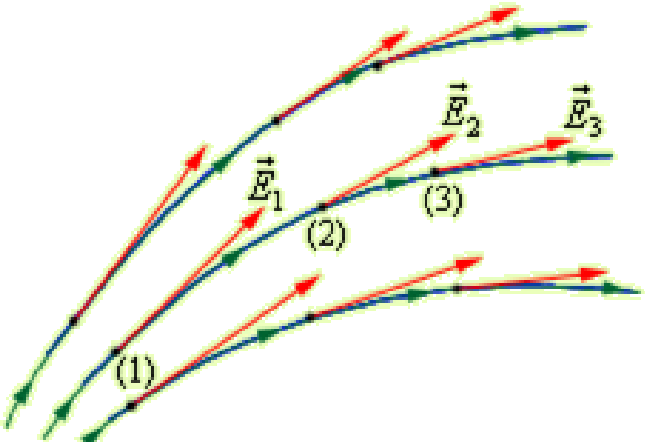
Егер сынақ зарядына бірнеше зарядтар жағынан күштер әсер етсе, онда бұл күштер күшті суперпозициялау принципі бойынша тәуелсіз және осы күштердің нәтижесі күштің векторлық сомасына тең болады.

Электр өрістерін суперпозициялау (қабаттастыру) принципі

Кеңістіктің осы нүктесінде заряд жүйесінің электр өрісінің қарқындылығы кеңістіктің осы нүктесінде жеке жүйенің әрбір зарядымен құрылған электр өрістері кернеулерінің векторлық жиынтығына тең:

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i \text{ немесе } \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots, \qquad (1.2)$$

Электр өрісін графикалық түрде күштік желілері арқылы көрсетуге ыңғайлы (1.2-сурет).



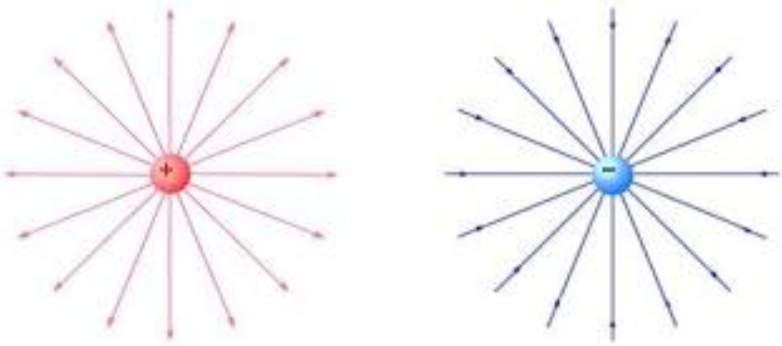
1.2- сурет. Электр өрісінің күштік желілерінің графикалық бейнесі

Күштік желілер (электр өрісінің кернеулік желілері) деп - өрістің әрбір нүктесінде осы нүктедегі кернеу векторының бағытымен сәйкес келетін желілер аталады.

Күштік желілері оң зарядта басталады және теріс зарядта аяқталады.

Кернеу желілерінің тығыздығы өрістің кернеулігін сипаттайды (желілер тығыз орналасқан сайын, өріс күшейе береді).

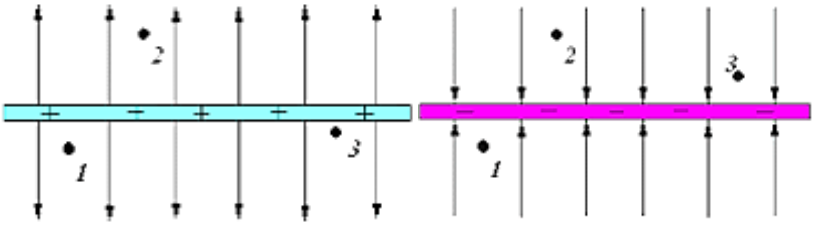
Электростатикалық өрісі нүктелі зарядта біркелкі емес (өріс зарядқа жақындаған сайын күшейеді) (1.3-сурет).



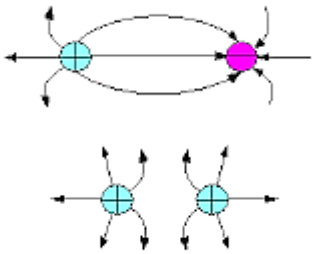
1.3-сурет Нүктелі зарядтың электростатикалық өрісі - біртекті емес электр өрісі

Шексіз біркелкі зарядталған жазықтықтардың электростатикалық өрістерінің күштік желілері

Шексіз біркелкі зарядталған жазықтықтардың электростатикалық өрісі біртекті. Барлық нүктелердегі кернеулігі бірдей электр өрісі біртекті деп аталады (1.4- сурет).



1.4-сурет. Біртекті электр өрісі



1.5-сурет. Екі нүктелі зарядтардың электростатикалық өрістерінің күш желілері

Электр заряды дегеніміз – бөлшектердің немесе денелердің электромагниттік күштік өзара әрекеттесуге түсу қасиетін сипаттайтын физикалық шама.

Бірінші рет қозғалмайтын зарядтардың өзара әрекеттесу заңын 1785 жылы француз физигі Ш. Кулон ашты. Кулон тәжірибелерінде шарлар арасындағы өзара қарым-қатынас өлшенді, олардың өлшемдері олар арасындағы қашықтыққа қарағанда азырақ болды. Мұндай зарядталған денелер нүктелі заряд деп аталады.

Көптеген тәжірибелер негізінде Кулон келесі заңды орнатты:

Қозғалмайтын зарядтардың өзара іс-қимыл күші зарядтардың модульдеріне тікелей пропорционал да олардың арасындағы қашықтық квадратына кері пропорционал:

$$F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2}, \qquad (1.3)$$

мұнда q_1, q_2-зарядтар;

k- пропорционалды коэффициент;

r- жылжымайтын зарядтар арасындағы қашықтық.

Қозғалмайтын электр зарядтарының өзара әрекеттесуі электростатикалық немесе кулондық өзара әрекет деп аталады. Кулон заңы нүктелі зарядталған денелер үшін әділ.

Кулон заңындағы тепе-теңдік коэффициенті k бірлік жүйесін таңдауға байланысты. СИ халықаралық жүйесінде заряд бірлігі үшін кулон (Кл) қабылданды.

Кулон - 1 с-та өткізгіштің көлденең қимасы арқылы 1 А ток күші кезінде өтетін заряд. СИ-дағы ток күшінің (ампер) бірлігі ұзындық, уақыт және салмақ бірліктерімен қатар негізгі өлшем бірлігі болып табылады.
СИ жүйесіндегі коэффициент k әдетте былай жазылады:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}, \qquad (1.4)$$

мұнда ε_0 - электрлі тұрақты, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{Кл}^2}{\text{Н}\cdot\text{м}^2}$.

Потенциал - электр өрісінің энергетикалық сипаттамасы.

Потенциал электр өрісінің осы нүктесінде электр зарядын беретін әлеуетті энергияның осы зарядтың шамасына қатынасына тең скалярлы физикалық шама.

Потенциал электр өрісінің осы нүктесінде орналастырылған бір оң зарядтың қандай әлеуетті энергияға ие болатынын көрсетеді.

$$\varphi = \frac{W}{q}, \qquad (1.5)$$

мұндағы φ – өріс нүктесіндегі потенциал,

W – осы өріс нүктесіндегі потенциалдық заряд энергиясы.

СИ жүйесіндегі потенциалдың өлшем бірлігі $[\varphi] = \text{В}$

$(1\ \text{В} = \frac{1\text{Дж}}{\text{Кл}})$.

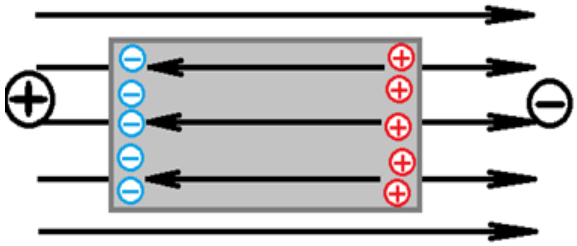
Потенциал бірлігі үшін белгілі бір нүктедегі потенциалды қабылдайды, 1 Кл электр зарядының шексіздігінен ол нүктеге жету үшін 1 Дж-ға тең жұмыс істеу талап етіледі.

Электр өрісіндегі өткізгіштер мен диэлектриктер

Электр өткізгіштік дәрежесіне қарай барлық затар бөлінеді:

1. Өткізгіштер;
2. Жартылай өткізгіштер;
3. Диэлектриктер.

Электр өрісіндегі өткізгіш (1.6-сурет).



1.6-сурет. Электр өрісіндегі өткізгіш

$E_р = E_{вн} - E_д = 0$- өткізгіш ішінде электр өрісі жоқ. Сыртқы электр өрісінің әсерінен өткізгіш денелерде зарядтардың бөліну құбылысы электростатикалық индукция деп аталады.

Сыртқы электр өрісінен қорғау - электростатикалық экрандау

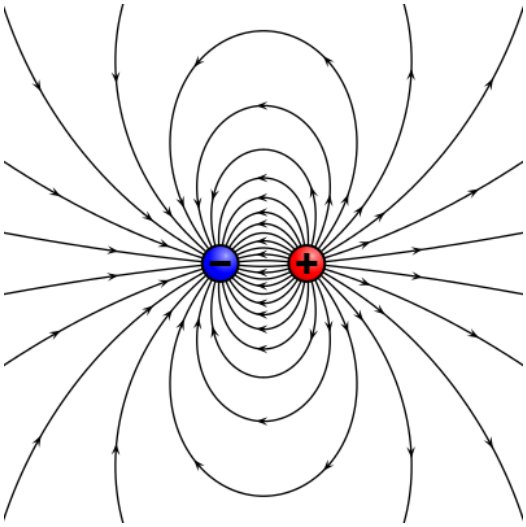
Электр өрісіндегі диэлектрик.

Диэлектриктер – (немесе **оқшаулағыштар**) – электр тогын салыстырмалы түрде нашар өткізетін заттар. «Диэлектрик» термині (грек. dia - арқылы және ағылш. electric - электр) электрмагниттік өзара әрекеттесулер берілетін заттарды белгілеу үшін Фарадей енгізді [11].

Диэлектриктерде барлық электрондар байланысты, яғни жеке атомға жатады және электр өрісі оларды үзбейді, тек сәл ығыстырады, яғни поляризациялайды. Сондықтан диэлектриктің ішінде электр өрісі болуы мүмкін, диэлектрик электр өрісіне белгілі бір әсер етеді.

Диэлектриктер **полярлық** және **полярлы емес** болып бөлінеді.

Полярлық диэлектриктер оң және теріс зарядтардың таралу орталықтары сәйкес келмейтін молекулалардан тұрады. Мұндай молекулаларды модуль бойынша бірдей екі түрлі нүктелік зарядтар түрінде ұсынуға болады, олар бір-бірінен **диполь** деп аталатын қашықтықта орналасқан (1.7-сурет).

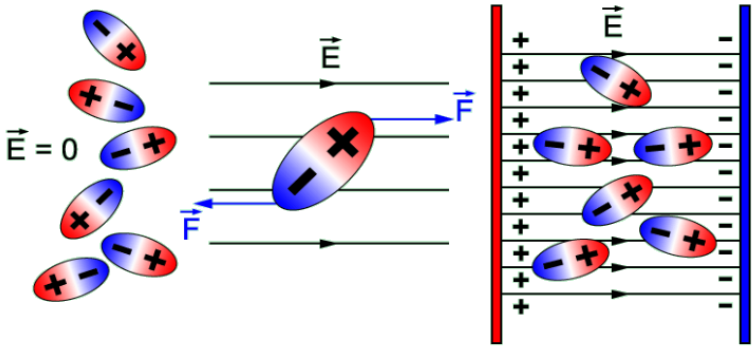


1.7-сурет. Диполь

Полярлы емес диэлектриктер оң және теріс зарядтардың таралу орталықтары сәйкес келетін атомдар мен молекулалардан тұрады.

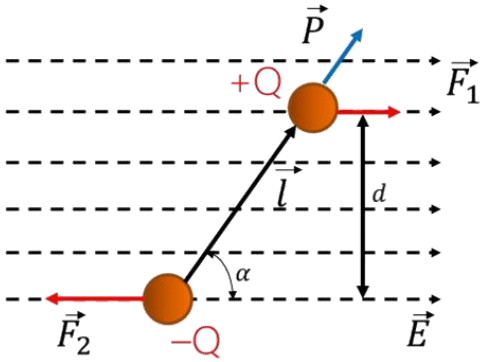
Полярлы диэлектриктердің поляризациясы

Электростатикалық өрісте полярлық диэлектриктің жылжуы (мысалы, екі зарядталған пластиналар арасында) (1.8-сурет.) өрістің бойында хаотикалық бағытталған дипольдердің бұрылуына және ығысуына әкеледі.



1.8-сурет. Электр өрісіндегі полярлық диэлектрик

Бұрылу дипольдің екі зарядына өріс жағынан салынған күштер жұбының әсерімен жүреді.



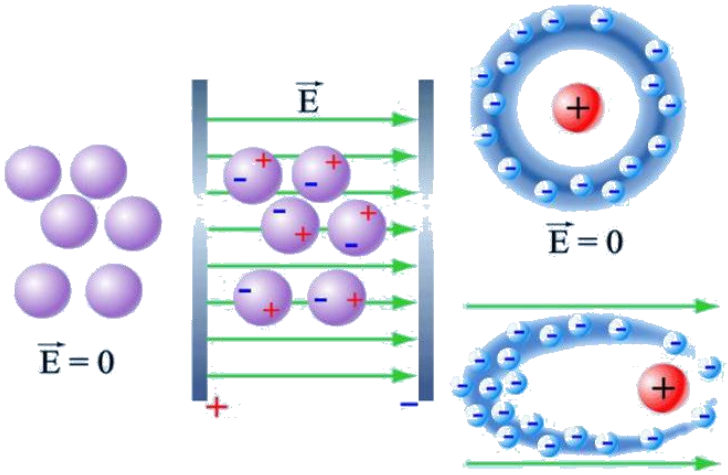
1.9- сурет. Дипольдердің ығысуы

Дипольдердің ығысуы (1.9-сурет.) **поляризация** деп аталады. Алайда жылу қозғалысына байланысты тек жартылай поляризация жүреді. Диэлектриктің ішінде дипольдердің оң және теріс зарядтары бір-бірінің орнын толтырады, ал диэлектриктің бетінде байланысқан заряд пайда болады: оң зарядталған пластина жағынан теріс және керісінше.

Полярлы емес диэлектриктердің поляризациясы

Электр өрісіндегі полярлы емес диэлектрик (1.10-сурет) те поляризацияланады. Электр өрісінің әсерінен молекуладағы оң және теріс зарядтар қарама-қарсы жаққа ығысады, сондықтан зарядтардың таралу орталықтары полярлық молекулаларда ығысады. Дипольдің өрісімен дәл-денген ось өрістің бойымен бағытталған. Зарядталған пластиналарға жанасатын диэлектриктің бетінде байланысқан зарядтар пайда болады.

Поляризацияланған диэлектрик өзі электр өрісін жасайды E_1.



1.10-сурет. Электр өрісіндегі полярлық емес диэлектрик

Бұл өріс диэлектриктің ішінде сыртқы электр өрісін E_0 әлсіретеді. Бұл әлсіреу дәрежесі диэлектриктің қасиеттеріне тәуелді. Вакуумдағы өріспен салыстырғанда заттағы электростатикалық өрістің кернеулігінің азаюы ортаның салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігімен сипатталады.

Ортаның салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі ε дегеніміз – біртекті диэлектрик ішіндегі E электрстатикалық өрістің кернеулілік модулінің вакуумдегі E_0 өрісінің кернеулілігі модулінен қаншалықты аз екендігін көрсететін физикалық шама:

$$\varepsilon = E_0/E\,, \tag{1.6}$$

Осыған сәйкес, зарядтардың өзара әрекетесу күші вакуумдегіге қарағанда ортада ε есе аз:

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon \cdot r^2} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r^2}\ , \tag{1.7}$$

Магнит өрісі және оның сипаттары

Магнит өрісі дегеніміз – қозғалыстағы электр зарядына, ток бар өткізгіштерге, магнитті моментке ие, зарядтың жылдамдық векторына, өткізгіштегі ток күшінің бағытына және дененің магнитті моментінің бағытына тәуелді күші бар денелерге әсер етуімен ерекшеленетін материяның бір түрі.

Магнетизм тарихы ежелгі дәуірден, Кіші Азияның ежелгі өркениеттерінен бастау алады. Атап айтқанда Кіші Азия аумағында, Магнезияда, үлгілері бір-біріне тартылған тау жыныстары табылған. Жергілікті жердің атауы бойынша мұндай үлгілер «магнетик» деп атала бастады. Өзек немесе таға түріндегі кез келген магнитте полюстер деп аталатын екі шеті бар; бұл жерде оның магниттік қасиеттері жақсы көрінеді. Егер магнитті жіпке ілсеңіз, бір полюсі әрдайым солтүстікке қарайды. Осы принцип негізінде компас құрылған. Еркін ілініп тұрған магниттің

солтүстікке қараған полюсі магниттің солтүстік полюсі (N) деп аталады. Қарама-қарсы полюсі оңтүстік полюс (S) деп аталады.

Магнитті полюстер бір-бірімен өзара әрекеттеседі: аттас полюстер бірін-бірі итереді, аттас еместер бірін-бірі тартады.

Электр зарядын қоршаған электр өрісінің тұжырымдамасына ұқсас магнит айналасындағы магнит өрісі туралы түсінік енгізіледі.

1820 жылы Эрстед (1777-1851) электр өткізгішінің жанында орналасқан магнит жебесі өткізгіш бойынша ток аққанда, яғни ток бар өткізгіштің айналасында магнит өрісі пайда болатыны анықталды. Егер тогы бар рамканы алатын болсақ, онда сыртқы магнит өрісі рамканың магнит өрісімен өзара әрекетеседі және оған бағдарлаушы әсер етеді.

Магнитті өрістің қасиеттері

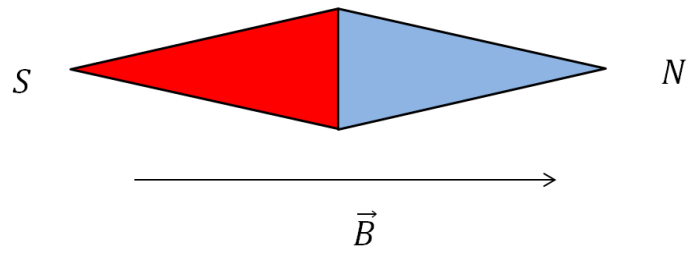
Магнит өрісі арқылы қозғалатын электр зарядталған бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесу жүзеге асырылады.

Тұрақты магнит өрісі - уақытпен өзгермейтін магнит өрісі.

1. Магнит өрісі қозғалмалы зарядталған бөлшектермен және денелермен, ток өткізгіштермен, тұрақты магниттермен құрылады.

2. Магнит өрісі қозғалмалы зарядталған бөлшектер мен денелерге, ток өткізгіштерге, тұрақты магниттерге, тогы бар рамкаға әсер етеді.

Магниттік индукция - магниттік өрістің күштік сипаттамасы.



1.11-сурет. Магниттік индукция векторының бағыты

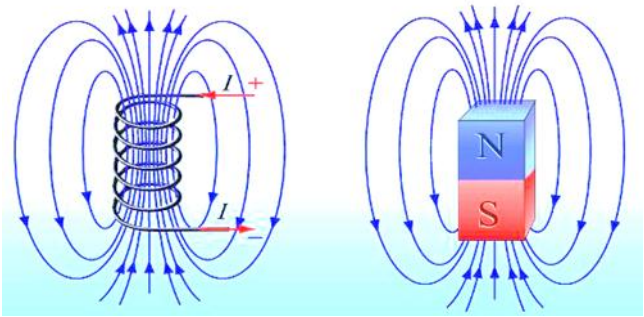
Магнитті индукция векторы әрдайым (1.11-сурет) магнит өрісіндегі еркін айналмалы магниттік меңзер бағдар ретінде бағытталған.

СИ жүйесіндегі магниттік индукцияның өлшем бірлігі $[B] = \frac{Н \cdot м}{А \cdot м^2} = Тл.$

Магнитті индукция сызықтары дегеніміз – оның кез келген нүктесінде магнитті индукция векторы болып табылатын сызықтар (1.12-сурет).

1.12-сурет. Магнит өрісінің күштік сызығына қатысты магниттік индукция векторының бағыты

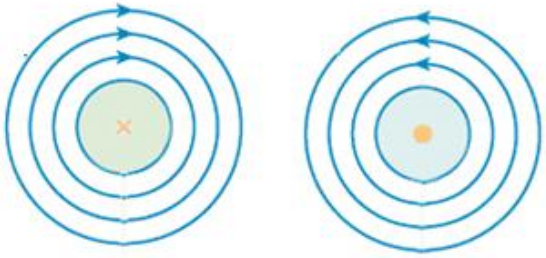
Біртекті магнит өрісі дегеніміз – оның кез келген нүктесінде магниттік индукция векторы көлемі мен бағыты бойынша өзгермеген магнит өрісі; жазық конденсатор пластиналарының арасында, соленоид немесе жолақты магнит ішінде байқалады (1.13-сурет).



а) б)

1.13-сурет. Соленоидтің магнит өрісі а) жолақты магнит б)

Біртекті емес магнит өрісі – өрістің әртүрлі нүктеде орналасқан магнит меңзеріне әсер ететін күш модуль бойынша да, бағыты бойынша да әртүрлі болуы мүмкін магнит өрісі. Біртекті емес магнит өрісі иілген, олардың тығыздығы бір нүктеден екінші нүктеге өзгереді (1.14-сурет).



1.14-сурет. Тогы бар тура өткізгіштің магниттік өрісі: мұнда а) - өткізгіштегі ток бағыты бізге қарағанда табақ жазықтығына перпендикуляр б) - өткізгіштегі ток бағыты бізден қарағанда табақ жазықтығына перпендикуляр.

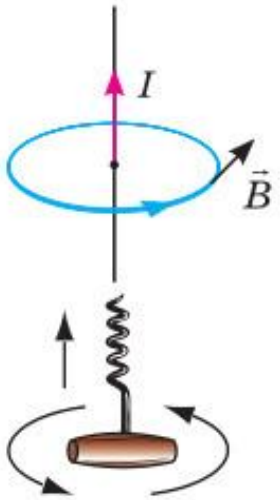
Магнитті индукция сызықтарының қасиеттері:

- бағыты бар;
- үздіксіз;
- тұйықталған;
- қиылыспайды;
- олардың тығыздығына байланысты магнитті индукцияның шамасын анықтайды.

Магниттік индукция сызықтарының бағыты – «қол бұрғы» ережесі бойынша немесе оң қолдың ережесі бойынша анықталады.

«Қол бұрғы» (токпен тура өткізгіш үшін): Егер қол бұрғының үдемелі қозғалысының бағыты өткізгіштегі токтың бағытына сәйкес келсе, қол

бұрғының тұтқасының айналу бағыты **токтың магниттік өрісі сызығының** бағытына сәйкес келеді (1.15-сурет).



1.15-сурет. «Қол бұрғы» ережесі

«Оң қолдың» ережесі (соленоид ішіндегі магниттік сызықтардың бағытын анықтау үшін): Егер соленоидты оң қолдың алақанымен төрт саусақтың орамдағы ток бойымен бағытталатындай етіп ұстап алсаңыз, онда артта қалған үлкен саусақ соленоид ішіндегі магниттік өріс сызықтарының бағытын көрсетеді (1.16-сурет).

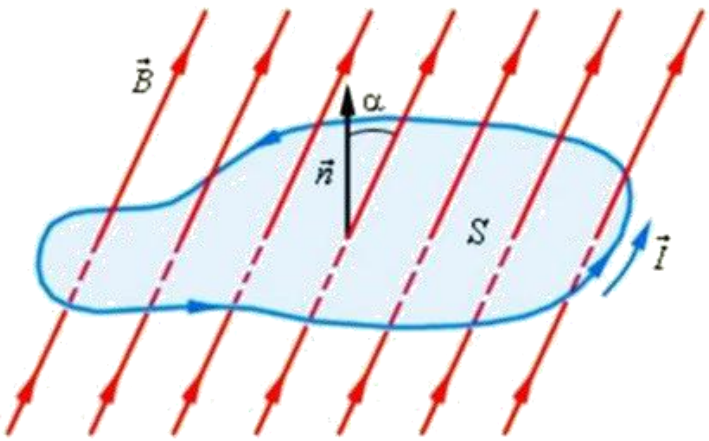
1.16-сурет. «Оң қолдың» ережесі соленоид ішіндегі магниттік сызықтардың бағытын анықтау үшін

Магнит ағымы

Егер кеңістікте кейбір s бетін белгілесе, онда магнит ағыны осы бет арқылы өрнек түрінде анықталады

$$\Phi = \int_s B\cos\beta ds = \int_s Bds\,, \qquad (1.8)$$

мұнда ds - вектор сан жағынан ds беткейге тең және осы бетке бағытталған нормалі бар (1.17-сурет).



1.17-сурет. Белгіленген беткейдегі магнит ағыны

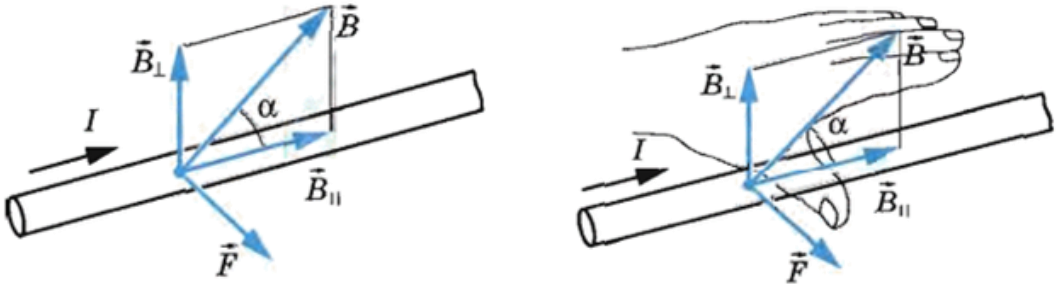
Өрнектен, магнит ағыны кейбір беткей арқылы магнитті индукция векторының ағыны болып табылатыны байқалады.

Магнитті ағынның өлшем бірлігі – **Вебер (1 Вб).**

Ампер күші дегеніміз – магнит өрісі тогы бар өткізгішке әсер ететін күш.

$$F_A = I \cdot B \cdot \Delta l \sin\alpha\,, \qquad (1.9)$$

мұнда I- ток күші;
B- магнитті индукция;
Δl- сым ұзындығы.



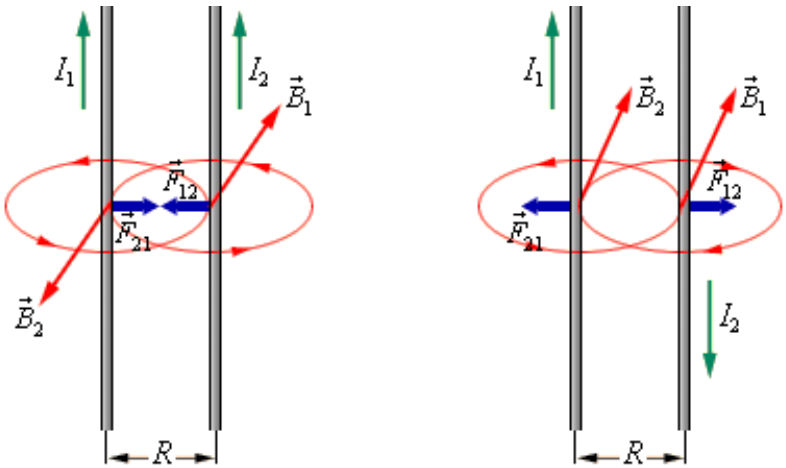
1.18-сурет. Ампер күшін анықтау

Ампер күшінің модулі өткізгіштегі ток күшінің көбейтіндісіне магниттік индукцияның векторы модуліне, өткізгіш ұзындығына және магнит индукциясы векторы және өткізгіштегі ток бағыты арасындағы бұрыш синусына тең.

Егер магнит индукциясының векторы өткізгішке перпендикуляр болса, Ампер күші максимальды болады.

Егер магнит индукциясының векторы өткізгішке параллель болса, онда магнит өрісі токпен өткізгішке ешқандай әсер етпейді, яғни Ампер күші нөлге тең.

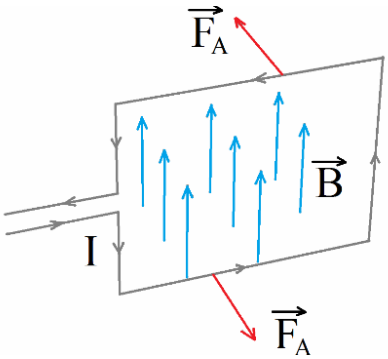
Ампер күшінің бағыты «сол» қолдың ережесі бойынша анықталады (1.18. және 1.19-суреттер): Егер сол қолды перпендикулярлы өткізгішке магниттік индукция векторының құрамдас бөлігі алақанға кіретіндей етіп орналастырса, ал 4 созылған саусақтар ток бағыты бойынша бағытталса, онда 90 градусқа бүгілген үлкен саусақ токпен өткізгішке әрекет ететін күш бағытын көрсетеді.



1.19-сурет. Тогы бар параллель өткізгіштер үшін Ампер күшін анықтау

Тогы бар рамкағамагнитөрісініңәрекеті

Біртекті магнит өрісі рамканы бағыттайды (яғни айналмалы момент түзіледі және рамка магнит индукциясының векторы рамка жазықтығына перпендикуляр болатын жағдайға бұрылады). Бұл принцип электрқозғалтқыштардың жұмысын түсіндіруге негізделген (1.20-сурет).



1.20-сурет. Магнит өрісіндегі тогы бар рамка

Бақылау сұрақтары:

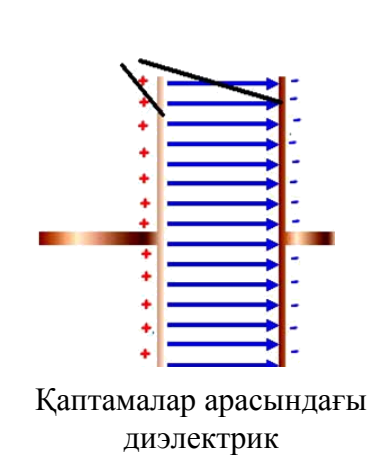
1. Оң қолдың ережесі қай бағытты анықтау үшін қолданылады?
2. Қол бұрғының үдемелі қозғалысы қандай вектордың бағытына сәйкес келеді?
3. Магнит және электр өрістерінің негізгі сипаттамаларын атаңыз.
4. Магнит өрісінің әсерін түсіндіріңіз: рамкаға токпен, параллель өткізгіштер токпен?

1.3. Электр тізбектерінің негізгі заңдары және қасиеттері

1.3.1. Конденсатор. Электрсыйымдылық. Конденсаторлардың қосылуы

Еркін түрдегі екі металл пластинадан тұратын, диэлектрикпен бөлінген жүйе **конденсатор** деп аталады (1.21-сурет).

Егер өткізгіштерге шамасы бойынша бірдей, бірақ белгісі бойынша қарама-қарсы (+Q және -Q) заряд берсе, онда өткізгіштердің арасында U пайда болады. Q неғұрлым көп болса, соғұрлым U болады, және керісінше => $C = \frac{Q}{U}$



1.21-сурет. Конденсатор сұлбасы

Тұрақты сыйымдылық Айнымалы сыйымдылық

1.22-сурет. Сұлбадағы белгіленуі

Электр сұлбасында конденсатордың тұрақты және айнымалы сыйымдылығы болады, олар сұлбада да белгіленеді (1.22-сурет). Конденсатордың сыйымдылығы – заряд пен кернеу арасындағы тепе-теңдік коэффициенті. Сыйымдылықтың өлшем бірлігі: $[C] = \left[\frac{Кл}{В}\right]$, [Фарад] 1пФ=$10^{-12}$Ф; 1мкФ=$10^{-6}$Ф.

Диэлектриктің атауына байланысты конденсатордың қаптамалары арасында конденсаторлардың атауы болады, яғни олардың түрлері: қағаз, слюдалы, керамикалық, электролиттік және т.б.

Сыйымдылығы тұрақты конденсатор **тұрақты сыйымдылық конден саторы** деп аталады.

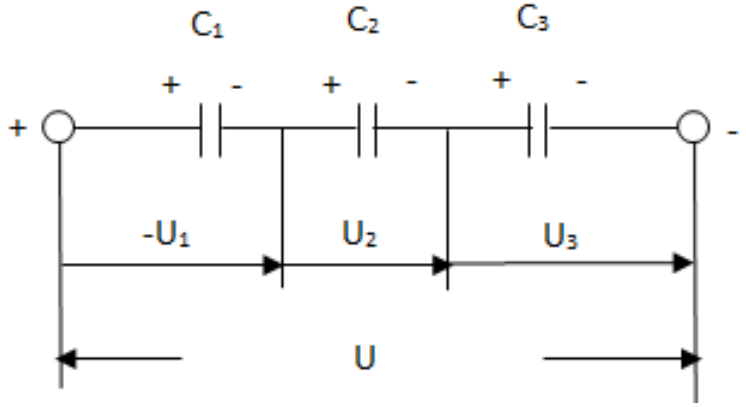
Құрамы: олардың арасында парафинирленген қағаз немесе слюдалы қабаты бар жұқа металл (алюминий) табақтар.

Сыйымдылықты ұлғайту үшін қалайыдан істелген бірнеше табақ + парафинирленген қағаз қолданылады.

Радиотехникада электролиттік конденсаторлар: сұйық және құрғақ қолданылады.

Сұйық конденсаторлар – алюминий оксидті пластинаны қоспаларымен бор қышқылының ерітіндісінен тұратын электролит құйылатын металл корпустың ішіне орналастырады.

Конденсаторлардың тізбекті қосылысы (1.23-сурет).



1.23-сурет. ҮШ конденсатордың тізбекті қосылысы

Негізгі параметрлер:

1) $Q_1=Q_2=Q_3$ (электростатикалық индукция салдарынан);

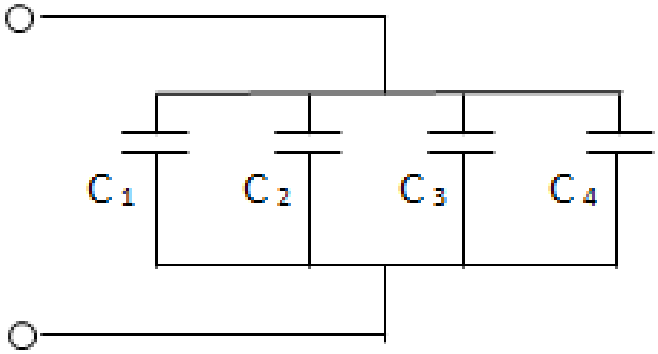
2) $U_1=\frac{Q}{C_1}$; $U_2=\frac{Q}{C_2}$; $U_3=\frac{Q}{C_3}$, ал жалпы кернеу $U=U_1+U_2+U_3$=>

=> $\frac{Q}{C}=\frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}+\frac{Q}{C_3}$ => $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$.

Конденсаторларды тізбектей қосқан кезде жалпы сыйымдылықтың кері шамасы жекелеген конденсаторлардың кері шамаларының жиынтығына тең.

$$C=\frac{C_1\cdot C_2\cdot C_3}{C_1C_2+C_2C_3+C_1C_3}; \qquad U_1C_1=U_2C_2. \qquad \boxed{\frac{U_1}{U_2}=\frac{C_2}{C_1}}$$

Конденсаторлардың параллель қосылысы (1.24-сурет).



1.24-сурет. Төрт конденсаторды параллель қосу

Негізгі параметрлер:

1) $U_1=U_2=U_3=U_4=U$;

2) $Q_1 = C_1 \cdot U; Q_2 = C_2 \cdot U;\ \ Q_3 = C_3 \cdot U;\ \ Q_4 = C_4 \cdot U;$

3) $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4;$

4) $\frac{C}{U} = \frac{C_1}{U_1} + \frac{C_2}{U_2} + \frac{C_3}{U_3} + \frac{C_4}{U_4}$;

$$\boxed{\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2}}$$

5) $C=C_1+C_2+C_3+C_4$.

Егер тізбекте n-бірдей конденсаторлар болса, онда конденсаторлардың сыйымдылығы мына формула бойынша анықталады:

1) $C = \frac{Cn}{n}$ - тізбекті қосылу;

2) $C = C_n \cdot n$ - параллель қосылу.

1.3.2. Электр тогы. Ом заңы. Кедергі

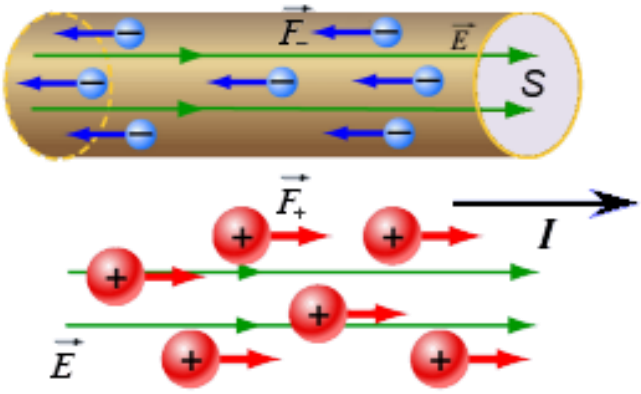
Электр тогы және оның тығыздығы

Электр тогының өткізгіште болу шарттары:

1)$Q_1 > Q_2$;

2) $\varphi_1 > \varphi_2$;

3) $U = \varphi_1 - \varphi_2$.



1.25-сурет. Электр тогының әсерінен оң және теріс зарядтардың қозғалысы

Электр тогы – электр зарядтарының өткізгіш бойынша бағытталған қозғалысы (1.25-сурет.).

Өткізгіште үздіксіз электр тогының болуы үшін:

А) потенциалдардың тұрақты айырмасы болуы қажет,

Б) өткізгіште еркін заряд тасушылардың болуы.

Электр тогының бағыты ретінде шартты түрде өткізгіштегі оң зарядтың қозғалыс бағыты саналады (шарты тарихи қалыптасқан).

Электр тогының көздері: гальваникалық элементтер, аккумуляторлар, генераторлар.

Уақытпен өзгермейтін ток– **тұрақты ток.**

Электр тогы тұрақты немесе айнымалы болуы мүмкін.

Тұрақты ток – бағыты мен шамасы уақыт бойынша өзгермейтін электр тогы [11].

$$I = \frac{Q}{t} \text{ - тұрақты ток,} \qquad (1.10)$$

мұнда Q – заряд;

t – уақыт.

Өлшем бірлігі Ампер $[I] = \left[\frac{Кл}{c}\right] = [A]$

1 мкА=10^{-6}А; 1 мА=10^{-3}А; 1 кА=10^{3}А

Айнымалы ток – шамасы мен бағыты уақыт ағымымен өзгеретін электр тогы.

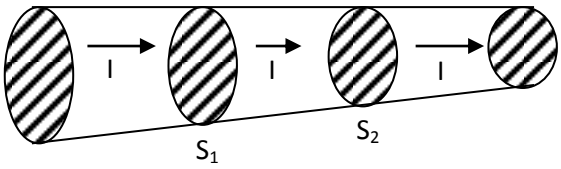
$i = \frac{dq}{dt}$ - айнымалы ток.

Токты өткізетін **құбылыстар**:

1. Жылу;
2. Химиялық;
3. Магниттік.

Тогы бар өткізгіштің стационарлы электр өрісі.

Ток тығыздығы



1.26-сурет. Токты ауданға тарату

$J = \frac{I}{S}$ - токтың бөлінген бетінің ауданына тең бөлінуі кезіндегі токтың қатынасы – **ток тығыздығы** деп аталады (1.26-сурет).

$$I = J_1 \cdot S_1 = J_2 \cdot S_2; \frac{J_1}{J_2} = \frac{S_2}{S_1}, \qquad (1.11)$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2; U = \frac{\mathcal{E}}{e} => \mathcal{E} = U \cdot e, \qquad (1.12)$$

$J = \gamma \cdot \varepsilon$ - Ом заңы бойынша ток тығыздығы үшін, мұнда-металдың меншікті өткізгіштігі.

Тізбек бөлігіне арналған Ом заңы

Ток көзіне қосылған металл өткізгіш тізбектің біртекті бөлігінің мысалы болып табылады.

Неміс физигі Георг Симон Ом метал өткізгіштердегі ток күшінің кернеуге тәуелділігін тәжірибе жүзінде зерттеп, мынадай тұжырымға келді: егер өткізгіштің жағдайы уақыты өтуімен өзгермесе, ал оның температурасы

тұрақты болса, онда әрбір өткізгіш үшін I және U - вольт-амперлік сипаттама арасында бір мәнді байланыс бар.

$$I = \frac{U}{R}\ , \qquad (1.13)$$

мұнда I – ток күші, А;

U – тізбек бөлігіндегі кернеу, В;

R – өткізгіш кедергісі, Ом.

Өткізгіштің электр кедергісі

Бұл өткізгіштің еркін зарядтардың реттелген қозғалысының жылдамдығын азайтатын қасиетін сипаттайтын физикалық скалярлы шама.

Тұрақты қимадағы біртекті металл өткізгіштің кедергісі оның геометриялық өлшемдеріне, пішініне және өткізгіш дайындалған заттарына байланысты болады.

$$R = \rho\frac{l}{S}\,, \qquad (1.14)$$

мұнда *L* – өткізгіш ұзындығы, м;

S – өткізгіштің көлденең қимасының ауданы, м^2;

ρ – өткізгіштің меншікті кедергісі, Ом*м.

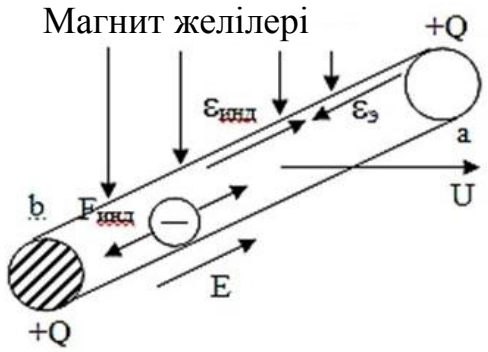
Өткізгіштің меншікті кедергісі ρ заттың түріне және оның жағдайына, мысалы, температураға байланысты. Белгілі бір заттың меншікті кедергісі тұрақты кестелік мәнге ие.

Кедергіге кері шама осы өткізгіштің **электр өткізгіштігі** деп аталады.

$$G = \frac{1}{R}\,, \qquad (1.15)$$

Өткізгіштіктің өлшем бірлігі - Симменс $[G] = \left[\frac{1}{Ом}\right] = [См]$.

Электрқозғаушы күш



1.27- сурет. Магнит өрісінде қозғалыстағы өткізгішке ЭҚК әрекетін түсіндіру

$$\varepsilon_{инд} = \frac{F_{инд}}{q}, \qquad (1.16)$$

мұнда $F_{инд}$ – күш;

q – заряд;

ЭҚК=Е=$\varepsilon_{инд}$ l.

Сандық ЭҚК ab бөлігіндегі заряд бірлігін жылжыту жұмысына тең (1.28-сурет).

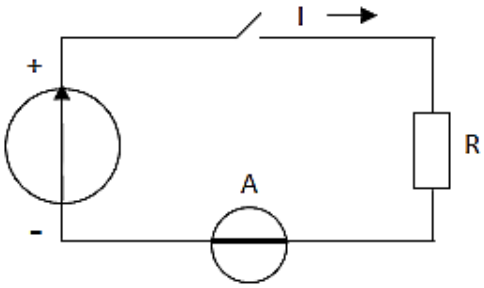
$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \varepsilon_{инд} \cdot l_{ab} = \varepsilon_э \cdot l_{ab} = E \quad , \qquad (1.18)$$

мұнда $\varepsilon_{инд}$- кернеулік;

l_{ab} – бөлік ұзындығы ab.

ТұйықталғантізбеккеарналғанОмзаңы

Электр тізбегін алмастыру сұлбасы – бұл электр тізбегінің жұмысын есептеуге арналған сұлба (1.28 сурет).



1.28-сурет. Электр тізбегін алмастыру сұлбасы

$$E = \frac{A_u}{Q} \qquad (1.19)$$

мұнда A_u – көздің жұмысы;

Q – заряд.

бұдан $A_u = E \cdot Q\left(Q = I \cdot t\right)$ $A_u = E \cdot I \cdot t$ – көздің жұмысы.

Энергияны сақтау заңы бойынша t уақытында көз өндірген электр энергиясы сол уақыт ішінде тізбектің барлық учаскелерінде энергияның басқа түрлеріне түрлендіріледі: сыртқы - қабылдағышта және ішкі - көзде.

W – сыртқы бөлігінде жұмсалған энергия.

$$W = Q \cdot U = U \cdot I \cdot t, \qquad (1.19)$$

$$W_{вт} = W_и - W = (E - U) \cdot I \cdot t = U_{вт} \cdot I \cdot t, \qquad (1.20)$$

мұнда $U_{вт}$ – кернеудің ішкі азаюы

$$U_{вт}=E-U \Rightarrow E=U+U_{вт}, U=I\cdot R \quad U_{вт}=I\cdot r_{вт}\ , \qquad (1.21)$$

$$E = I\cdot R + I\cdot r_{вт} \Rightarrow I = \frac{E}{R+r_{вт}}\ , \qquad (1.232)$$

- тұйық тізбекке арналған Ом заңы

мұнда E – ЭҚК, R – кедергі;

$r_{вт}$ – ішкі кедергі.

Бақылау сұрақтары:

1. Конденсатордың мақсаты.
2. Тізбек бөлігі және тұйық тізбек үшін Ом заңы.
3. Конденсаторлар батареяларының сыйымдылығын арттыру неге тәуелді?
4. Тізбек кедергісінің шамасы қай кезде өзгереді?

1.4. Магнит тізбектерінің негізгі заңдары мен қасиеттері

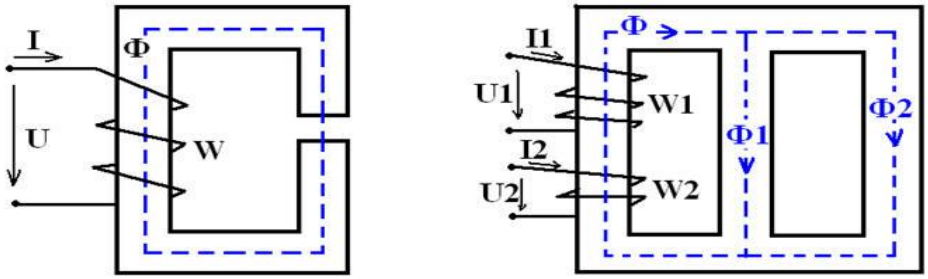
Магнит тізбегі – магнит ағыны тұйықталатын ферромагнитті материалдан жасалған денелердің өзара үйлесімі [11].

Магнит өрісі көздері:

1. Тұрақты магнит;
2. Электр тогы бар катушка.

Магнит тізбектердің жіктелуі

1. Біртекті және біртекті емес (біртекті магнитк тізбегіндегі барлық бөліктер бір материалдан жасалған және магнит сызығының барлық ұзындығында магнит өткізгіштің қимасы бірдей);
2. Тармақталған және тармақталмаған (1.29-сурет);
3. Симметриялы және симметриялы емес.



1.29-сурет. Тармақталған және тармақталмаған магнит тізбегі

Магнит тізбектерін есептеу кезінде электр тізбектерімен толық формальды ұқсастықтар қолданылады.

Сондай-ақ ұқсас математикалық аппаратта Ом заңы, Кирхгоф ережелері және басқа терминдер мен заңдылықтар бар.

Магниттік тізбек және ілеспе математикалық аппарат трансформаторларды, электр машиналарын, магниттік күшейткіштерді есептеу үшін қолданылады.

Магнит тізбегіне есептеу әдістері

Магнит тізбегінее арналған Ом заңы - $\Phi = \frac{F}{R_м}$, (1.23)

мұнда F – магнит өрісіндегі күш;

$R_м$ – магниттік кедергі.

$U_м = H \cdot l \rightarrow H = \frac{U_м}{l}$ екені белгілі ($\mu_a S$-ке көбейтеміз) $\rightarrow H \cdot \mu_a S = \frac{\mu_a S U_м}{l} \rightarrow B \cdot S = \frac{\mu_a S U_м}{l} \rightarrow \Phi = \frac{U_м}{\frac{l}{\mu_a S}} = R_м$.

Магнитті кедергі $R_м = l/(\mu_a S)$ магнитті тізбектің ұзындығына l, көлденең қимасына S және магниттік өткізгіштігіне μ_a тәуелді , өлшем бірлігі - $\frac{1}{Гн}$

Мысалы, айналу саны ω бар катушкамен құрылған Φ магниттік ағыны,

$$\Phi = F/R_м = I\omega / (l/\mu_a S) , \quad (1.24)$$

Магниттік кедергі $R_м$ магнит тізбегінде тізбектің электрлік кедергісіне ұқсас рөл атқарады. Электр тізбегіндегідей кедергінің ұлғаюымен электр тізбегінде ток азаятындай, магниттік кедергінің ұлғаюымен магнит тізбегінде магнит ағыны азаяды.

Бұл ұқсастық электр және магнит тізбектерде орын алатын физикалық процестерге қолданылмайды. Сонымен қатар, магниттік кедергі $R_м$ сызықсыз болып табылады (1.30-сурет). Ол индукция, яғни тізбектің осы бөлігі арқылы өтетін магнитті ағын өзгерген кезде өзгеретін магнитті өткізгіштікке μ_a байланысты. Сондықтан магнит тізбектерді есептеу кезінде магниттеу қисығы, яғни кернеуліктің H тиісті ферромагниттік материал үшін индукциясынан B тәуелділігі қолданылады.

1.2-кесте. Әртүрлі тізбектер үшін заңдардың салыстырмалы кестесі

Электр тогының тізбегі	Магнит тізбегі
Ом заңы I = E/R R = ρl/(S)	**Ом заңы** Φ = F/$R_м$ $R_м$ = l/(μ_aS)
Кирхгоф заңы 1. $\sum I = 0$ 2. $\sum E = \sum I \cdot R$	**Кирхгоф заңы** 1. $\sum \Phi = 0$ 2. $\sum F = \sum I \cdot \omega = \sum H \cdot l$

Ауаның магнитті тізбегі шағын магнитті ағын жасайды, себебі ауа үлкен магнитті кедергіге ие. Магнит ағынын ұлғайту үшін магнит тізбегінің құрамына ферромагнитті материалдар енгізіледі.

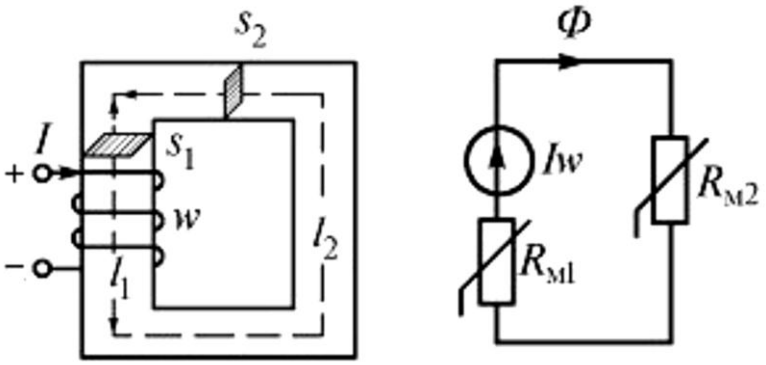
Мысалы: $l = 100$ мм – өзекше ұзындығы $\mu = 1000$;

$\delta = 1$ мм - ауа саңылауы ұзындығы $\mu = 1$.

$$R_{м1} = l/(\mu_a S), \tag{1.25}$$

$$R_{м2} = \delta/(\mu_o S), \tag{1.26}$$

$$\frac{R_{м2}}{R_{м1}} = \frac{\delta}{\mu_a S} = \frac{\mu_a S}{l} = \frac{1000}{100} = 10\ , \tag{1.27}$$



1.30-сурет. Тармақталмаған магниттік тізбек және алмастыру сұлбасы

Бақылау сұрақтары:

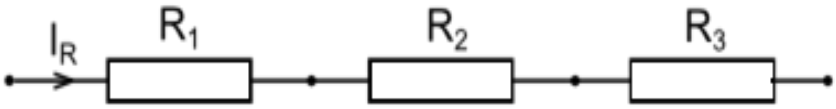
1. Магнит тізбегі үшін Ом заңын атаңыз
2. Магнит тізбектің магниттік кедергісі неге байланысты?
3. Магнит тізбектерінің жіктелуін атаңыз.

1.5. Тұрақты және айнымалы ток тізбектерінің ерекшеліктері

1.5.1. Тұрақты ток тізбектерінің ерекшеліктері

Резисторлардың қосылуы

Параллель қосылу дегеніміз – екі немесе одан да көп резисторлардың тізбек түріндегі қосылысы, онда әрбір жеке резистор жеке екінші резистормен бір нүктеде ғана қосылады (1.31-сурет).



1.31-сурет. Резисторлардың тізбектей қосылуы

Жалпы кедергі $R_{общ}$

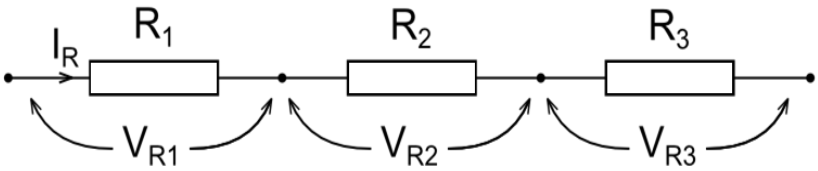
Мұндай қосылыстарда барлық резистордан бір ғана электр тогы өтеді. Электр тізбегінің аталған бөлігінде неғұрлым көп элемент болса, ол арқылы ток соғұрлым «қиын» ағады. Осыдан барып резисторлардың тізбектей қосылуы кезінде олардың жалпы кедергісі артады және барлық кедергілер сомасының қосындасына тең.

$$R_{общ} = R_1 + R_2 + R_3 , \qquad (1.28)$$

Тізбектей қосу кезіндегі кернеу

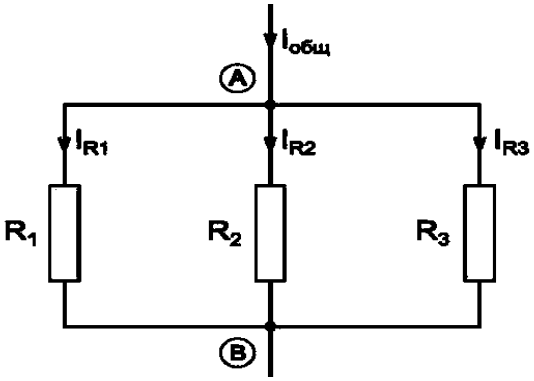
Тізбектей қосу кезіндегі кернеу Ом заңына сәйкес әрбір резисторға таратылады:

$$U_{Rn} = I_{Rn} \cdot R_n , \qquad (1.29)$$



Яғни, резистор кедергісі неғұрлым көп болса, оған соғұрлым көп кедергі түседі.

Параллель қосылу – алдымен барлық резисторлардың бастапқы ұшы бір ортақ нүктеге (А), ал соңғы ұштары екінші ортақ нүктеге (В) жалғанған қосылу (1.32-сурет).



1.32-сурет. Резисторларды параллель қосу

Жалпы кедергі $R_{общ}$

Бұл қосылыста, әрбір резистор арқылы жеке ток ағады. Бұл токтың күші резистордың кедергісіне кері пропорционалды болады. Нәтижесінде электр тізбегінің осындай бөлігінің жалпы өткізгіштігі артады, ал жалпы кедергі өз кезегінде азаяды.

Осылайша, резисторларды әртүрлі кедергімен параллель жалғағанда, жалпы кедергі әрқашан ең кішкентай жеке резистордың мәнінен аз болады.

Резисторларды параллель жалғау кезіндегі жалпы өткізгіштіктің формуласы:

$$G_{общ} = \frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}, \qquad (1.30)$$

Резисторларды параллель жалғау кезіндегі эквивалентті жалпы кедергінің формуласы:

$$R_{общ} = \frac{1}{G_{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}, \qquad (1.31)$$

Екі бірдей резисторлар үшін жалпы қарсылық бір жеке резистордың жартысына тең болады:

$$R_{общ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \qquad (1.32)$$

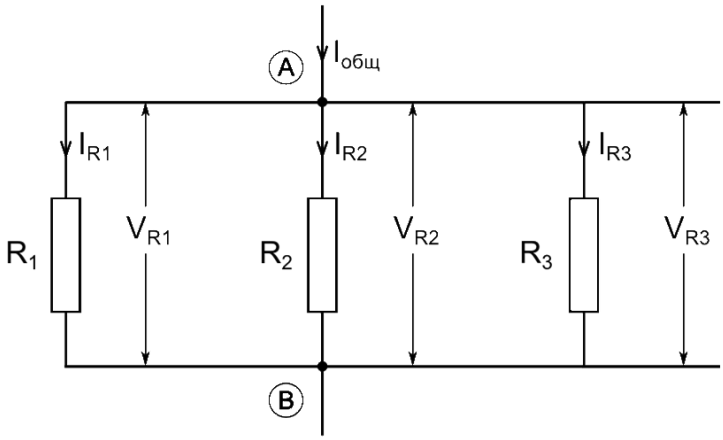
Тиісінше, n бірдей резисторлар үшін жалпы қарсылық n-ге бөлінген бір резистордың мәніне тең болады.

$$R_{общ} = \frac{R^n}{R^{n-1}} = \frac{R}{N}, \qquad (1.33)$$

мұнда n –резисторлар саны.

Параллель қосылу кезіндегі кернеу

А және В нүктелері арасындағы кернеу тізбектің барлық учаскесі үшін жалпы кернеу, сондай-ақ әрбір резисторға жеке түсетін кернеу болып табылады (1.33-сурет). Сондықтан параллель қосылған кезде барлық резисторларға бірдей кернеу түседі.



$V_{общ} = V_{AB} = V_{R1} = V_{R2} = V_{R3}$

1.33-сурет. Параллель учаскесіндегі тізбектің кернеуі

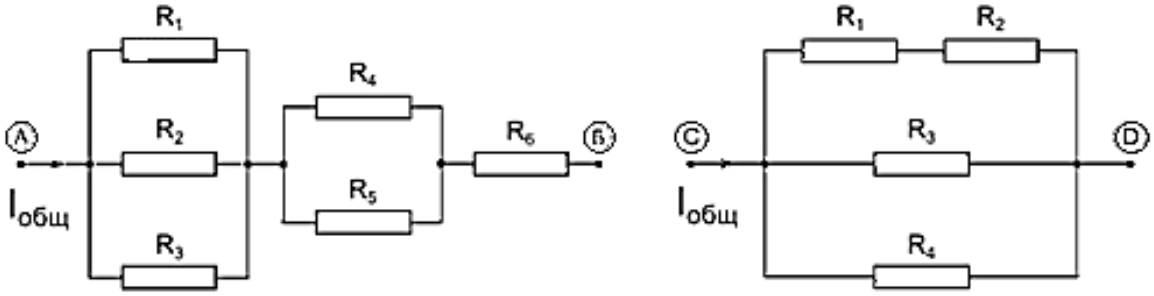
Параллель қосылу кезіндегі электр тогы

Әрбір резистор арқылы күші резистордың кедергісіне кері пропорциональ ток ағады. Белгілі бір резистор арқылы қандай ток ағатынын білу үшін, Ом заңын пайдалану керек:

$$I_{Rn} = \frac{U_{Rn}}{R_n} = \frac{U_{общ}}{R_n}, \qquad (1.34)$$

Резисторлардың аралас қосылуы

Аралас қосылыс деп - резисторлардың жартысы өзара тізбекті, ал жартысы параллель қосылатын тізбек бөлігін айтады (1.34-сурет). Өз кезегінде, аралас қосылыс тізбекті және параллель типті болады.



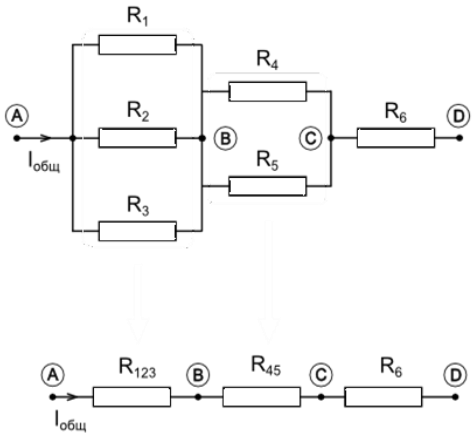
1-сызба 2-сызба

1.34-сурет. Аралас қосылыс:
1-сызба. Тізбек типті; 2-сызба. Параллель типті

Аралас қосылыстың жалпы кедергісін есептеу үшін:

- Тізбекті тек параллель немесе тізбектей қосылысқанда ғана учаскелерге бөледі.
- Әрбір жеке учаске үшін жалпы кедергіні есептеп шығарады.
- Аралас қосылыстың барлық тізбегі үшін жалпы кедергіні есептеп шығарады.

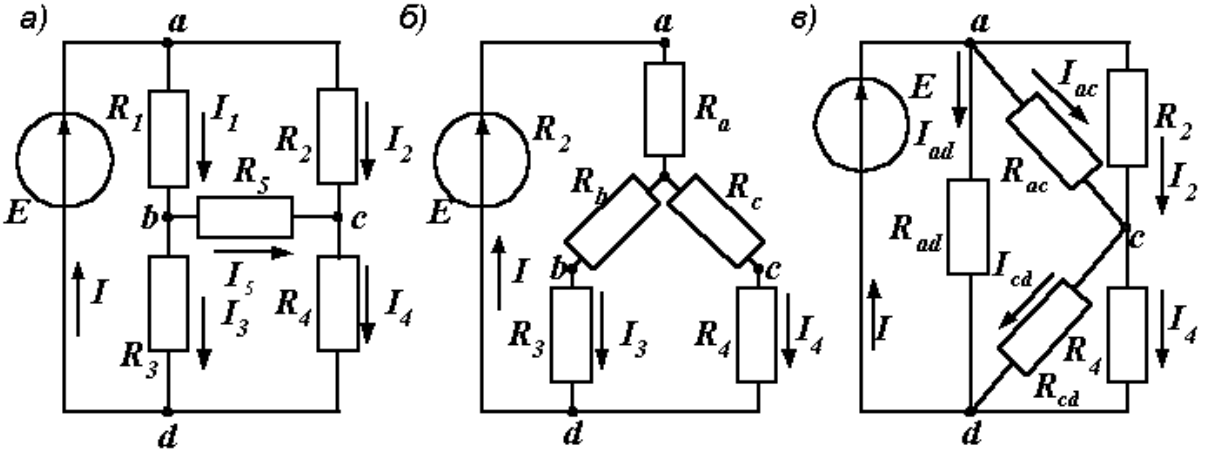
Сұлба үшін төмендегідей болады (1.35-сурет.):



1.35-сурет. Түрлендіруден кейінгі аралас қосылыстың 1-сұлбасы

Кедергі үшбұрышының жұлдызға түрлену әдісі

Кедергі үшбұрышының және жұлдызының эквивалентті түрленуі. 1.36, а-суретте көрсетілген тізбекті есептеу қажет.

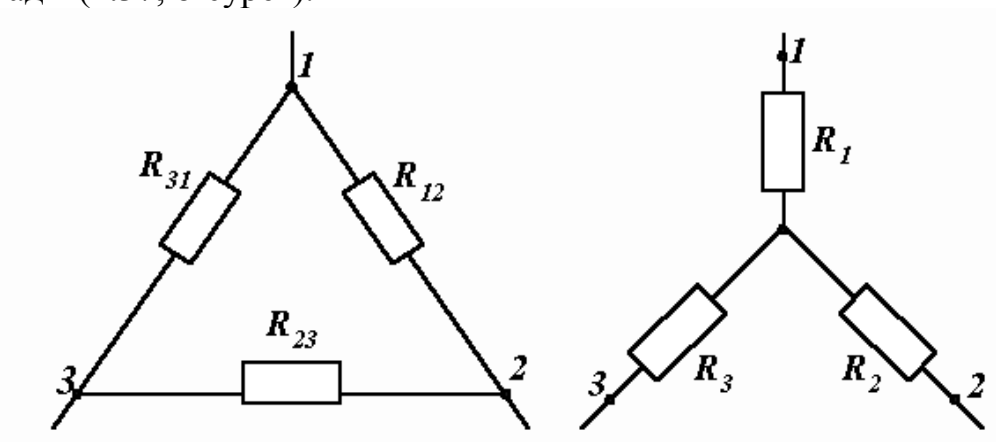


1.36-сурет. Электр тізбегін түрлендіру

Есептеулерді жоғарыда сипатталған әдістердің бірімен жүзеге асыруға болады. Бірақ тізбекте бір ғана қуат көзі бар болғандықтан, Ом заңын пайдалану оңай болар еді. Алайда, тізбектің жалпы кедергісін анықтау әрекеті нәтижесіз болып табылады, өйткені мұнда біз тізбектей де, параллель де қосылған кедергілерді таппаймыз. Тапсырманы шешуде кедергілер үшбұрышын эквивалентті жұлдызға түрлендіру көмектеседі.

Үш түйінмен 1, 2, 3 тұйық контур түзілген үш тармаққа қосылу сұлбасы (1.37, а-сурет) үшбұрыш деп аталады.

Бір ғана ортақ түйіні бар үш тармақтың қосылу сұлбасы – жұлдызша деп аталады (1.37, б-сурет).



1.37-сурет. Үшбұрыш және кедергі жұлдызы

Егер осы сұлбалардың бірін екіншісімен ауыстырсақ, аттас нүктелердің потенциалдары және оларға ағатын токтар өзгермейтін болса, онда сыртқы тізбекте де ешқандай өзгерістер болмайды. Бұл жағдайда сұлбасы баламалы деп аталады.

Эквиваленттіліктің шарты деп келесі теңдеулерді көрсетуге болады:

а) үшбұрышты жұлдызға түрлендірген кезде:

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}, \quad (1.35)$$

$$R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}, \quad (1.36)$$

$$R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}, \quad (1.37)$$

б) жұлдызды үшбұрышқа түрлендірген кезде:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1R_2}{R_3}, \quad (1.38)$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2R_3}{R_1}, \quad (1.39)$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3R_1}{R_2}, \quad (1.40)$$

Келтірілген формулалардың құрылымы жеңіл және оңай есте сақталады.

Мысалы, 1-түйінге қосылған жұлдызының кедергісі R_1 осы түйінге қосылған үшбұрыштың кедергілерінің R_{12} және R_{31} қосындысынан және алынған туындыны үшбұрыштың барлық кедергілерінің сомасынан азайтумен алынады.

Кері түрлендіру кезінде 1 және 2 тораптар арасында жатқан үшбұрышының кедергісі R_{12} кері түрленген кезде осы түйіндерге жалғанған жұлдызының кедергісі R_1 және R_2 жиынтығына тең, жұлдызының үшінші сәулесі кедергісіне R_3 бөлінген олардың туындысы.

1-мысал. 1.36, а-суретте көрсетілген тізбектегі токтарды есептеу, оның параметрлерінің сандық мәндері төмендегідей:

E =660В,

R_1 = 20 Ом,

R_2 = 30 Ом,

R_3 = 5 Ом,

R_4 = 20 Ом,

R_5 = 50 Ом.

а) Шешімі үшбұрыштың жұлдызға түрленуі.

R_1, R_2 және R_5 кедергілерімен үшбұрышты жұлдызға түрлендірілгеннен кейін 1.36, б-суретте көрсетілген сұлбаны аламыз. Сұлбаның түрленбеген бөлігіндегі токтың өзгермегендігіне назар аударамыз (I, I_3 және I_4), өзгеріссіз қалды.

Жұлдыздың кедергісін жоғарыда тұжырымдалған ереже бойынша анықтаймыз:

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2+R_5} = 6 \text{ Ом}, \quad (1.41)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_5}{R_1+R_2+R_5} = 10 \text{ Ом}, \quad (1.42)$$

$$R_c = \frac{R_2 R_5}{R_1+R_2+R_5} = 5 \text{ Ом}, \quad (1.43)$$

Енді тізбектің жалпы кедергісі оңай табылады:

$$R_{общ} = R_a + \frac{(R_b+R_3)+(R_c+R_4)}{R_b+R_3+R_c+R_4} = 16{,}5 \text{ Ом}, \quad (1.44)$$

Көзі бойынша өтетін ток (берілген және түрлендірілген сұлбаларда бірдей) тең:

$$I = \frac{E}{R_{общ}} = 40 \text{ А}, \quad (1.45)$$

Параллель тармақтардағы токтар :

$$I_3 = I\frac{R_c+R_4}{R_c+R_4+R_b+R_3} = 28 \text{ А}, \quad (1.46)$$

$$I_4 = I\frac{R_b+R_3}{R_c+R_4+R_b+R_3} = 12 \text{ А}, \quad (1.47)$$

Бастапқы сұлбаға қайта ораламыз (1.36, а-сурет):

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_1} = \frac{E-I_3R_3}{R_1} = 26 \text{ А}, \quad (1.48)$$

$$I_2 = \frac{U_{ac}}{R_2} = \frac{E-I_4R_4}{R_2} = 14 \text{ А}, \quad (1.49)$$

Бесінші тармақтағы токты Кирхгофтың бірінші заңынан табамыз:

$I_5 = I_1 – I_3 = 26 – 28 = \quad – 2$ А.

Минус белгісі I_5 токтың нақты бағыты сұлбада көрсетілгенге қарама-қарсы екенін көрсетеді.

б) Шешімі жұлдызды үшбұрышқа айналдыру

1.36, а-суретте көрсетілген сұбадағы жұлдызды кедергілерімен R_1, R_5 және R_3 эквивалентті үшбұрышқа түрлендіреміз (1.36, в-сурет).

Үшбұрыштың кедергісін анықтаймыз:

$$R_{ad} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_5}, \quad (1.50)$$

$$R_{ac} = R_1 + R_5 + \frac{R_1 R_5}{R_3}, \quad (1.51)$$

$$R_{cd} = R_3 + R_5 + \frac{R_3 R_5}{R_1}, \quad (1.52)$$

Енді түрлендірілген тізбекті есептейміз.

Алдымен ас және cd учаскелеріндегі эквивалентті кедергілерді табамыз:

$$R' = \frac{R_2 R_{ac}}{R_2 + R_{ac}}, \quad (1.53)$$

$$R'' = \frac{R_4 R_{cd}}{R_4 + R_{cd}}, \quad (1.54)$$

Содан кейін жалпы кедергіні және токтарды анықтаймыз:

$$R_{общ} = \frac{R_{ad}(R' + R'')}{R_{ad} + R' + R''}, \quad (1.55)$$

$$I = \frac{E}{R_{общ}}, \quad (1.56)$$

$$I_2 = \frac{U_{ac}}{R_2} = \frac{E - (I - I_{ad})R''}{R_2}, \quad (1.57)$$

$$I_4 = \frac{U_{ac}}{R_4} = \frac{E - (I - I_{ad})R'}{R_4}, \quad (1.58)$$

Бастапқы сұлбаға қайта ораламыз:

$$I_1 = I - I_2, \quad (1.59)$$

$$I_3 = I - I_4, \quad (1.60)$$

$$I_5 = I_1 - I_3, \quad (1.61)$$

Кирхгоф заңдары

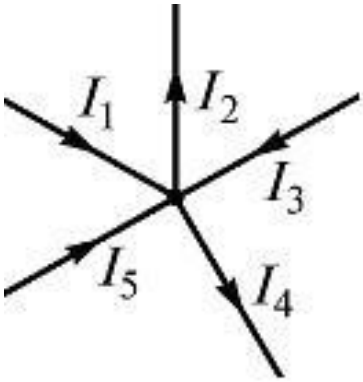
Кирхгоф заңдары еркін түрдегі тармақталған электр тізбектеріндегі токтар мен кернеулер арасындағы қатынастарды белгілейді. Кирхгоф заңдары өзінің әмбебаптығына байланысты электротехникада ерекше

маңызға ие, өйткені кез келген электр техникалық міндеттерді шешуге жарамды.

Кирхгофтың бірінші заңы зарядты сақтау заңынан туындайды. Оған сәйкес, **кез келген торапта түсетін токтардың алгебралық сомасы нөлге тең.**

$$\sum_{t=1}^{n} I_t = 0\ , \qquad (1.62)$$

Мысалы, электр тізбегінің түйіні үшін (1.38-сурет) Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеуді $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$ түрінде жазуға болады



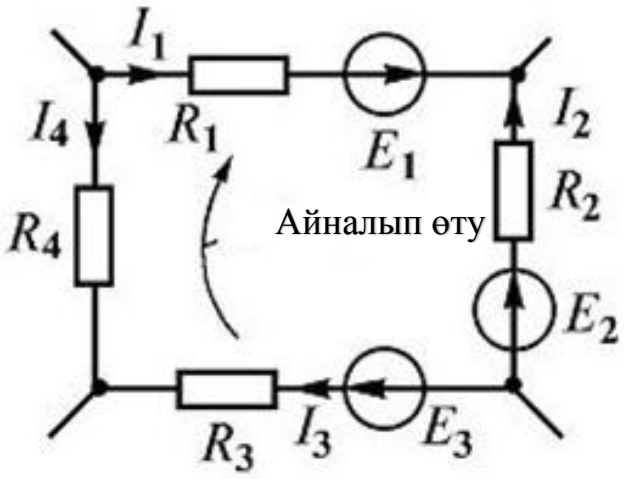
1.38-сурет. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша токтарды анықтауға арналған электр тізбегінің түйіні

Бұл теңдеуде түйінге бағытталған токтар оң деп қабылданды.

Кирхгофтың екінші заңы: күрделі тармақталған тізбекте еркін бөлінген тұйық контурдың жекелеген учаскелерінде кернеу төмендеуінің алгебралық сомасы осы контурдағы ЭҚК алгебралық жиынтығына тең

$$\sum_{t=1}^{k} E_t = \sum_{t=1}^{m} I_i \cdot R_i\ , \qquad (1.63)$$

мұнда k – ЭҚК көздерінің саны;
m – тұйықталған контурдағы тармақтар саны;
Ii, Ri – ток және I-тармақтың кедергісі.



1.39-сурет. Электр тізбегінің контуры

Осылайша, сұлбаның тұйық контуры үшін

$$\mathrm{E}_1 - \mathrm{E}_2 + \mathrm{E}_3 = I_1R_1 - I_2R_2 + I_3R_3 - I_4R_4, \qquad (1.64)$$

Алынған теңдеудің белгілері туралы ескертпелер:

1) ЭҚК оң, егер оның бағыты еркін таңдалған контурдың бағытымен сәйкес келсе;

2) резистордағы кернеудің төмендеуі оң болады, егер онда токтың бағыты айналып өту бағытына сәйкес келсе.

Кирхгоф заңдарының көмегімен тармақталған электр тізбегін есептеу

Әдіс, электр тізбегінің тораптары мен контурлары үшін Кирхгофтың бірінші және екінші заңдары бойынша теңдеулерді құрастырудан және тармақтардағы белгісіз токтарды және олар бойынша кернеуді анықтау мақсатында осы теңдеулерді шешуден тұрады. Сондықтан белгісіз сандар b тармақтарының санына тең, демек, Кирхгофтың бірінші және екінші заңдары бойынша соншама тәуелсіз теңдеулер құрылуы тиіс.

Бірінші заңның негізінде құрастыруға болатын теңдеулер саны тізбек түйіндерінің санына тең, тек (у -1) теңдеулер бір-бірінен тәуелсіз болып табылады.

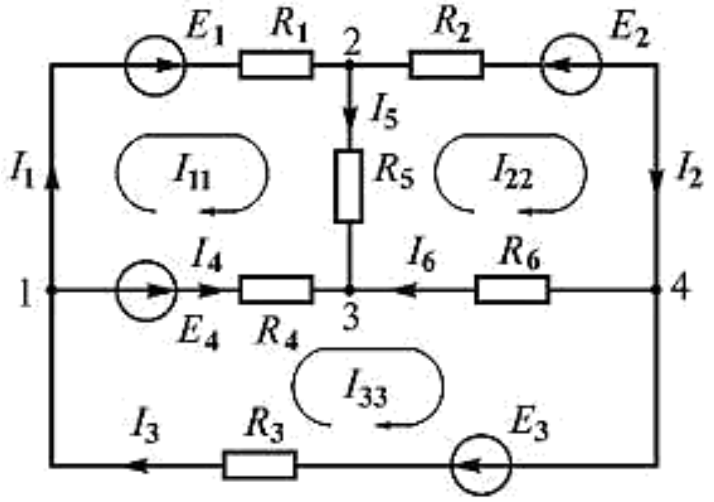
Теңдеулердің тәуелсіздігі түйіндерді таңдаумен қамтамасыз етіледі. Түйіндерді әдетте әрбір келесі түйін аралас түйіндерден кем дегенде бір тармақпен ерекшеленетіндей етіп таңдалады. Қалған теңдеулер тәуелсіз контурлар үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша құрылады, яғни b - (у - 1) = b - у +1 теңдеулерінің саны.

Контур құрамында басқа контурларға кірмейтін кем дегенде бір тармақ болса, онда ол тәуелсіз контур деп аталады.

Электр тізбектері үшін Кирхгоф теңдеулерінің жүйесін құрайық (1.39-сурет). Сұлба төрт түйіннен және алты тармақан тұрады.

Сондықтан Кирхгофтың бірінші заңы бойынша у – 1 = 4 – 1 = 3 теңдеуді, ал $b - y + 1 = 6 - 4 + 1 = 3$ екіншісінде де үш теңдеу құрамыз.

Барлық тармақтардағы токтардың оң бағыттарын ерікті түрде таңдаймыз (1.40-сурет). Контурларды айналып өту бағытын сағат тілі бойынша таңдаймыз.



1.40-сурет. Күрделі электр тізбегі

Кирхгофтың бірінші және екінші заңдары бойынша теңдеулердің қажетті санын құрайық:

$I_1 + I_4 - I_3 = 0;$

$E_1 - E_4 = I_1R_1 + I_5R_5 - I_4R_4;$

$I_2 + I_5 - I_1 = 0;$

$-E_2 = I_2R_2 + I_6R_6 - I_5R_5;$

$I_4 + I_5 + I_6 = 0;$

$E_4 + E_3 = I_4R_4 + I_3R_3 - I_6R_6;$

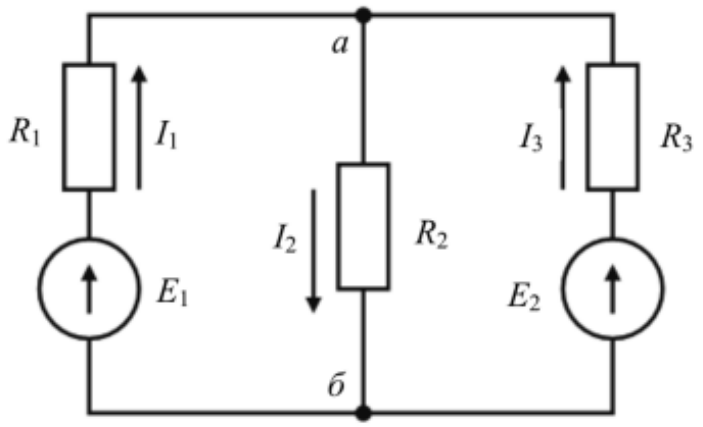
Алынған теңдеулер жүйесі токтарға қатысты есептелінеді. Егер есептеу кезінде тармақта ток минуспен алынған болса, онда оның бағыты қабылданған бағытқа қарама-қарсы.

Практикалық жұмыс. Кирхгоф заңдарының әдістері арқылы күрделі электр тізбектерін есептеу.

Мысал.

Сұлба тармақтарының токтарын анықтау (1.41-сурет), егер E = 24 В, E_2 = 48 В; R_1 = 5 Ом; R_2 = 5 Ом; R_3 = 10 Ом болса.

Шешімі. Тізбек түйіндерін а және б әріптерімен белгілейміз. Токтардың I_1, I_2, I_3 еркін бағыттарын көрсеткіш меңзерімен белгілейміз. Түйінді нүктелер саны n = 2 болғандықтан, Кирхгофтың бірінші заңының бір теңдеуін құрастырамыз ($n - 1 = 2 - 1 = 1$). Мысалы, а $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ түйіні үшін



1.41-сурет. Есептік электр сұлбасы

Жетіспейтін екі теңдеуді Кирхгофтың екінші заңы бойынша құрамыз. Осы теңдеулерді құру кезінде біз ең қарапайым контурларды таңдаймыз.

Сол контур үшін: $E_1 = I_1R_1 + I_2R_2$

Оң контур үшін: $E_2 = I_2R_2 + I_3R_3$

Алынған үш теңдеудің жүйесін шешеміз:

$I_1 + I_2 - I_3 = 0$

$E_1 = I_1R_1 + I_2R_2$

$E_2 = I_2R_2 + I_3R_3$

ЭҚК және кедергілердің сандық шамаларын қою арқылы алатынымыз

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 5I_1 + 10I_3 = 24 \\ 5I_2 + 10I_3 = 48 \end{cases}$$

Теңдеулер жүйелерін анықтаймыз

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 5 & 0 & 10 \\ 0 & 5 & 10 \end{vmatrix} = -125$$

Тармақтар тогы: $I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 24 & 0 & 10 \\ 48 & 5 & 10 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{120}{-125} = -0{,}96\ A$

Минус белгісі ток бағытының / алдын ала таңдалғанға іс жүзінде қарама-қарсы екендігін көрсетеді:

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 5 & 24 & 10 \\ 0 & 48 & 10 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{-480}{-125} = 3.84\ A$$

$$I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 5 & 0 & 24 \\ 0 & 5 & 48 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{-360}{-125} = 2.88\ A$$

Кирхгофтың бірінші заңының теңдеуін қолданып а түйіні үшін жазылған шешімнің дұрыстығын тексереміз:

$I_1 + I_2 - I_3 = 0;$

$-0{,}96 + 3{,}84 - 2{,}88 = 0;$

$0 = 0.$

Контурлық токтар әдісі (КТӘ)

Контурлық ток дегеніміз – осы контурдың барлық тармақтарында бірдей шама. Әдетте есептеулерде олар қос индекстермен белгіленеді, мысалы, I_{11}, I_{22} және т. б.

Белгілі бір тармақтағы **әсерлі ток** контурлық токтардың алгебралық сомасымен анықталады, оған осы тармақ та кіреді. Әсерлі токтарды табу контурлық токтар әдісінің бірінші кезектегі міндеті болып табылады.

Контурлы ЭҚК дегеніміз – осы контурға кіретін барлық ЭҚК сомасы.

Контурдың **өзіндік кедергісі** деп оған кіретін барлық тармақтардың кедергілерінің сомасы аталады.

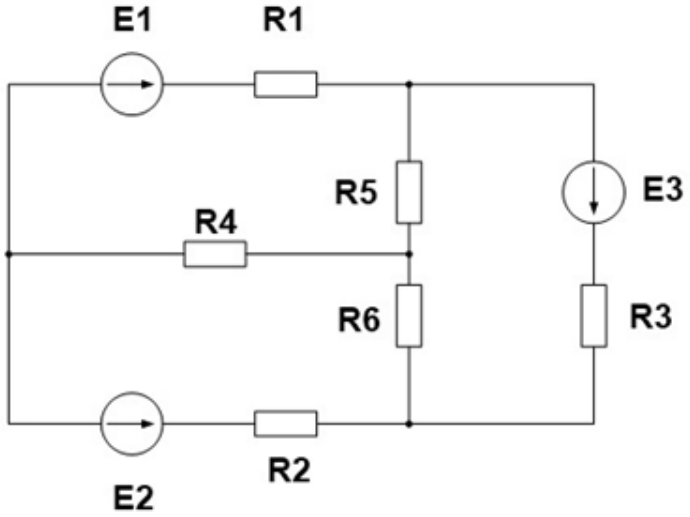
Контурдың **жалпы кедергісі** деп екі контурмен шектес тармақ кедергісі аталады.

Теңдеулер құрастырудың жалпы жоспары:

1. Әсерлі токтардың бағытын таңдау.
2. Тәуелсіз контурларды және олардағы контурлық токтардың бағытын таңдау.
3. Контурлардың өзіндік және ортақ кедергілерін анықтау.
4. Теңдеулер құру және контурлық токтарды табу.
5. Әсерлі токтарды табу.

Теориямен танысқаннан кейін практикаға кірісуді ұсынамыз.

Мысал қарастырайық.



1.42-сурет. Есептік электр сұлбасы

Берілгені:

$E_1 = 80$ В

$E_2 = 50$ В

$E_3 = 60$ В

$R_1 = 10$ Ом

$R_2 = 15$ Ом

$R_3 = 20$ Ом

$R_4 = 25$ Ом

$R_5 = 30$ Ом

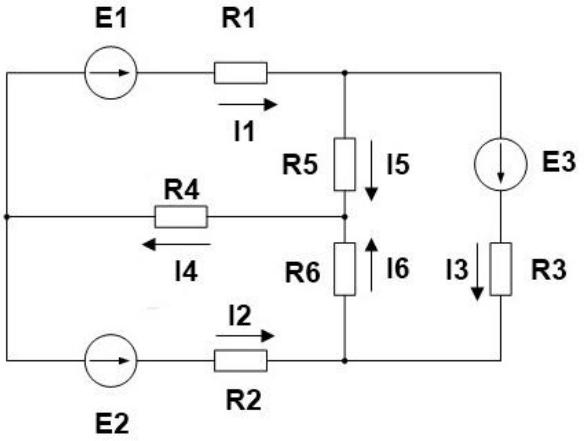
$R_6 = 35$ Ом

Табу:

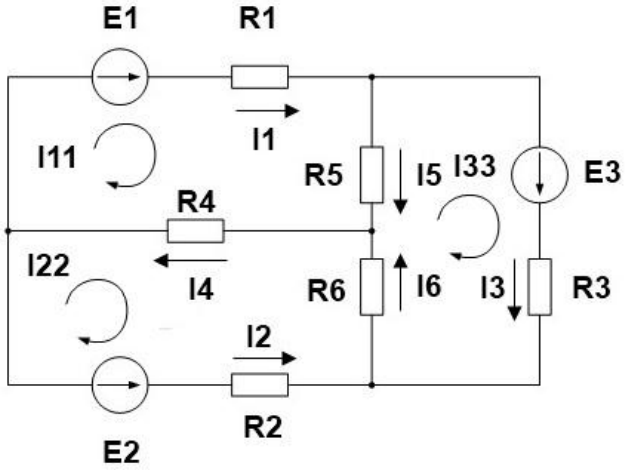
$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$

Барлығын кезең-кезеңмен орындаймыз.

1. I_1-I_6 әсерлі токтардың бағыттарын ерікті таңдаймыз.



2. Үш контурды белгілеп алып, содан кейін I_{11}, I_{22}, I_{33} контурлық токтардың бағытын көрсетеміз. Сағат тілі бойынша бағытты таңдаймыз.



3. Контурдың меншікті кедергісін анықтаймыз. Бұл үшін әрбір контурда кедергіні қосамыз.

$R_{11}=R_1+R_4+R_5=10+25+30=$ 65 Ом.

$R_{22}=R_2+R_4+R_6=15+25+35=$ 75 Ом.

$R_{33}=R_3+R_5+R_6=20+30+35=$ 85 Ом.

Содан кейін жалпы кедергіні анықтаймыз, жалпы кедергіні табу оңай, олар бірден бірнеше контурға тиесілі, мысалы, R4 кедергісі 1-контурға және -2контурға тиесілі. Сондықтан ыңғайлы болу үшін, олар тиесілі контурлардың нөмірлерімен сол кедергілерді белгілейміз.

$R_{12}=R_{21}=R_4=$25 Ом.

$R_{23}=R_{32}=R_6=$35 Ом.

$R_{31}=R_{13}=R_5=$30 Ом.

4. Негізгі кезеңге кірісеміз – контурлық токтардың теңдеулер жүйесін құрайық. Теңдеулердің сол жақ бөлігінде контурдағы кернеудің төмендеуі, ал оң жақта осы контурдағы ЭҚК көздерінікі кіреді.

Бізде үш контур болғандықтан, жүйе үш теңдеуден тұрады. Бірінші контур үшін теңдеу келесідей болады:

$$I_{11} \cdot R_{11} - I_{22} \cdot R_{21} - I_{33} \cdot R_{31} = E_1$$

I_{11} бірінші контур тогын осы контурдың R_{11} меншікті кедергісіне көбейтеміз, сосын R_{21} бірінші және екінші контурларының жалпы кедергісіне көбейтілген I_{22} токты және R_{31} бірінші және үшінші контурының жалпы кедергісіне көбейтілген I_{33} токты аламыз. Бұл шама осы контурдың ЭҚК E_1-ге тең болады. ЭҚК мәнін плюс белгісімен аламыз, өйткені айналып өту бағыты (сағат тілі бойынша) ЭҚК бағытына сәйкес келеді, әйтпесе минус белгісімен алу керек еді.

Сонымен қатар, әрекеттер басқа екі контурмен жасалады және нәтижесінде жүйені аламыз:

$$\begin{cases} I_{11} \cdot R_{11} - I_{22} \cdot R_{21} - I_{33} \cdot R_{31} = E_1 \\ I_{22} \cdot R_{22} - I_{11} \cdot R_{12} - I_{33} \cdot R_{32} = -E_2 \\ I_{33} \cdot R_{33} - I_{11} \cdot R_{13} - I_{22} \cdot R_{23} = E_3 \end{cases}$$

Алынған жүйеге белгілі кедергі мәнін орнатамыз және оны кез келген белгілі тәсілмен шешеміз.

$$\begin{cases} 65I_{11} - 25I_{22} - 30I_{33} = 80 \\ 75I_{22} - 25I_{11} - 35I_{33} = 50 \\ 85I_{33} - 30I_{11} - 35I_{22} = 60 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{11} = 2{,}726 \\ I_{22} = 1{,}264 \\ I_{33} = 2{,}189 \end{cases}$$

5. Соңғы кезеңде нақты токтарды табамыз, ол үшін оларға өрнектер жазу керек.

Контурлық ток тек осы контурға тиесілі әсерлі токқа тең. Яғни, басқаша айтқанда, егер ток тек бір контурда жүрсе, онда ол контурлыға тең.

$$I_1 = I_{11} = 2{,}726$$

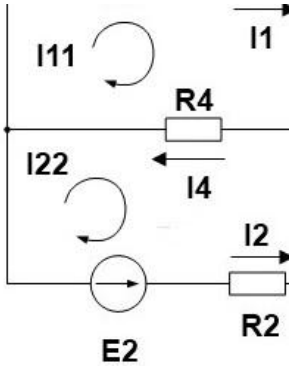
Бірақ, айналып өту бағытын ескеру керек, мысалы, біздің жағдайда I2 тогы бағытпен сәйкес келмейді, сондықтан оны минус белгісімен аламыз.

$$-I_2 = -I_{22} = -1{,}264$$
$$I_3 = I_{33} = 2{,}189$$

Жалпы кедергілер арқылы өтетін токтарды айналудың бағытын ескере отырып, контурлық алгебралық сома ретінде анықтаймыз.

Мысалы, R_4 резисторы арқылы I_4 тогы өтеді, оның бағыты бірінші контурдың айналып өту бағытына сәйкес келеді және екінші контурдың бағытына қарама-қарсы. Демек, ол үшін өрнек мынадай болады:

$$I_4 = I_{11} – I_{22} = 2,726 – 1,264 = 1,462$$



Ал басқалар үшін:

$I_5 = I_{11} – I_{33} = 0,537$

$I_6 = I_{33} – I_{22} = 0,925$

Токтарды қабаттастыру әдісі. Шешу үлгісі

Контурлық токтар әдісімен қатар электр тізбектерін талдау үшін - **қабаттастыру әдісі** қолданылады. Бұл әдіс сызықты жүйелерге ғана қолданылатын қабаттастыру принципіне негізделген.

Қабаттастыру әдісі қарапайым және негізінен күрделі емес электр тізбектері үшін қолданылады.

Оның мәні – тармақтардағы токтар әрбір көзден олардың құрамдастарының алгебралық сомасы ретінде анықталады. Яғни, токтың әрбір көзі өз бөлігін тізбектегі әрбір токқа енгізеді, ал осы токтарды табу үшін барлық құрауыштарды табу және қосу керек. Осылайша, біз бір күрделі тізбектің шешімін бірнеше қарапайым (бір көзі бар) шешімге қисындастырамыз.

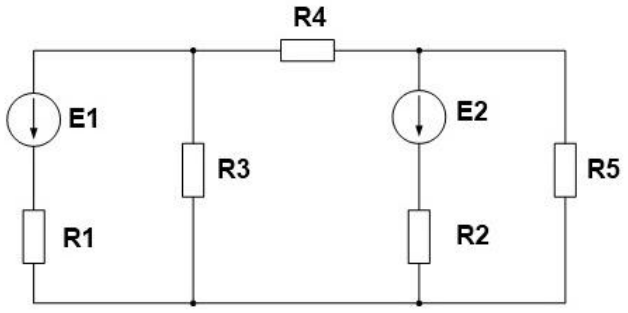
Есептеу тәртібі:

1. ЭҚК бір көзімен жеке сұлбаларды құру, ал қалған көздер алынып тасталады, олардан тек ішкі кедергілері ғана қалады.

2. Жеке сұлбаларда ішінара токтарды анықтау, әдетте бұл оңай, себебі тізбек қарапайым болып келеді.

3. барлық жартылай токтарды алгебралық қосу арқылы бастапқы тізбекте токтарды табу.

Қабаттастыру әдісімен шешу үлгісі

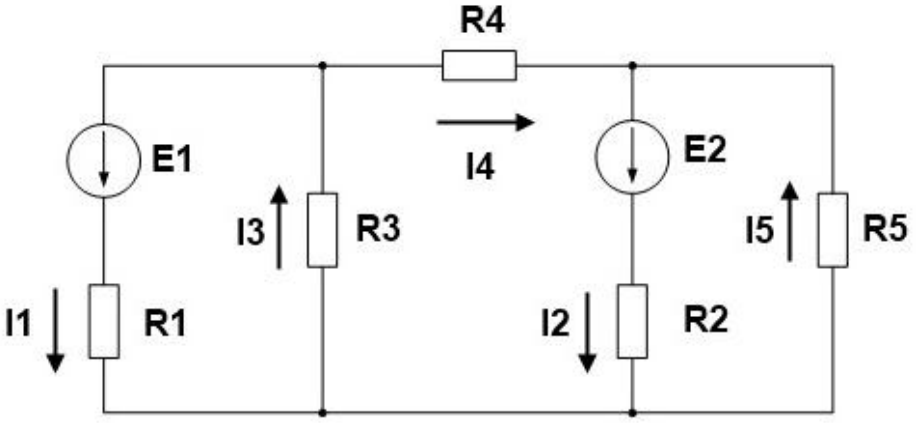


1.43-сурет. Есептік электр сұлбасы

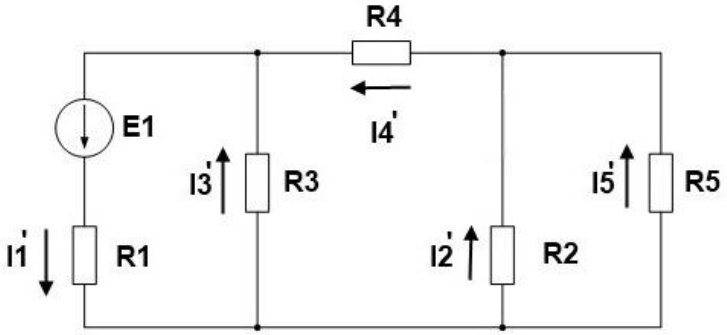
Берілгені:
E1 = 100 В
E2 = 120 В
R1 = 2 Ом
R2 = 3 Ом
R3 = 25 Ом
R4 = 40 Ом
R5 = 20 Ом

Табу:
I - ?

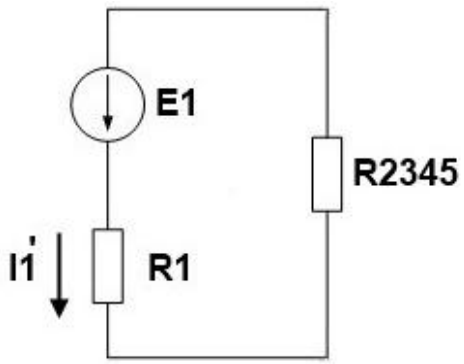
1. Алдымен еркін түрде токтардың бағытын таңдаймыз, егер нәтижесінде қандай да бір ток минус белгісімен шықса, онда осы токтың бағытын қарама-қарсы бағытқа өзгерту қажет.



2. ЭҚК бірінші көзімен жеке сұлба құрамыз және екінші көзді алып тастап ондағы жеке токтарды есептейміз. Ыңғайлы болу үшін токтарды штрихпен белгілейміз.



Ток көзін I_1 табу үшін көздің кедергісі және тізбектің эквивалентті кедергісі бар бір контурға сұлбаны бұрамыз. Эквивалентті кедергіні табумен қиындықтар туындайтын болса, өткізгіштердің қосылу түрлері туралы мақаланы оқып шығуды ұсынамыз.



Толық тізбекке арналған Ом заңы бойынша токты табамыз:

$$I_1^{'} = \frac{E_1}{R_1 \frac{R_3\left(\frac{R_2R_5}{R_2+R_5}+R_4\right)}{R_3+\frac{R_2R_5}{R_2+R_5}+R_4}} = \frac{100}{2+15{,}756} = 5{,}632\ \text{A}$$

R_{2345} кернеуді табамыз:

$$U_{2345} = IR_{2345} = 5{,}632 \cdot 15{,}756 = 88{,}738\ \text{В}$$

Сонда I_3 тогы мынаған тең болады:

$$I_3^{'} = \frac{U_{2345}}{R_3} = 3{,}549\ \text{A}$$

Ал I_4 тогы:

$$I_4^{'} = \frac{U_{2345}}{R_4 + R_{25}} = 2{,}082\ \text{A}$$

R_{25}-ке кернеуді анықтаймыз:

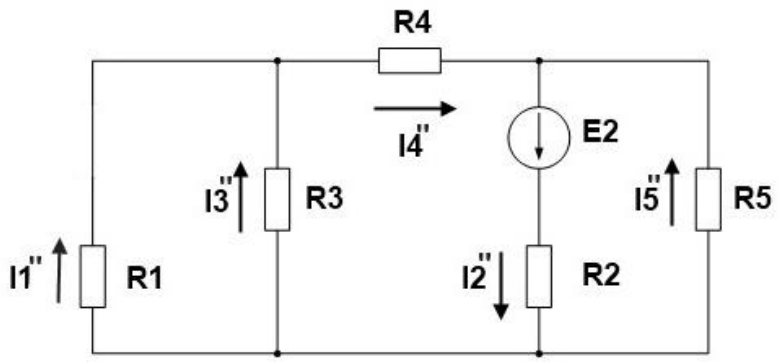
$$U_{25} = I_4 R_{25} = 5{,}43\ \text{В}$$

I_2 және I_5 токтарын табамыз:

$$I_2^{'} = \frac{U_{25}}{R_2} = 1{,}81\ \text{A}$$

$$I_5^{'} = \frac{U_{25}}{R_5} = 0{,}272\ \text{A}$$

3. ЭҚК екінші көзімен жеке сұлба құрамыз:



Дәл осылай екінші ЭҚК-тен ішінара токтарды есептеп шығарамыз:

$I''_1 = 2{,}174$ А

$I''_2 = 7{,}258$ А

$I''_3 = 0{,}174$ А

$I''_4 = 2{,}347$ А

$I''_5 = 4{,}911$ А

4. Бастапқы тізбекте токтарды табамыз, бұл үшін олардың бағытын ескере отырып, ішінара токтарды қосамыз. Егер ішінара токтың бағыты бастапқы токтың бағытымен сәйкес келсе, онда плюс белгісімен, әйтпегенде минус белгісімен аламыз.

$I_1 = I'_1 – I''_1 = 3{,}459$ А

$I_2 = – I'_2 + I''_2 = 5{,}448$ А

$I_3 = I'_3 + I''_3 = 3{,}723$ А

$I_4 = – I'_4 + I''_4 = 0{,}265$ А

$I_5 = I'_5 + I''_5 = 5{,}183$ А

5. Қуат теңгерімінің көмегімен шешімдердің дұрыстығын тексереміз.

$$I_1^2R_1 + I_2^2R_2 + I_3^2R_3 + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 = E_1I_1 + E_2I_2$$

$$999{,}6 \text{ Вт} \approx 999{,}7 \text{ Вт}$$

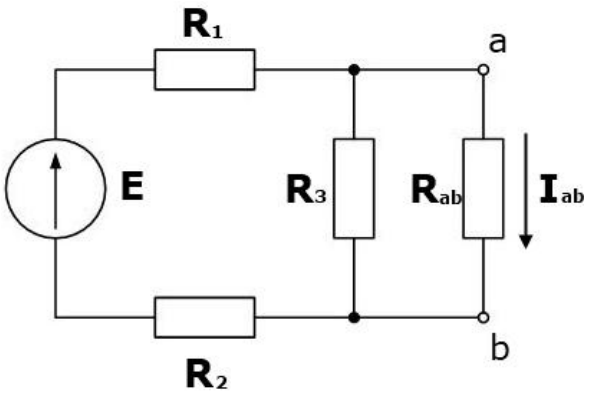
Шағын қателік есептеулерді орындау барысында аралық мәндердің дөңгелектенуімен байланысты.

Эквивалентті генератор әдісі

Электр техникасы бойынша есептерді шешу кезінде, көбінесе бүкіл тізбектің емес, тек бір ғана белгілі бір тармағының жұмыс режимін білу қажет. Мұндай тармақтардың параметрлерін анықтау үшін **эквивалентті генератор әдісі** бар.

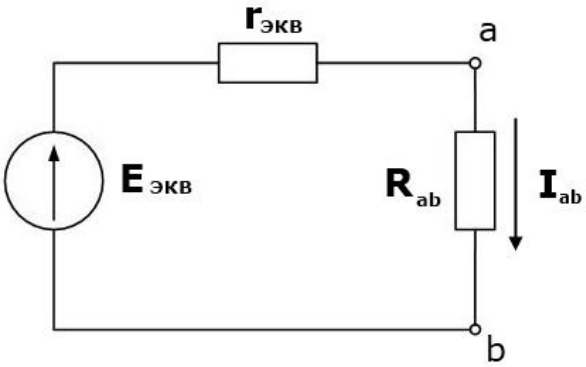
Эквивалентті генератор әдісінің мәні - белгіленген бір тармақта токты табуда, бұл ретте күрделі электр тізбегінің қалған бөлігі оның $r_{экв}$ ішкі кедергісімен эквивалентті ЭҚК $E_{экв}$-ге ауыстырылады. Бұл ретте ЭҚК көзі кіретін тізбектің бір бөлігі эквивалентті генератор немесе белсенді қосполюстік деп аталады, осыдан барып әдістің атауы шығады.

Көрнекілік үшін төменде берілген сұлбаны қарастырайық (1.48-сурет). R_1=5 Ом, R_2=7 Ом, R_3=10 Ом, R_{ab}=3 Ом, E=10 В деп алайық.



1.44-сурет. Есептік электр сұлбасы

Эквивалентті генератор әдісіне сәйкес мына сұлбаны аламыз:

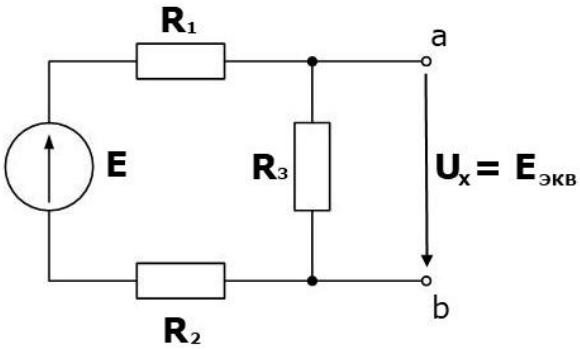


Ізделетін I_{ab} тогы Ом заңы бойынша толық тізбек үшін табылады:

$$I_{ab} = \frac{E_{экв}}{(R_{ab}+r_{экв})}, \qquad (1.65)$$

Токты табу үшін эквивалентті генератор режимдерінің көмегімен $E_{экв}$ және $r_{экв}$ білу керек.

Эквивалентті ЭҚК табу үшін генератордың бос жүріс режимін қарастыру қажет, басқа сөзбен айтқанда, зерттелетін ab тармағын ажырату керек, осылайша генераторды жүктемеден босатамыз, содан кейін ол бос жүріс режимінде жұмыс істейтін болады.

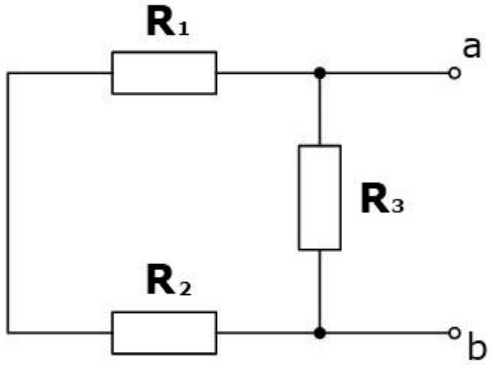


U_x бос жүрістің кернеуі, эквивалентті ЭҚК $E_{экв}$-ке тең болады. Осылай біз $E_{экв}$ таба аламыз:

$$E_{экв} = U_x = IR_3 = \frac{ER_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 10}{5 + 7 + 10} = 4{,}55 \text{ В}$$

Есепті шешудің келесі кезеңі $r_{экв}$ эквивалентті кедергісін табу. Бұл жағдайда R_{ab} кедергісі жоқ генератордың қысқа тұйықталу режимін қолдануға болады, бірақ күрделі сұлбаларда бұл неғұрлым үлкен шамаларға әкелуі мүмкін, сондықтан $r_{экв}$ пассивті қос полюстіктің кіріс кедергісі ретінде табамыз. Пассивті деп ЭҚК көздері жоқ қос полюстік аталады.

Қарапайым сөздермен айтқанда, сыртқы тізбекте ЭҚК көзін алып тастау және тізбектің кедергісін табу керек.



$r_{экв}$ эквивалентті кедергісі мынаған тең:

$$r_{экв} = \frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3} = \frac{(5+7)10}{5+7+10} = 5{,}45 \text{ Ом}.$$

Сонымен, эквивалентті ЭҚК мен кедергіні тауып, біз ab тармағындағы ток күшін таба аламыз:

$$I_{ab} = \frac{E_{экв}}{(R_{ab}+r_{экв})} = \frac{4{,}55}{(3+5{,}45)} = 0{,}54 \text{ А}.$$

Бұл жерде қажетті тармақтардағы ток табылды, демек, есеп **эквивалентті генератор** әдісімен шешілді.

1.5.2. Айнымалы ток тізбектерінің ерекшеліктері

Айнымалы ток деп уақытпен өзгеретін электр тогын айтады.

Айнымалы токтың мәні, сондай-ақ кернеу мен ЭҚК кез келген t уақытта **жылдам мән** деп аталады, кіші әріптермен белгіленеді: ток күші i, кернеу u, ЭҚК e.

Т-кезең - уақыттың ең аз аралығы, уақыт аяқталғаннан кейін мерзімді шаманың лездік мәндері сол ретпен қайталанады. Кезеңнің өлшем бірлігі [T] = [c].

$$f = \frac{1}{T}, \quad [f] = \left[\frac{1}{c} = \text{Гц}\right], \qquad (1.55)$$

- кезеңге кері шама – жиілік.

Халықаралық электр комиссиясы 50-ден 60 Гц-ға дейінгі стандартты жиіліктерді қолданады. ТМД-да - 50Гц.

Электротехникада айнымалы ток деп синусоидалық өзгеретін ток, кернеу, ЭДС түсініледі.

$$i = I_{max}\sin(\omega t + \psi_1), \quad (1.67)$$

$$u = U_{max}\sin(\omega t + \psi_2), \quad (1.68)$$

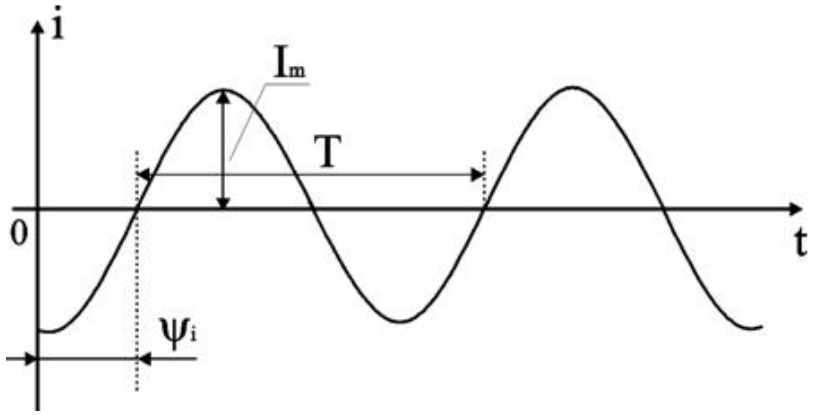
$$e = E_{max}\sin(\omega t + \psi_3), \quad (1.69)$$

мұнда I_{max}, U_{max}, E_{max} - кезең ішіндегі ең жылдам мән – **амплитудалық мән:**

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, [\omega] = \left[\frac{рад}{с}\right], \quad (1.70)$$

- **бұрыштық жиілік** (шамасы, синусқа пропорционалды ЭҚС, i, u жылдам мәндері өзгереді).

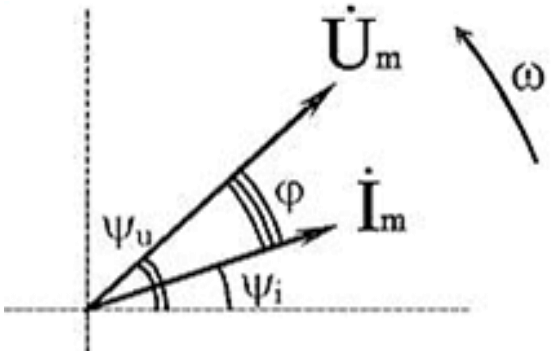
ψ_1, ψ_2, ψ_3 – ***токтың, кернеудің,*** ЭҚК-нің бастапқы фазасы.



1.45-сурет. Синусоидалық шаманың графикалық бейнесі

Графикалық синусоидалық шамалар айналмалы вектор түрінде бейнеленеді (1.45-сурет). Айналу жиілігі ω сағат тіліне қарсы айналу болжанады. Берілген масштабтағы вектордың шамасы амплитудалық мәнді білдіреді. Тік оське проекция - шаманың жылдам мәні.

Бір жиіліктегі синусоидалық шамаларды (ток, кернеу, ЭҚК) бейнелейтін векторлар жиынтығы векторлық диаграмма деп аталады (1.50 сурет).



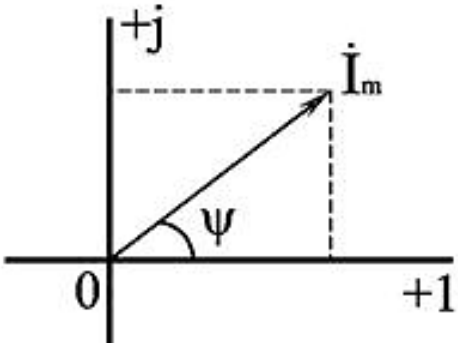
1.46-сурет. Векторлық диаграмма

Векторлық шамалар тиісті айнымалылардың нүктесімен белгіленеді.

Векторлық диаграммаларды пайдалану айнымалы ток тізбектерін талдауды айтарлықтай жеңілдетуге, оны қарапайым және көрнекі етуге мүмкіндік береді.

Айнымалы ток тізбектерін талдаудың графикалық-аналитикалық тәсілінің негізінде векторлық диаграммаларын құру жатыр.

Синусоидалды ток $i = I_{max}\sin(\omega t + \psi_1)$ комплексті жазықтықта $\acute{I}_{max}$ кешенді санымен ұсынуға болады (1.47-сурет).



1.47-сурет. Кешенді жазықтықтағы ток шамасы

$$\acute{I}_{max} = I_{max}e^{j\psi}, \qquad (1.71)$$

мұнда I_m токтың амплитудасы – модуль, ал бастапқы фаза болып табылатын ψ бұрышы – кешенді токтың аргументі.

Кешенді форманы қолдану кешенді сандардың алгебралық операциялары векторларына геометриялық операцияларды алмастыруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде айнымалы ток тізбектерін талдауға тұрақты ток тізбектерін талдаудың барлық әдістері қолданылуы мүмкін.

№1 тапсырма

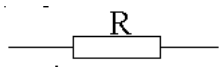
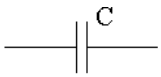
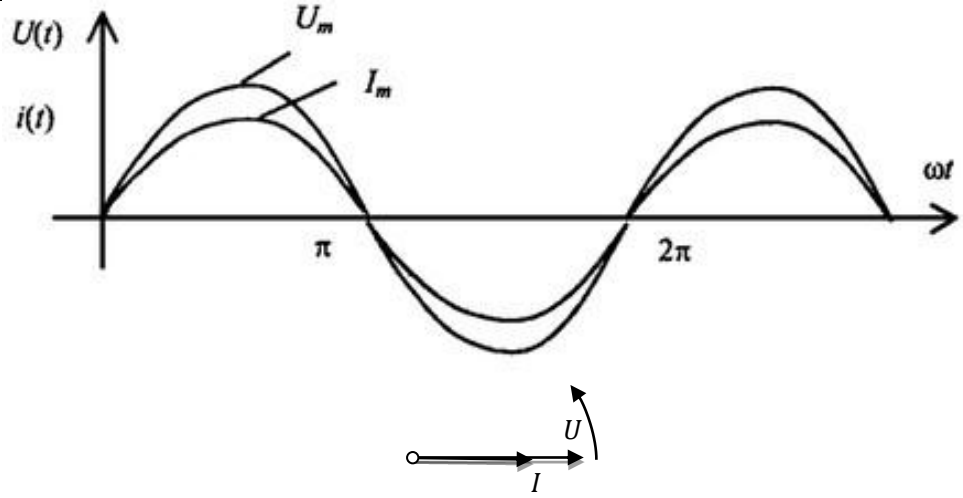
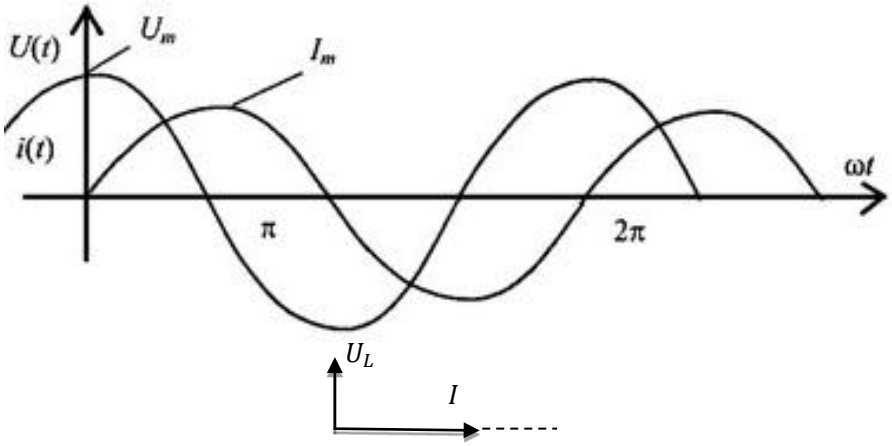
Айнымалы токтың бұрыштық жиілігі 500 рад/сек тең, T=?

№2 тапсырма

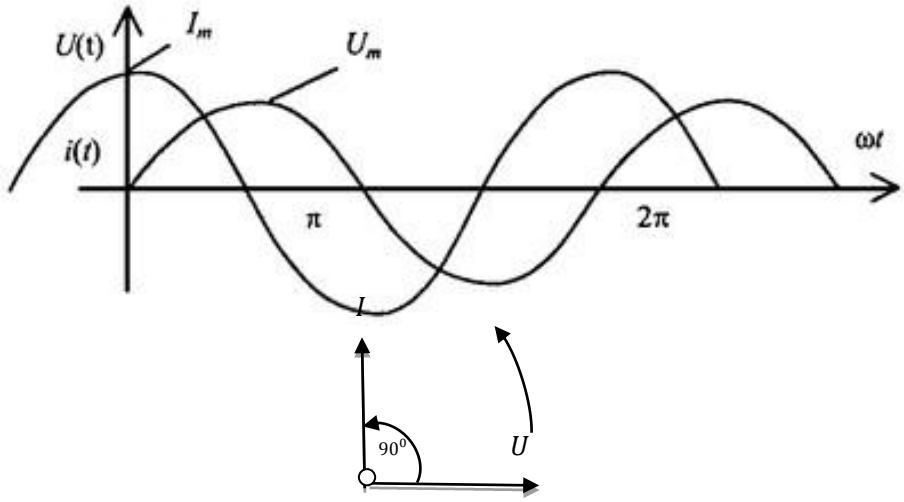
Айнымалы шаманың жедел мәндері:

$i = 50\sin(628t + \frac{\pi}{2})$, T=?, f=?, ψ-?

1.3-кесте. Синусоидалық токтың электр тізбегінің элементтері

Мәндер	Кедергі түрі		
	Белсенді-R	**Индуктивті-L**	**Сыйымдылықты-C**
Сұлбадағы белгіленуі			
Кедергінің өткізу қабілеттілігі	Тұрақты және айнымалы ток өткізеді	Тұрақты және айнымалы ток өткізеді	Айнымалы ток өткізіп, тұрақты ток өткізбейді
Түсірілген кернеу	$u_{\text{a}} = U_{\text{a}max} \sin \omega t$	$u_L = U_{Lmax} \sin \omega t$	$u_C = U_{Cmax} \sin \omega t$
Ом заңы бойынша ток күші	$i = \frac{u_{\text{a}}}{R} = \frac{U_{\text{a}max}}{R} \sin \omega t = I_{max} \sin \omega t$	$i_L = \frac{u_L}{X_L} = \frac{U_{Lmax}}{X_L} \sin \omega t = I_{Lmax} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}$	$i_C = \frac{u_C}{X_C} = \frac{U_{Cmax}}{X_C} \sin \omega t = I_{Cmax} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$
Ток пен кернеудің графикалық бейнесі	 1.48-сурет. Белсенді кедергі кезіндегі токтың және кернеудің графикалық бейнесі		
	 1.49-сурет. Индуктивті кедергі кезіндегі токтың және кернеудің графикалық бейнес		

1.3-кестенің жалғасы

	 1.50-сурет. Сыйымдылық кедергі кезіндегі токтың және кернеудің графикалық бейнесі		
Кедергі	R, Ом	$X_L = \omega L = 2\pi f L$, Ом	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$, Ом
Қуаты	$P = \boldsymbol{U_a} \cdot \boldsymbol{I} = \boldsymbol{I^2} \cdot \boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{U^2}}{\boldsymbol{R}}$, [Вт]	$\boldsymbol{Q_L} = \boldsymbol{U_L} \cdot \boldsymbol{I} = \boldsymbol{I^2} \cdot X_L = \frac{{U_L}^2}{X_L}$, [вар]	$\boldsymbol{Q}_C = \boldsymbol{U}_C \cdot \boldsymbol{I} = \boldsymbol{I^2} \cdot X_C = \frac{{U_C}^2}{X_C}$, [вар]

Символдық әдістің негізгі ұғымдары. Кешенді сандармен әрекеттер

Символдық әдіс кешенді сандарды (КС) қолдануға негізделген.

Кешенді сан А заттай (нақты) бөліктен а және жалған бөліктен jb тұрады.

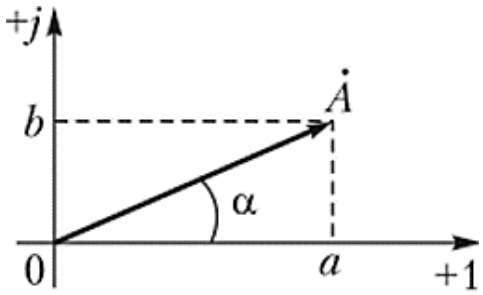
$$\dot{A} = a + jb$$

мұнда a – заттай (нақты) бөлік коэффициенті;

b – жалған бөлік алдындағы коэффициент, «+» және «–» болуы мүмкін

Кешенді санды (КС) вектор түрінде ұсынады (1.51-сурет):

- көлденең ось – заттай (нақты) бөлік;
- тік ось – жалған бөлік.



1.51-сурет. Кешенді санның графикалық бейнесі

Осьтегі проекциялар заттай (нақты) және жалған бөліктердің мәні болады.

Жалған бөлік j = $\sqrt{-1}$, $j^2 = -1$, $j^3 = -j$, $j^4 = 1$, $j^5 = j$ және т.б.

Мысалы: $\dot{A}$ = 2 + j3

$\dot{B}$ = 3 – j2

КС модулі осы КС-ды бейнелейтін вектор ұзындығына сәйкес келеді.

$$|A| = \sqrt{(a)^2 + (b)^2}$$

Мысалы: $|A| = \sqrt{2^2 + 3^2}$ =3,61

$|B| = \sqrt{3^2 + (-2)^2}$ =3,61

Вектордың нақты бөлігіне түзілген бұрыш **КС аргументі** деп аталады.

$\alpha = \mathrm{arctg}(\frac{b}{a})$

Мысалы: аргумент $\dot{A}$: $\alpha_A = \mathrm{arctg}(\frac{3}{2}) = 56{,}3^0$

аргумент $\dot{B}$: $\alpha_B = \mathrm{arctg}(\frac{-2}{3}) = -33{,}82^o$

КС жазудың үш формасы бар:

1. Алгебралық $\dot{A}$ = a + jb
2. Тригонометриялық $\dot{A}$ = $|A|\cos\alpha + j|A|\sin\alpha$

мұнда $a = |A|\cos\alpha$

$b = |A|\sin\alpha$

3. Көрсеткіштік $\dot{A} = |A|e^{j\alpha}$

мұнда е – табиғи логарифм негізі, бірақ символдық мәні бар.

Әрқашанда КС формасын кез келген басқа формаға аударуға болады.

Мысалы:

1. Алгебралық форма $\dot{A}$ = 2 + j3
2. Тригонометриялық

$\dot{A} = |A|\cos\alpha + j|A|\sin\alpha = 3{,}61\cos 56{,}3 + j3{,}61\sin 56{,}3$

мұнда $|A| = 3.61$; $\alpha_A = 56{,}3^0$; $a = 3{,}61\cos 56{,}3$; $b = 3{,}61\sin 56{,}3$

3. Көрсеткіштік $\dot{A} = |A|e^{j\alpha} = 3{,}61\ e^{j56{,}3}$

Мысалы:

1. Алгебралық форма $\dot{B}$ = 3 – j2
2. Тригонометриялық

$\dot{B}=|B|\cos\alpha + j|B|\sin\alpha = 3{,}61\cos(-33{,}82) + j3{,}61\sin(-33{,}82)$

мұнда $|B| = 3{,}61$; $\alpha_B = -33{,}82^0$; $c = 3{,}61\cos(-33{,}82)$; $d = 3{,}61\sin(-33{,}82)$

3. Көрсеткіштік $\dot{B} = |B|e^{j\alpha} = 3{,}61\ e^{j-33{,}82}$

Кешенді сандармен іс-әрекеттер

Қосу

Тек алгебралық формада орындалады.

Мұнда сәйкесінше заттай және жалған бөліктер қосылады.

$\dot{A} = a + jb$

$\dot{A} + B = a + jb + c + jd = (a + c) + j(b + d)$

$\dot{B} = c + jd$

Мысалы:

$\dot{A} = 2 + j3$; $\dot{B} = 3 - j2$

$\dot{A} + \dot{B} = 2 + j3 + 3 - j2 = 5 + j1$

Азайту

Тек алгебралық формада орындалады.

Мұнда сәйкесінше заттай және жалған бөліктер азайтылады.

$\dot{A} = a + jb$, $\dot{B} = c + jd$

$\dot{A} - \dot{B} = a + jb - (c + jd) = (a - c) + j(b - d)$

Мысалы:

$\dot{A} = 2 + j3$; $\dot{B} = 3 - j2$

$\dot{A} + \dot{B} = 2 + j3 - (3 - j2) = (2 - 3) + j(3 - (-2)) = -1 + j5$

Көбейту

Алгебралық және көрсеткіштік формасында орындалады.

Көбейту ережелері бойынша орындайды.

$\dot{A} = a + jb$, $\dot{B} = c + jd$

$\dot{A} \cdot \dot{B} = (a + jb)\cdot(c + jd)$

$\dot{A} \cdot \dot{B} = |A|e^{j\alpha_A} \cdot |B|e^{j\alpha_B} = |A|\cdot |B|e^{j(\alpha_A+\alpha_B)}$

Мысалы:

$\dot{A} = 2 + j3$, $\dot{B} = 3 - j2$

$\dot{A}\cdot\dot{B} = (2 + j3)\cdot(3 - j2) = 6 - j4 + j9 - j^2 6 = 6 + j5 - (-6) = 12 + j5$

$\dot{A}\cdot\dot{B} = 3{,}61\ e^{j56{,}3} \cdot 3{,}61\ e^{j-33{,}82} = 13{,}03\ e^{j56{,}3-(-33{,}82)} = 13{,}03\ e^{j90{,}12)}$

Бөлу

Алгебралық және көрсеткіштік формасында орындалады.

Бөлу ережелері бойынша орындайды

$\dot{A} = a + jb$, $\dot{B} = c + jd$

$\dot{A}/\dot{B} = (a + jb) / (c + jd)$, алгебралық формада жазылған кешенді сандарды бөлу кезінде алымы мен бөлімі де бөлгішпен ұштасқан санға көбейтіледі ($\dot{B}^* = c - jd$)

$\dot{A}/\dot{B} = |A|e^{j\alpha_A} / |B|e^{j\alpha_B} = |A|/|B|e^{j(\alpha_A-\alpha_B)}$

Алгебралық формада жазылған К.С.-мен әрекеттер мысалы

Қосу мысалы: (5+3j)+(3−j)==8+2j

Азайту мысалы: (5+3j)−(3−j)= 5+3j−3+j=2+4j

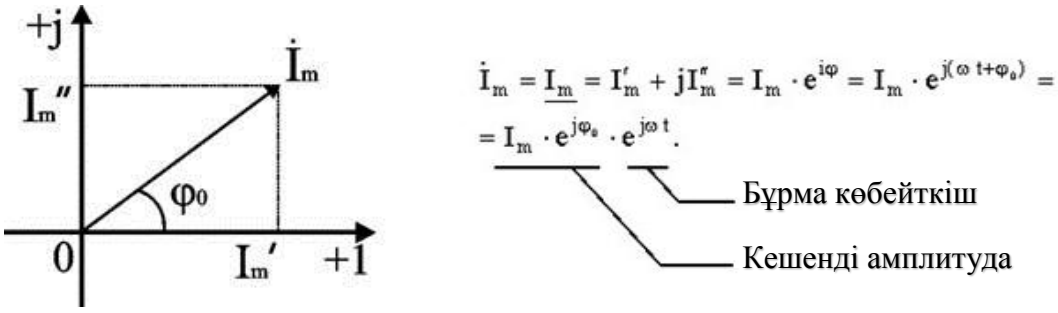
Көбейту мысалы: (3+2 j)·(4− j)=12−3j +8j −2j=14+5j

Бөлу мысалы: . $\frac{(5+3j)\times(3+j)}{(3-j)\times(3+j)} = \frac{15+5j-3+9j)}{9+1} = \frac{12+14j}{10}$=1,2 + 1,4j

Электр тізбегінің кешнді шамалары. Кешенді түрдегі Ом және Кирхгоф заңдары

Кешенді жазықтықтағы әрбір векторға кешенді сан сәйкес келеді. Бұл синусоидалы кернеулер мен токтардың графикалық (векторлық) өрнектерінен олардың кешенді сандарының аналитикалық өрнегіне көшуге, ал векторлармен әрекеттерін алгебралық өрнектері бар әрекеттермен ауыстыруға мүмкіндік береді.

Тізбектің барлық параметрлері кешенді түрде ұсынылады (1.52-сурет).



1.52-сурет. Кешенді түрдегі ток

$\dot{I_m} = I_m \cdot e^{j\varphi_0} \cdot e^{j\omega t}$– кешенді жылдам мән;

$\dot{I} = I \cdot e^{j\varphi_0}$ – ток күшінің кешенді әсерлі мәні;

$\dot{U} = U \cdot e^{j\varphi_0}$– кернеудің кешенді әсерлі мәні.

Мысал.

$$i(t) = 10 \cdot \sqrt{2}\sin(314t + \frac{\pi}{4}) \Longrightarrow \dot{I} = 10 \cdot e^{j\frac{\pi}{4}}\ (A)$$

Кешенді әдістің артықшылығы: айнымалы ток тізбектерін талдауда оны қолдану кезінде тұрақты ток талдауының барлық белгілі әдістерін қолдануға болады.

Ом заңы

Ом заңы деп кешенді түрде мынаны айтады:

$$\dot{I} = \dot{U}/\underline{Z}\ , \qquad (1.72)$$

$$\begin{cases} \dot{I} = I \cdot e^{j\varphi_i} \\ \dot{U} = U \cdot e^{j\varphi_u} \end{cases} \Rightarrow \underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = Ze^{\pm j\varphi} = Z\cos\varphi \pm jZ\sin\varphi = r \pm jx$$

мұнда $\dot{I}$- кешенді ток;

$\dot{U}$- кешенді кернеу;

$\underline{Z}$- кешенді толық кедергі;

r- белсенді кедергі;

x- реактивті кедергі.

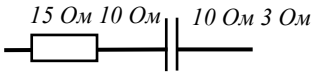
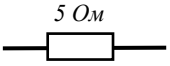
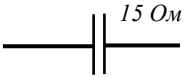
Тізбек учаскесінің кешенді кедергісі кешенді сан болып табылады, оның заттық бөлігі белсенді кедергінің шамасына сәйкес келеді, ал жалған бөлік кезіндегі коэффициент – реактивті кедергіге сәйкес келеді.

Кешенді кедергінің жазылу түрі бойынша тізбек учаскесінің сипаты жайлы айтуға болады:

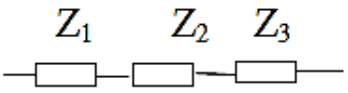
$R + jX$ - белсенді-индуктивті кедергі; $R - jX$ - белсенді-ауқымдық кедергі.

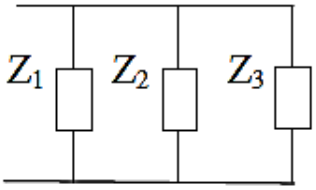
Мысалдар.

1.4-кесте. Айнымалы ток тізбектерінің кешенді кедергілерінің мысалдары

			
$z = 10 + j3$	$z = 15 - j10$	$z = 5$	$z = -j15$

Кедергілердің параллельді және бірізді қосылуы





$$\underline{Z} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3$$

$$\frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{\dot{Z}_1} + \frac{1}{\dot{Z}_2} + \frac{1}{\dot{Z}_3}$$

Кешенді қуат

Символдық әдісті қолдану кезінде қуат түсініктерін пайдалануға болады. Бірақ кешенді түрде тек толық қуатты жазуға болады:

$$\underline{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^* = UIe^{j(\varphi_u + \varphi_i)} = UIe^{\pm j\varphi} = Se^{\pm j\varphi} = \mathrm{S}\cos\varphi \pm \mathrm{j}\,\mathrm{S}\sin\varphi = \mathrm{P} \pm \mathrm{j}\,\mathrm{Q}, \quad (1.73)$$

мұнда $\dot{I}^*$- кешенді-қабаттасқан ток;

P- активті қуат;

Q- реактивті қуат.

Кешенді түрде толық қуат кешенді сан болып табылады, оның заттық бөлігі қаралып отырған учаскенің белсенді қуатына сәйкес келеді, ал

жалғанған бөлік кезіндегі коэффициент учаскенің реактивті қуатына сәйкес келеді. Жалған бөлік алдындағы белгінің мәні: «+» кернеу токтан ілгері екендігін білдіреді, жүктеме - белсенді-индуктивті; «-» жүктеме - белсенді-ауқымды екенін білдіреді.

Кешенді түрдегі Кирхгофтың бірінші заңы

Түйіндегі токтардың кешенді қолданыстағы мәндерінің алгебралық қосындысы нөлге тең.

$$\sum_{k=1}^{n} \dot{I}_k = 0\,, \qquad (1.74)$$

Кешенді түрдегі Кирхгофтың екінші заңы

Электр тізбегінің тұйықталған контурында ЭҚК кешенді қолданыстағы мәндерінің алгебралық жиынтығы онда кернеудің кешенді азаюының алгебралық жиынтығына тең.

$$\sum_{k=1}^{n} \dot{E}_k = \sum_{k=1}^{n} \dot{I}_k z_k\,, \qquad (1.75)$$

№1 мысал

i=5· $\sin(\omega t - 30^0)$ $\underline{I}_m$ -? $\underline{I}$ -?

$\underline{I}_m$=5e^{-j30}; $\underline{I}$=5/$\sqrt{2}e^{-j30}$

№2 мысал

$\underline{I}$ =4,5e^{j20} i-?

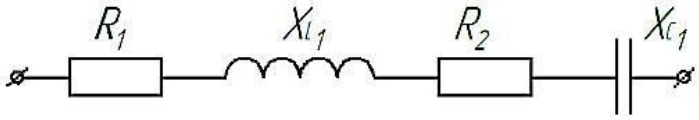
i=$\sqrt{2}\cdot 4.5\cdot \sin(\omega t + 20^0)$

№3 мысал

i=$\sqrt{2}\cdot 5\cdot \sin(\omega t + 35^0)$; u=$\sqrt{2}\cdot 100\ \sin(\omega t - 15^0)$; $\underline{z}$-? z-?

$\underline{z}=\frac{U}{I}=\frac{100e^{-j15}}{5e^{j35}} = 20e^{-j50}$ z=20 Ом

№4 мысал



,

U=120 В; R_1=10 Ом; R_2 =5 Ом; X_{L1}=20 Ом; X_{C1}=5 Ом

I, P,Q, S? (Тапсырманы символдық әдіспен орындаңыз)

$\underline{Z}_1$=10+ j20– j5=10+ j15; $\underline{Z}_2$=5; $\underline{Z}$= $\underline{Z}_1$+ $\underline{Z}_2$=10+ j15+5=15+ j15

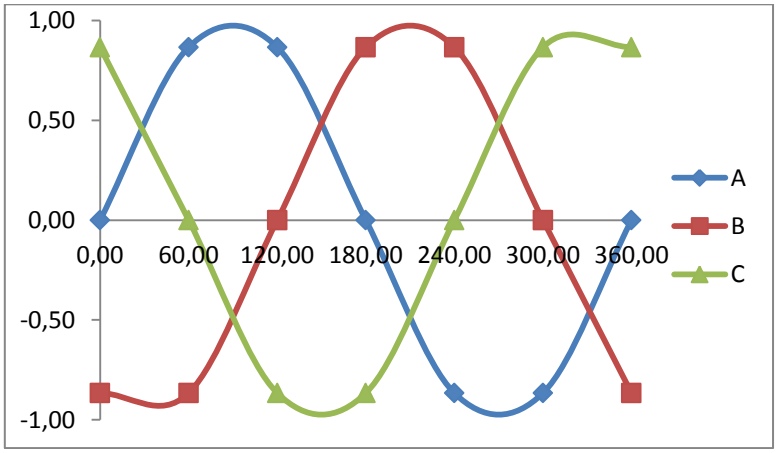
$\underline{I}=\frac{U}{Z} = \frac{120}{(15+\ j15)} = \frac{120(15-j15)}{(15+\ j15)(15-\ j15)} = \frac{1800-j1800}{225+225} = 3{,}6 -\ j3{,}6 =$ $5e^{-j45}$; I=5A

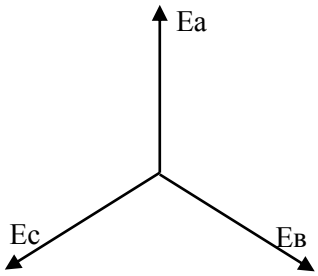
$\underline{S}$=$\underline{U}$ $\underline{I}^*$=120 · 5e^{-j45}=600e^{-j45} =424- j424; P=424 Вт; Q_c=424 вар

Үшфазалы жүйелер. Генератор орамдарын және тұтынушының фазаларын «жұлдызбен» қосу

Үшфазалы электр тізбектері көпфазалы тізбектердің жеке жағдайы болып табылады. Электр тізбектерінің көпфазалы жүйесі бірнеше бірфазалы электр тізбектерінің жиынтығы болып табылады, олардың әрқайсысында бір жиіліктегі синусоидалы ЭҚК әрекет етеді, олар жалпы энергия көзінен пайда болады және бір-біріне қатысты фаза бойынша бір бұрышқа жылжиды. «Фаза» термині мерзімді процесс сатысын сипаттайтын бұрышты белгілеу үшін, сондай-ақ көп фазалы тізбекке кіретін бір фазалы тізбектің атауы үшін қолданылады.

Үшфазалы тізбектер дегеніміз – бір фазалы үш тізбектің жиынтығы, онда бір жиіліктегі синусоидалы ЭҚК әрекет етеді, олар фаза бойынша бір-біріне қатысты 2π /3 бұрышына жылжиды (1.53-сурет). Үшфазалық тізбектегі элетр қуатының көзі синхронды генератор болып табылады, оның бір біріне қатысты конструктивті түрде 2π /3 бұрышына жылжытылған және фаза деп аталатын үш орамында өз кезегінде үш ЭҚК индукцияланады, олар да бір біріне қатысты 2π /3 бұрышына жылжытылған.



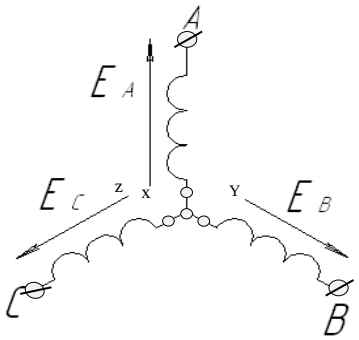


1.53-сурет. Үшфазалы ЭҚК-нің өзгеруі

Ең қарапайым үшфазалы генераторда бірфазалыға ұқсас құрылғы болады, оның айырмашылығы тек бір ғана емес, үш бірдей ораманың болуында.

Орамдардың басын A B C деп белгілеу керек. Орамдардың соңын X Y Z.

Сонымен қатар, оң бағыт үшін орамдардың соңынан олардың бастамаларына дейінгі бағыт алынады (1.54-сурет).



1.54-сурет. «Жұлдызбен» қосу

Орамдар бастапқы фазалары бір-біріне қатысты 120^0 бұрышқа ілгері немесе кейін жылжыған күйде ораналасқан.

Үшфазалы жүйелердің 2 түрі бар:

1) симметриялы;
2) симметриялы емес.

ЭҚК үшфазалы симметриялы жүйесі – бірдей жиілігі мен амплитудасы бар, бірақ фаза бойынша бір-біріне қатысты 120^0 бұрышқа жылжыған үш ЭҚК жиынтығы, яғни

$e_A = Em\ sin\ \omega t$

$E_A = Em$

$e_B = Em\ sin\ (\omega t - 1200)$

$E_B = Em\ ej\ -120$

$e_C = Em\ sin\ (\omega t + 1200)$

$E_C = Em\ ej120$

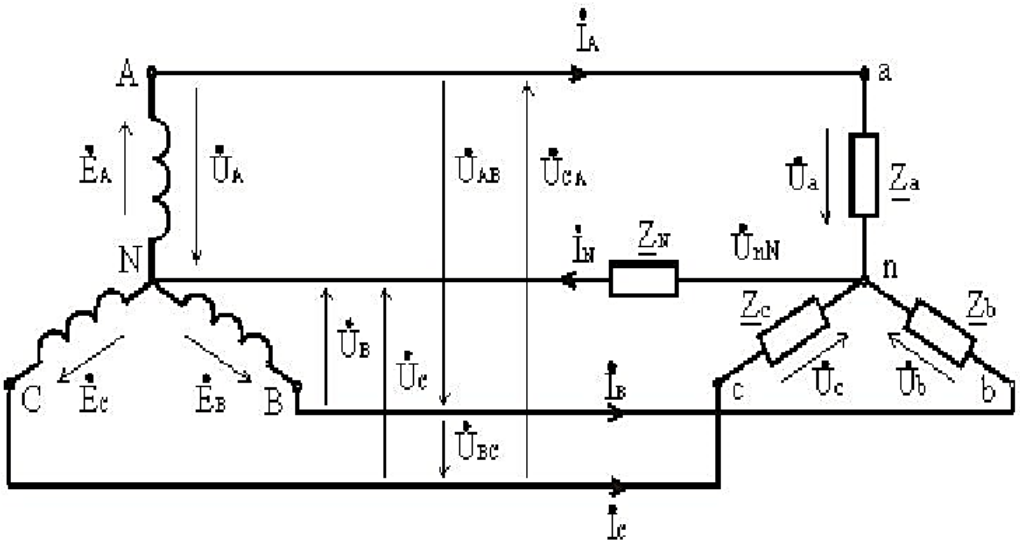
Генетор фазаларын және тұтынушы фазаларын «жұлдызбен» қосу

Генератордың фазалары мен тұтынушының фазаларын «жұлдызбен» қосу - фазалардың ұштары генератордың немесе тұтынушының бейтарабы деп аталатын бір жалпы нүктеге жалғанған, ал басы желілік сымдарға жалғанған қосылыс (1.55-сурет).

Орамдардың басы ретінде оң ЭҚК бағытталған соңы қабылданады.

Генераторға жүктеме қосылады. Генератор жұлдызын тұтынушы жұлдызымен жалғаймыз.

Генератор мен тұтынушының орталық нүктелерін қосатын сым бейтарап сым деп аталады.



1.55-сурет. Генератор орамдарын және тұтынушының фазаларын «жұлдызбен» қосу

Генератор орамының басынан шығатын үш сымдар желілік сым деп аталады.

Желілік сымдар арасындағы кернеу желілік деп аталады, ал оларда ағымдағы токтар желілік токтар деп аталады.

Желілік деп екі фаза бастаулары арасындағы немесе екі желілік сымдар арасындағы кернеуді айтады: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – желілік кернеулер.

Мұндай сұлба кезінде бейтарап сымдағы ток үш тұтынушылар тогының геометриялық жиынтығына тең, себебі генератордың симметриялық жүктемесі кезінде үш фазаның токтары (Z_1, Z_2, Z_3 тұтынушылардың кедергілерінің номиналдары бірдей) шамасы бойынша тең және фаза бойынша бір-біріне қатысты 120^0-ге ығысқан, олардың сомасы 0-ге тең.

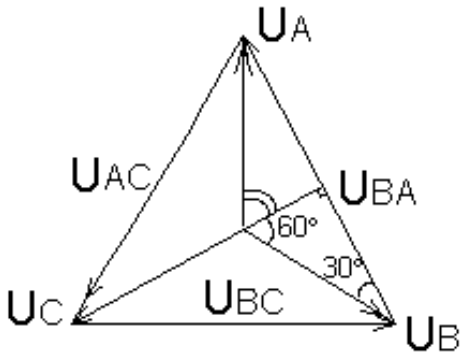
$$I_N=I_Ae^{j0}+I_Be^{-j120^\circ}+I_Ce^{j120}=0\ , \qquad (1.76)$$

Сондықтан бейтарап сымды нөлдік деп атайды.

Сондықтан фазалардың симметриялы жүктемесі кезінде бейтарап сым қажет емес, өйткені онда ток 0-ге тең.

Фазалардың кернеуі мен токтары фазалық деп аталады. **Фазалық** деп фазаның басы мен соңы арасындағы немесе желілік және бейтарап сымдар арасындағы кернеу деп аталады.

U_A, U_B, U_C – фазалық кернеулер; $I_A=I_ф$.



1.56-сурет. Кернеудің векторлық диаграммасы

Кирхгофтың екінші заңы бойынша:

$$\underline{U}_{AB}=\underline{U}_A-\underline{U}_B \quad \underline{U}_{BC}=\underline{U}_B-\underline{U}_C \quad \underline{U}_{AC}=\underline{U}_A-\underline{U}_C, \qquad (1.77)$$

Желілік кернеулер фазалық кернеулер векторларының айырмасына тең (1.56-сурет).

$$\mathrm{U_{AB}} = \mathrm{U_B}\cos 30^0, \text{ мұнда } U_{AB} = \mathrm{U_л}, \text{ а } U_B = U_Ф, \qquad (1.78)$$

$$\frac{1}{2}\mathrm{U_л} = \frac{\sqrt{3}}{2}\mathrm{U_ф}, \qquad (1.79)$$

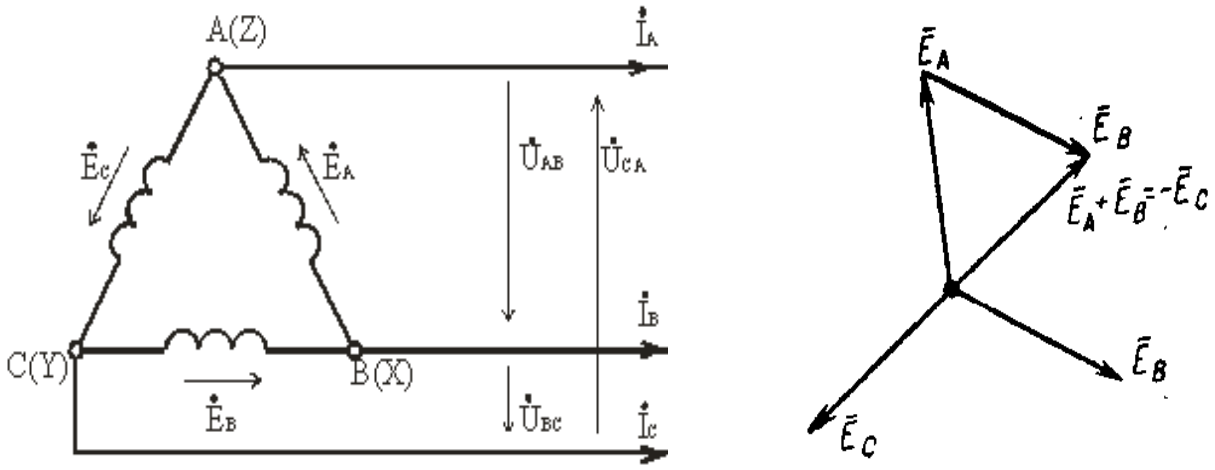
Демек, $U_Л = \sqrt{3}\ U_ф$; $I_Л = I_Ф$ - жұлдызбен қосылған кезде.

Үшфазалық жүйенің қуаттылығы әр фазаның қуаттылықтарының сомасына тең

$$\mathrm{P_{3ф}} = 3\mathrm{P_ф} = 3I_ф^2R_ф = 3\mathrm{U_ф}I_ф\cos\varphi, \qquad (1.80)$$

Генератор және тұтынушы фазаларын үшбұрышпен қосу

Қосылған үшфазалық жүйені генератор мен тұтынушының орамдарын үшбұрышпен қосу арқылы да жүзеге асыруға болады (1.57-сурет). Үшбұрышқа жалғанған кезде әрбір фазаның соңы келесі фазаның басымен жалғанады, ал қосылу нүктелері (үшбұрыштың жоғарғы жағы) үш фазалы А, В, С генераторының желілік шықпаларына желілік сымдармен қосылады.



1.57-сурет. «Үшбұрышпен» қосу, ЭҚК векторлық диаграммасы

Мұндай нүктелер үшеу, демек, жүйе үш сымды. Бұл жағдайда тұйық контур түзіледі.

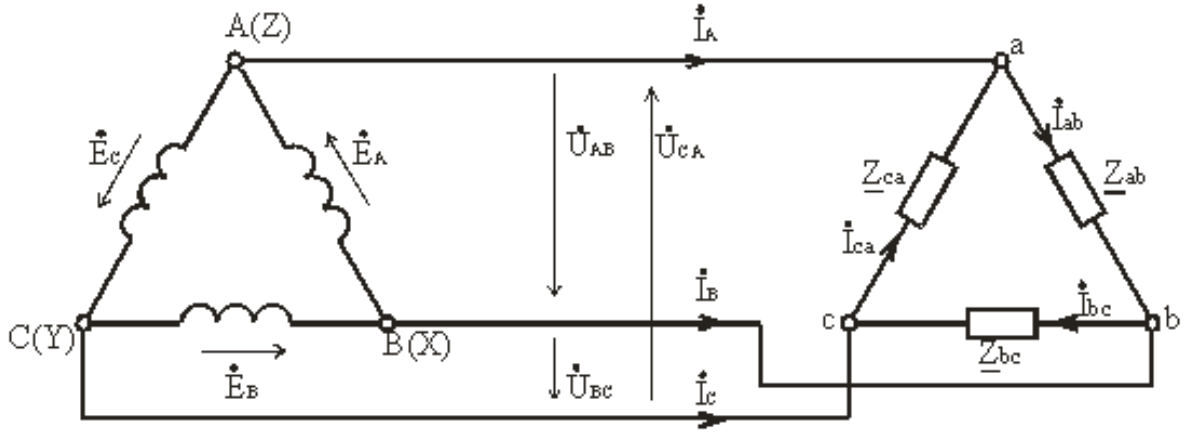
Генераторға қосылған тұтынушылар болмаған кезде ток нөлге тең, өйткені ЭҚК үш жиынтығының сомасы нөлге тең (ЭҚК бір-біріне қатысты 120^0-ге ығыстырылады).

$$Ee^{jo^0} + Ee^{-j120^0} + Ee^{j120^0} = E - 0{,}5E' - j0{,}87E - 0.5E + j0{,}87E = 0$$

Үш векторды қосу кезінде тұйық үшбұрыш алынады, яғни векторлардың геометриялық сомасы нөлге тең болады.

Екі желілік сымдар арасында қосылған вольтметр желілік кернеуді көрсетеді, бірақ бұл U_{AB} кернеуі генератор фазасының бір орамынан беріледі, демек, генератор орамдарын үшбұрышпен жалғағанда $U_Л=U_Ф$.

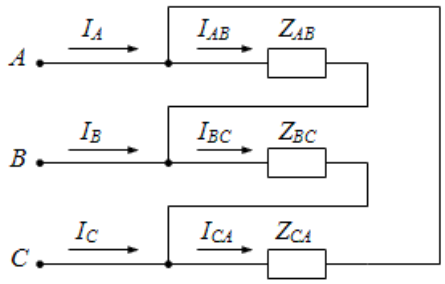
Генератордың орамдарын үшбұрышпен жалғаған кезде бір ғана фазалық кернеу (1.58-сурет) алуға болады.



1.58-сурет. Генератор орамдарын және тұтынушының фазаларын «үшбұрышпен» қосу

Үшбұрыштың сұлбасы қабылдағыштың номиналды фазалық кернеуі генератордың желілік кернеуіне сәйкес келген жағдайда қолданылады. Қабылдағыштың фазаларында олардың басынан соңына қарай өтетін токтар фазалық деп аталады (I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}). Генератордан қабылдағышқа дейінгі бағыты бойынша желілік сымдарда өтетін токтар желілік ток деп аталады (I_A, I_B, I_C).

Фазалық токтар Ом заңы бойынша анықталады:



1.59-сурет. Фазалардағы кедергілердің «үшбұрышпен» қосылуы

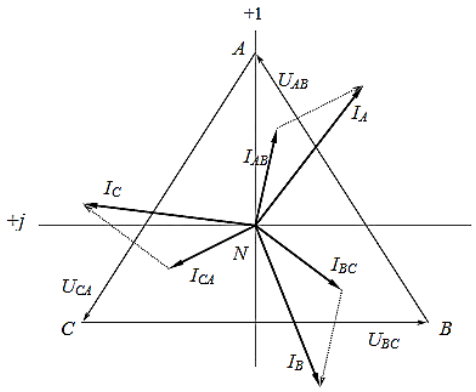
$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}};\ '\underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}};\ '\underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}}, \qquad (1.81)$$

Желілік токтар үшбұрыштың ұшына арналған Кирхгофтың бірінші заңының теңдеулерінен анықталады, олар фазалық токтардың геометриялық айырмаларына тең:

$$I_A=I_{AB}-I_{CA};\ I_B=I_{BC}-I_{AB};\ I_C=I_{CA}-I_{BC}\ , \qquad (1.82)$$

Симметриялық режимде фазалық және желелік токтар симметриялы болады, бұл ретте олардың модульдерінің арақатынасы $I_Л/I_Ф = \sqrt{3}$ құрайды.

Симметриялы емес жүктеме кезінде желілік және фазалық токтар арасындағы арақатынас Кирхгофтың бірінші заңының теңдеулерімен анықталады. 1.60-суретте фазаларды үшбұрышқа жалғау кезіндегі еркін үш фазалы тізбекке арналған токтар мен кернеулердің векторлық диаграммасы көрсетілген.



1.60-сурет. Фазаларды үшбұрышқа қосу кезінде еркін үш фазалы тізбек үшін ток пен кернеудің векторлық диаграммасы

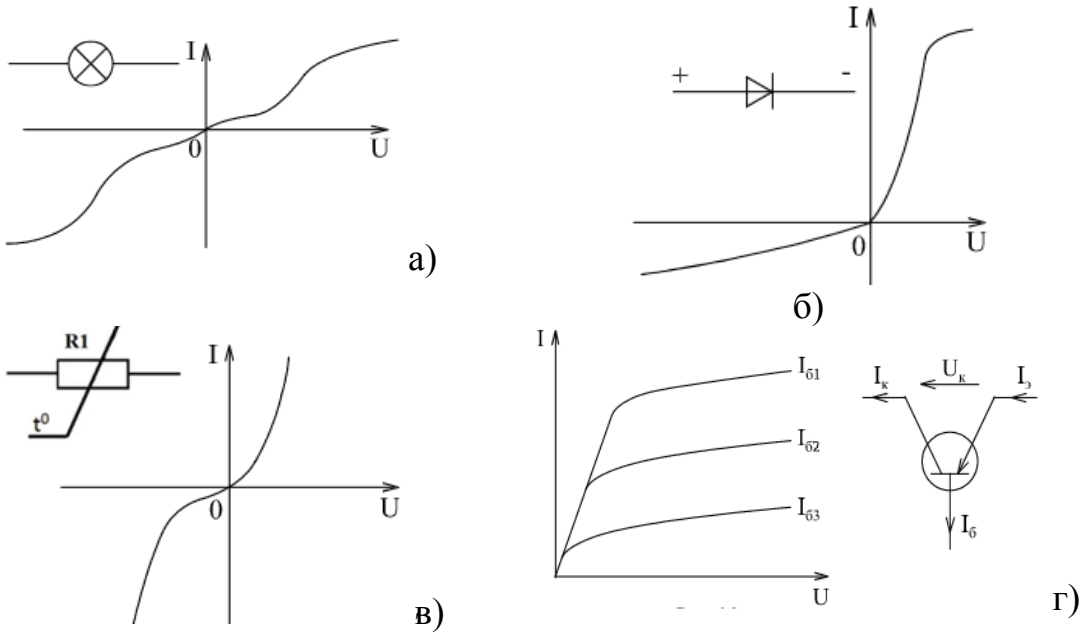
Бақылау сұрақтары:

1. Кирхгоф заңдарын тікелей қолдану әдісімен электр тізбектерін есептеудің мәні неде?
2. Кирхгофтың бірінші және екінші заңдары бойынша электр тізбектерін есептеу кезінде қанша теңдеу құрастырылады?
3. Айнымалы шамалардың қандай мәндері лездік деп аталады?
4. Айнымалы токтың негізгі параметрлерін атаңыз.
5. j көбейткіш дегеніміз не?
6. Кешенді санды жазудың 3 түрін атаңыз.
7. Кешенді санының анықтамасын беріңіз.
8. Ом заңын кешенді түрде жазыңыз.
9. Кедергілердің тізбектей және параллель қосылуы (кешенді түрдегі кедергілерді есептеуге арналған формулалар).
10. Кирхгоф заңдарын кешенді түрде жазыңыз.
11. Генератор фазалары мен тұтынушының фазаларының қандай қосылысы «жұлдыз» деп аталады?
12. Желілік және фазалық кернеулердің анықтамасы.
13. ЭҚК симметриялы және симметриялы емес жүйелері деп нені түсінеміз?
14. Генератор фазалары мен тұтынушы фазаларының қандай қосылысы «үшбұрыш» деп аталады?
15. Желілік және фазалық кернеулерді, желілік және фазалық токтарды есептеуге арналған формулалар.

1.6. Сызықтық емес тізбектердің ерекшеліктері

Электр тізбектерінің сызықтық емес элементтері, олардың вольт-амперлік сипаттамалары және кедергілері

Электр тізбегінің сызықтық емес элементі деп параметрлер мәні осы элемент тогының мәніне немесе оның шығысындағы кернеуге байланысты элементті айтады. Электр тізбектерінің сызықтық емес элементтеріне әртүрлі электрондық, жартылай өткізгіш және ионды аспаптар, ферромагнитті магнит өткізгіштері бар магниттейтін орамалары бар құрылғылар (айнымалы ток кезінде), қыздыру шамдары, электр доғасы және т.б. жатады (1.61-сурет).

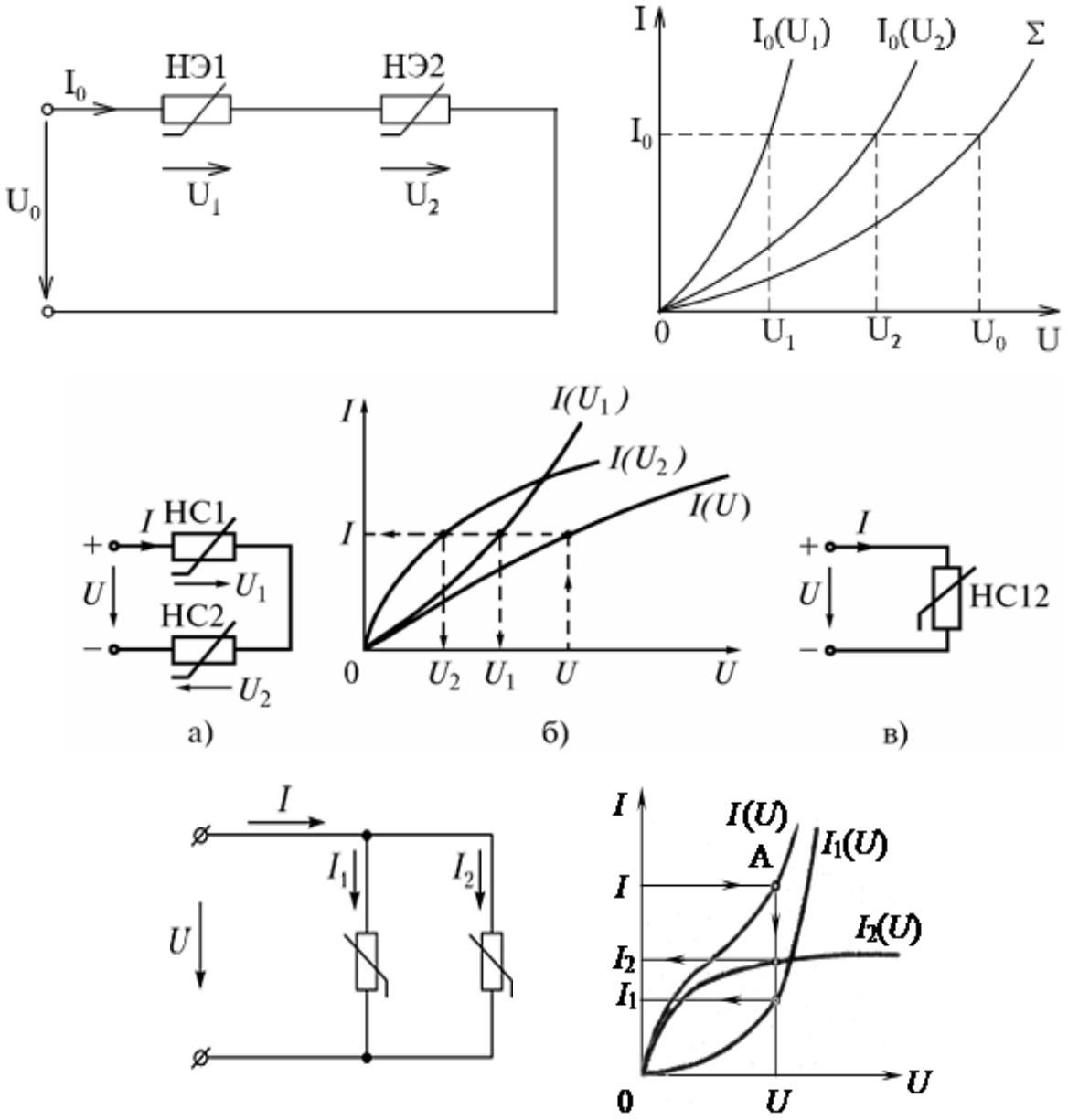


1.61-сурет. Вольт-амперлік сипаттамалардың мысалдары:
а) қыздыру шамдары; б) жартылай өткізгіш диод; в) терморезисторлар;
г) транзистор (базаның түрлі токтарында)

Сызықтық емес элементтер қазіргі уақытта кең таралған, өйткені олар көптеген техникалық міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Осылайша, сызықтық емес элементтердің көмегімен айнымалы токтың тұрақты түрленуін, электр сигналдарын күшейтуді, түрлі формадағы электр сигналдарын генерациялауды, ток пен кернеуді тұрақтандыруды, анналдар түрінің өзгеруін, есептеу операциялары мен т. б. жүзеге асыруға болады. Сызықтық емес элементтер радиотехникалық құрылғыларда, өнеркәсіптік электроникада, автоматикада, өлшеу және есептеу техникасы құрылғыларында кеңінен қолданылады.

Сызықтық емес элементтердің маңызды сипаттамасы вольт-амперлік сипаттама (в. а. с.) болып табылады, ол сызықтық емес элементтің тогы мен оның шығысындағы кернеу арасындағы тәуелділік болып табылады: I(U) немесе U(I) (1.62-сурет).

Сызықтық емес электр тізбектерін есептеудің графикалық әдісі



1.62-сурет. Сызықтық емес элементтерді параллельді және тізбектей қосу кезіндегі электр тізбектерінің в. а. с. құру

Бақылау сұрақтары:

1. Сызықтық емес элементтерге .... жатады
2. Сызықтық емес элементтерді есептеу .... арқылы жүзеге асырылады

2-тарау. Электр тізбектерін аналитикалық және графикалық әдістермен есептеу

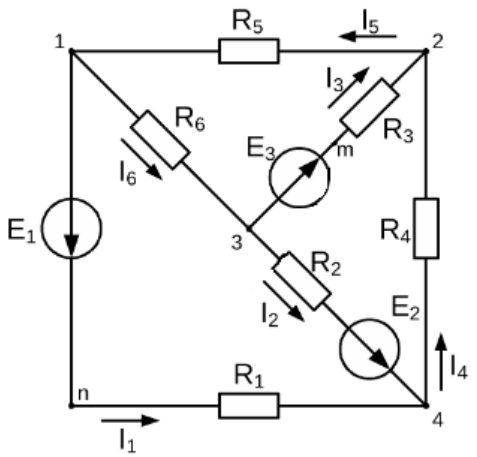
2.1. Тұрақты токтың сызықты және сызықты емес тізбектерін есептеу

2.1.1. Тұрақты токтың күрделі электр тізбегін есептеу

Мысал.

Бастапқы деректер:
E_1 = 40 В. R_1 = 20 Ом.
E_2 = 80 В. R_2 = 40 Ом.
E_3 = 75 В. R_3 = 25 Ом.
R_4 = 20 Ом.
R_5 = 25 Ом.
R_6 = 10 Ом.

Түйінді потенциалдар және контурлық токтар әдісімен токтарды анықтау, есептеу деректерін салыстыру.



2.1-сурет. Есептік электр сұлбасы

№1 тапсырма

1. Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулер:

$$I_5 - I_6 - I_1 = 0$$
$$I_6 - I_3 - I_2 = 0$$
$$I_1 + I_2 - I_4 = 0$$
$$\begin{cases} E_1 - E_2 = I_1R_1 - I_2R_2 - I_6R_6 \\ E_2 + E_3 = -I_2\ R_2 + I_3\ R_3 - I_4\ R_4 \\ -E_3 = -I_3R_3 - I_6R_6 - I_5R_5 \end{cases}$$

2. Түйінді потенциалдар әдісі арқылы барлық тармақтардағы токтарды анықтау.

φ_4 = 0 В болса, онда:

$$\begin{cases} \varphi_2(G_5 + G_3 + G_4) - \varphi_3G_3 - \varphi_1G_5 = E_3G_3 \\ \varphi_3(G_2 + G_3 + G_6) - \varphi_2G_3 - \varphi_1G_6 = -E_2G_2 - E_3G_3 \\ \varphi_1(G_1 + G_6 + G_5) - \varphi_3G_6 - \varphi_2G_5 = -E_1G_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_{11}\varphi_1 + G_{12}\varphi_2 - G_{13}\varphi_3 = J_1 \\ G_{21}\varphi_1 + G_{22}\varphi_2 - G_{23}\varphi_3 = J_2 \\ G_{31}\varphi_1 + G_{32}\varphi_2 - G_{33}\varphi_3 = J_3 \end{cases}$$

мұнда

$$G_{11} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} = 0,19 \text{ См};\ G_{12} = -\frac{1}{R_5} = -0{,}04 \text{ См};\ G_{12} = -\frac{1}{R_6} = -0{,}1 \text{ См}$$

$$G_{21} = -\frac{1}{R_5} = -0{,}04 \text{ См};\ G_{22} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = 0,13 \text{ См};\ G_{23} = -\frac{1}{R_3} = -0{,}04 \text{ См}$$

$$G_{31} = -\frac{1}{R_6} = -0{,}1 \text{ См}; G_{32} = -\frac{1}{R_3} = -0{,}04 \text{ См};\ G_{33} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} = 0,\ 165 \text{ См}$$

$$J_1 = -\mathrm{E}_1 G_1 = -\frac{E_1}{R_1} = -2\text{A};\quad J_2 = \mathrm{E}_3 G_3 = \frac{E_3}{R_3} = 3\text{A};$$

$$J_3 = -\mathrm{E}_2 G_2 - \mathrm{E}_3 G_3 = -\frac{E_2}{R_2} - \frac{E_3}{R_3} = -5\text{A};$$

Коэффициенттерден құралған матрицалардың жалпы түрі:

$$\left|\begin{matrix} 0{,}19 & -0{,}04 & -0{,}1 \\ -0{,}04 & 0{,}13 & -0{,}04 \\ -0{,}1 & -0{,}04 & 0{,}165 \end{matrix}\right| \begin{matrix} -2 \\ 3 \\ -5 \end{matrix}\Bigg|$$

Бұдан:

$$\Delta = 0{,}0019,\ \Delta\varphi_1 = -0{,}081\text{В},\ \Delta\varphi_2 = -0{,}015\text{В},\ \Delta\varphi_3 = -0{,}109\text{В}$$

$$\varphi_1 = -42{,}6 \text{ В};\ \ \varphi_2 = -7{,}9 \text{ В};\ \ \varphi_3 = -57{,}4 \text{ В}.$$

Ал сәйкесінше:

$$I_1 = \frac{\varphi_1 - \varphi_4 + \mathrm{E}_1}{R_1} = -0{,}143 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_3 - \varphi_4 + \mathrm{E}_2}{R_2} = 0{,}544 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2 + \mathrm{E}_3}{R_3} = 0{,}992 \text{ А}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_4 - \varphi_2}{R_4} = 0{,}401 \text{ А}$$

$$I_5 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_5} = 1{,}393 \text{ А}$$

$$I_6 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{R_6} = 1{,}536 \text{ А}$$

3. Қуатты есептеу. Қуат теңгерімі.

Тармақтар үшін:

$$\mathrm{P}_1 = I_1^2 R_1 = 0{,}409 \text{ Вт};\ \ \mathrm{P}_2 = I_2^2 R_2 = 11{,}854 \text{ Вт};\ \ \mathrm{P}_3 = I_3^2 R_3 = 24{,}604 \text{ Вт}$$

$$\mathrm{P}_4 = I_4^2 R_4 = 3{,}221 \text{ Вт};\ \ \mathrm{P}_5 = I_5^2 R_5 = 48{,}537 \text{ Вт};\ \ \mathrm{P}_6 = I_6^2 R_6 = 23{,}606 \text{ Вт}$$

ЭҚК үшін:

$$\mathrm{P}_{\mathrm{E}_1} = I_1 E_1 = -5{,}722\text{Вт};\ \ \mathrm{P}_{\mathrm{E}_2} = I_2 E_2 = 43{,}55\text{Вт};\ \ \mathrm{P}_{\mathrm{E}_3} = I_3 E_3 = 74{,}404\text{Вт};$$

Энергияның сақталу заңы:

$$\sum_{k=1}^{m} \mathrm{P}_k \text{ ист.} = \sum_{k=1}^{m} \mathrm{P}_k \text{ пр.}$$

Бұдан:

$$I_1E_1 + I_2E_2 + I_3E_3 = I_1^2R_1 + I_2^2R_2 + I_3^2R_3 + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 + I_6^2R_6$$
$$= 0{,}409 + 11{,}854 + 24{,}604 + 3{,}221 + 48{,}537 + 23{,}606 =$$
$$112{,}232 = 112{,}231$$

Қуаттылық қателігі $\delta = \frac{112{,}232 - 112{,}231}{112{,}231} \cdot 100\% = 0{,}000891\ \%$ құрайды.

4. Контурлы токтар әдісі

Контурлы токтарды табуға арналған теңдеулер жүйесі:

$$\begin{cases} \mathrm{I}_{11} \cdot (\mathrm{R}_1 + \mathrm{R}_2 + \mathrm{R}_3) + \mathrm{I}_{22} \cdot \mathrm{R}_6 + \mathrm{I}_{33} \cdot \mathrm{R}_2 = \mathrm{E}_1 - \mathrm{E}_2 \\ \mathrm{I}_{22} \cdot (R_6 + R_5 + R_3) + \mathrm{I}_{11} \cdot \mathrm{R}_6 - \mathrm{I}_{33} \cdot \mathrm{R}_3 = -\mathrm{E}_3 \\ \mathrm{I}_{33} \cdot (R_4 + R_2 + R_3) + \mathrm{I}_{11} \cdot \mathrm{R}_2 - \mathrm{I}_{22} \cdot \mathrm{R}_3 = -\mathrm{E}_2 + \mathrm{E}_3 \end{cases}$$

Мәндерді қойып алатынымыз:

$$\begin{cases} \mathrm{I}_{11} \cdot 70 + \mathrm{I}_{22} \cdot 10 + \mathrm{I}_{33} \cdot 40 = -40 \\ \mathrm{I}_{22} \cdot 60 + \mathrm{I}_{11} \cdot 10 - \mathrm{I}_{33} \cdot 25 = -75 \\ \mathrm{I}_{33} \cdot 85 + \mathrm{I}_{11} \cdot 40 - \mathrm{I}_{22} \cdot 25 = -5 \end{cases}$$

Содан кейін теңдеулер жүйесін матрицалық әдіспен есептейміз.

Одан токтардың келесі мәндерге тең екендігін анықтаймыз:

$$I_1 = \mathrm{I}_{11} = -0{,}143\ \mathrm{A}$$
$$I_2 = -\mathrm{I}_{11} - \mathrm{I}_{33} = 0{,}544\ \mathrm{A}$$
$$I_3 = -\mathrm{I}_{22} + \mathrm{I}_{33} = 0{,}992\ \mathrm{A}$$
$$I_4 = -\mathrm{I}_{33} = 0{,}401\ \mathrm{A}$$
$$I_5 = -I_{22} = 1{,}393\ \mathrm{A}$$
$$I_6 = -I_{11} - I_{22} = 1{,}536\ \mathrm{A}$$

2.1-кесте. Екі түрлі әдіспен есептелген токтардың мәні

Ток	**Түйінді потенциалдар әдісі**	**Контурлы токтар әдісі**
I_1	-0,143 А	-0,143 А
I_2	0,544 А	0,544 А
I_3	0,992 А	0,992 А
I_4	0,401 А	0,401 А
I_5	1,393 А	1,393 А
I_6	1,536 А	1,536 А

2.1.2. Тұрақты токтың сызықтық емес электр тізбектерін есептеу

№2 тапсырма: №1 және №2 шамдардың вольтамперлік сипаттамаларын құру (2.2-кесте). Егер U1 = 90 в, 110 В, 127 В болса, параллель жалғанған кездегі жалпы ток шамдардың токтарын анықтау.

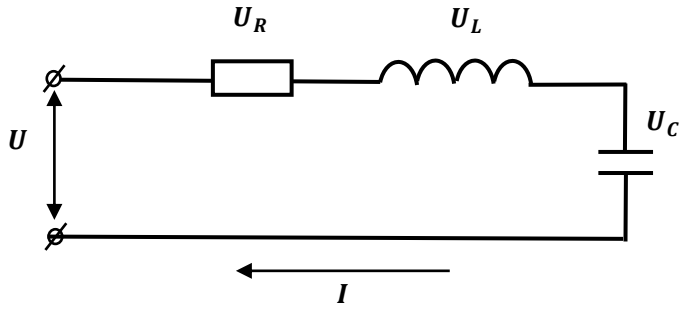
2.2 кесте. Шамдардың вольтамперлік сипаттамалары

U (В)	0	20	40	60	80	100	110	120	130
I(А), №1 шам	0	0,28	0,41	0,5	0,59	0,66	0,7	0,73	0,76
I(А), №2 шам	0	0,42	0,57	0,71	0,83	0,94	1	1,06	1,11

Жауаптар: **U= 90 В.** I =1,52 А I_1=0,62 А, I_2=0,9 А
P=136,8 Вт, P_1=55,8 Вт, P_2=81 Вт
U= 110 В. I =1,73 А , I_1=0,73 А, I_2=1 А
P=190,3 Вт, P_1=80,3 Вт, P_2=110 Вт
U= 127 В. I =2,08 А , I_1=0,98 А, I_2=1,08 А
P=264 Вт, P_1=125 Вт, P_2=137 Вт

2.2. Айнымалы токтың бір фазалы тізбектерін есептеу

2.2.1. Айнымалы токтың тармақталмаған тізбегі



2.2-сурет. Айнымалы токтың тармақталмаған тізбегі

Тізбек қысқыштарындағы кернеу $u = U_{max} \sin \omega t$ немесе $u = u_R + u_L + u_C$.

RLC - тізбегіндегі фазалардың ығысуын мына формула бойынша анықтауға болады:

$$\varphi = arctg \frac{x_L - x_C}{R} \tag{2.1}$$

RLC-тізбегінің толық кедергісі

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}\ , \tag{2.2}$$

мұнда R – белсенді кедергі;
x_L – индуктивті-реактивті кедергі;
x_C – сыйымдылықты реактивті кедергі.
Токтың амплитудалық мәні:

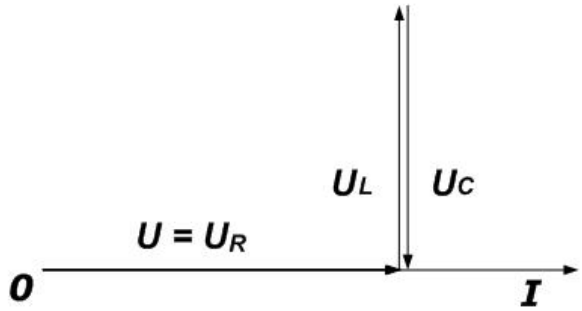
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}}\ , \tag{2.3}$$

мұнда U – кернеу.

RLC тізбегінің векторлық диаграммасын құрған кезде үш жағдай болуы мүмкін:

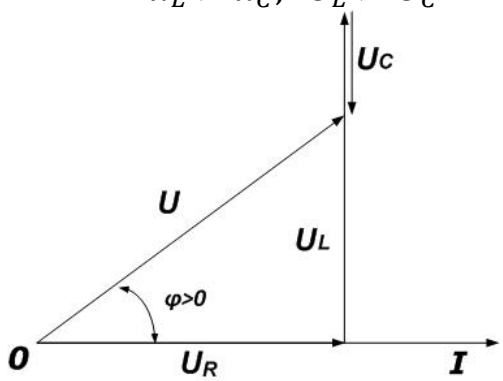
1. Тізбек белсенді сипатқа ие, фазалардың ауысуы нөлге тең, индуктивті және ауқымды кедергілер тең. Бұл ретте мұндай тізбекте кернеудің резонансы байқалады.

$$x_L = x_C;\ \ U_L = U_C$$



2. Тізбек индуктивті сипатқа ие, бұл жағдайда индуктивті кедергі сыйымдылықты кедергіге қарағанда көп болады.

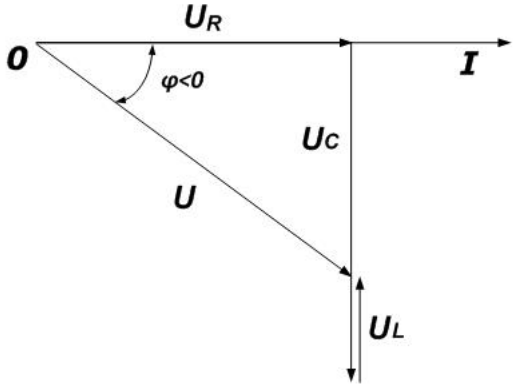
$$x_L > x_C;\ \ U_L > U_C$$



Векторлық диаграммада, әдетте, алдымен индуктивтілік катушкасында кернеу векторы жиналады, содан кейін одан конденсаторда кернеу шығады. Осыдан барып жалпы кернеудің векторын жүргізеді және φ фазаларының жылжуын анықтайды.

3. Тізбектер сыйымдылық сипатқа ие, бұл ретте сыйымдылық кедергі индуктивті кедергіден көп.

$$x_L < x_C;\ U_L < U_C$$



Векторлық диаграмманы құру индуктивті сипаттағы тізбекке ұқсас орындалады, мұнда фазалардың ығысуы теріс және индуктивті кернеу сыйымдылықты кернеуден алынып тасталады.

Есептердің үлгісі

Тізбек кедергісі 25 Ом тізбектей қосылған резистордан, сыйымдылығы 200 мкФ конденсатордан және индуктивтілігі 30 мГн катушкадан тұрады. Тізбекте өтетін ток 0,75 А тең. U, UR, UL, UC, φ анықтаңыз. Векторлық диаграмма құрып, тізбектің сипатын анықтаңыз.

Әрбір элементтегі кернеуді табамыз:

$$U_R = IR = 0{,}75 \cdot 25 = 18{,}75 \text{ В}$$

$$U_L = IX_L = 2\pi fL \cdot I = 2 \cdot 0{,}75 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}0002 = 7{,}069 \text{ В}$$

$$U_\text{C} = IX_\text{C} = \frac{I}{2\pi f\text{C}} = \frac{0{,}75}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}0002} = 11{,}937 \text{ В}$$

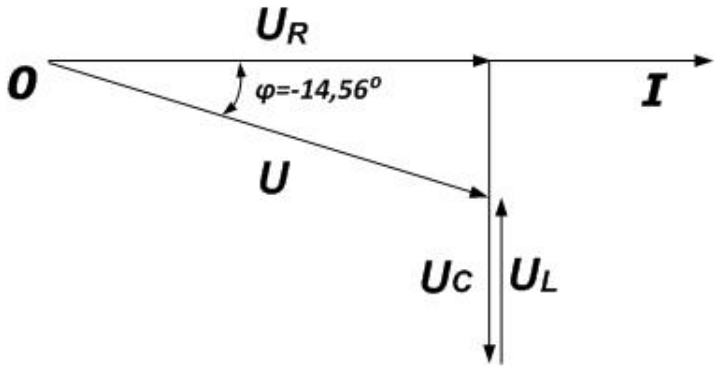
Тізбектегі жалпы кернеу:

$$U = I\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = 0{,}75 \cdot \sqrt{25^2 + (9{,}42 - 15{,}915)^2} = 19{,}37 \text{ В}$$

Фазалардың ығысуы тең:

$$\varphi = arctg\frac{x_L - x_C}{R} = arctg\frac{9{,}42 - 15{,}915}{25} = -14{,}56^0$$

Векторлық диаграмма:



Векторлық диаграммадан тізбектің сыйымдылық сипаты бар деген қорытынды жасауға болады.

10 нұсқа бойынша өзіндік жұмысқа арналған тапсырмалар

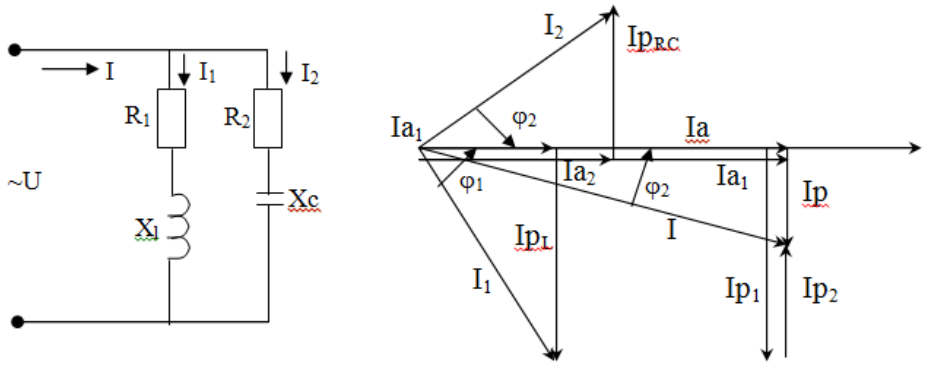
Тізбектей қосылған қосылған белсенді кедергіден R, индуктивтіліктен L және сыйымдылықтан C тұратын электр тізбегі үшін белсенді, реактивті және толық қуатты анықтаңыз, егер айнымалы ток жиілігі f=50 Гц болса. Тізбек сұлбасын сызу. Масштабта тізбектің векторлық диаграммасын; кедергілер мен қуаттың үшбұрыштарын құру. Тізбектің берілген параметрлері үшін кернеудің резонансы қандай жиілікте болатынын анықтау.

2.3 кесте Тізбек параметрлері

Тізбек пара метрлері	Нұсқаулар									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
R, Ом	3	4	12	6	16	8	24	32	12	9
L, мГН	25,5	31,85	102	38,22	12,74	6,37	127,4	114,65	50,95	76,43
C, мкФ	796	455	166	796	199	398	398	265	455	265
U, В	50	100	200	120	400	100	160	200	150	300

Ескерту. Реактивті кедергілер шамаларын $X_L X_C$ бүтін сандарға дөңгелектеңіз.

2.2.2. Өткізгіштік әдісімен айнымалы токтың тармақталған тізбектерін есептеу



$$I_{A1} = I_1 \cdot \cos\varphi_1 = \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{R_1}{Z_1} = U \cdot \left(\frac{R}{Z_1^2}\right) = U \cdot g_1$$

Белсенді өткізгіштік: $\frac{R_1}{Z_1^2} = g_1$; $[g] = [См]$

$$I_a^2 = I_2 \cdot \cos\varphi_2 = \frac{U}{Z_2} \cdot \frac{R_2}{Z_2} = U \cdot g_2$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin\varphi_1 = \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{X_2}{Z_1} = U \cdot b_1$$

Реактивті, сыйымдылықты өткізгіштік: $b_1 = \frac{X_l}{Z_1^2}$; $[b] = [См]$

$$I_{p2} = I_2 \cdot \sin\varphi_2 = U \cdot b_2; \; b_2 = \frac{X_c}{Z_2^2};$$

$$I_1 = \sqrt{Ia_1^2 + Ip_1^2} \qquad I_2 = \sqrt{Ia_2^2 + Ip_2^2}$$

$$I = \sqrt{(Ia_1 + Ia_2)^2 + (Ip_1 \pm Ip_2)^2} = U\sqrt{(g_1 + g_2)^2 + (b \pm b_2)^2} = U \cdot y$$

Толық өткізгіштік: $y = \sqrt{g^2 + b^2}$

$$I_{общ} = U \cdot y;$$

$$Cos\varphi_1 = \frac{g_1}{y_1}; \; Cos\varphi_2 = \frac{g_2}{y_2}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = U \cdot U \cdot y\frac{g}{y} = U^2 \cdot g;$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = U \cdot U \cdot y \cdot \frac{\pm b}{y} = \pm U^2 b;$$

$$S = U \cdot I = U \cdot U \cdot y = U^2 \cdot y$$

Өткізгіштік әдісі арқылы тармақталған тарамдарды есептеу алгоритмі:

1. $Zb^2 = Rb^2 + Xb^2$
2. $gb = \frac{Rb}{Zb^2}$
3. $b_b = \pm\frac{Xb}{Zb^2}$
4. $y_b = \sqrt{g_b^2 + b_b^2}$
5. $I_b = U \cdot y_b$
6. $Ia_b = U \cdot g_b$
7. $Ip_b = U \cdot b_b$
8. $g = g_1 b + g_2 b$
9. $b = b_1 b \pm b_2 b$
10. $y = \sqrt{g^2 + b^2}$
11. $I = U \cdot y$
12. $Cos\varphi = \frac{g}{y}$; $Sin\varphi = \frac{b}{y}$
13. $P = U^2 \cdot g$
14. $Q = U^2 \cdot (\pm b)$
15. $S = U^2 \cdot y$

№1 тапсырма

Берілгені:

R_1=12 Ом

R_2=8 Ом

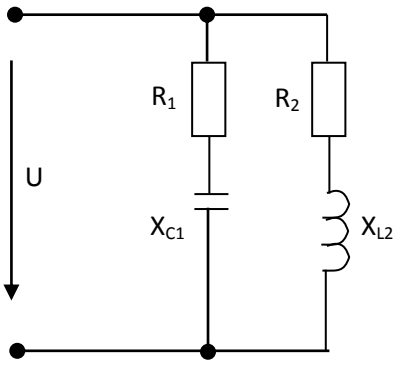
X_{c1}=16 ОМ

X_{l2}=10 Ом

Q_{L2}=250 Вар

I_1, I_2, I, U, P, Q, S = ?

Тізбектің векторлық диаграммасын масштабта сызу



Шешімі.

1. $Z_1^2 = \frac{R_1}{R_1^2 + Xc_1^2} = \frac{12}{144+256} = \frac{12}{400} = 0{,}03;$

2. $Z_2^2 = 64 + 100 = 164;\quad g_2 = \frac{8}{164} = 0{,}049;$

3. $b_1 = -\frac{16}{400} = 0{,}04;$ $b_2 = -\frac{10}{164} = 0{,}06;$

4. $Q_{L2} = U^2 \cdot b^2 \Longrightarrow U^2 = \frac{250}{0{,}06} = 4167 \Longrightarrow U = 65$ В;

5. $y_1 = \sqrt{(0{,}03)^2 + (0{,}04)^2} = \sqrt{0{,}0009 + 0{,}0016} = 0{,}05 \Rightarrow I_1 = U \cdot y_1 = 65 \cdot 0{,}005 =$ 3,25 A; $I_1 = 3{,}25$ А;

6. $y_2 = \sqrt{(0{,}049)^2 + (0{,}06)^2} = \sqrt{0{,}0024 + 0{,}0036} = 0{,}078 \Rightarrow I_2 = U \cdot y_2 = 65 \cdot 0{,}078 =$ 5,03 A; $I_2 = 5{,}03$ А;

7. g=0,03+0,049=0.079; b=–0,04+0,06=0,02;

$y = \sqrt{0{,}079^2 + 0{,}02^2} = \sqrt{0{,}00624 + 0{,}0004} = 0{,}081;$

I = U·y= 65·0,081= 5,3 А; I=5,3 А;

$tg\varphi_1 = -\frac{0{,}03}{0{,}04} = (-0{,}75) = 1{,}33;$ $\varphi_1=53^0$

$tg\varphi_2 = -\frac{0{,}049}{0{,}06} = (0{,}82) = 1{,}22;$ $\varphi_2=50^0$;

$tg\varphi = \frac{0{,}079}{0{,}02} = 3{,}95;$ $\varphi=14^0$;

8. $P = U^2 \cdot g = 65^2 \cdot 0{,}079 = 4225 \cdot 0{,}079 = 334$ Вт.

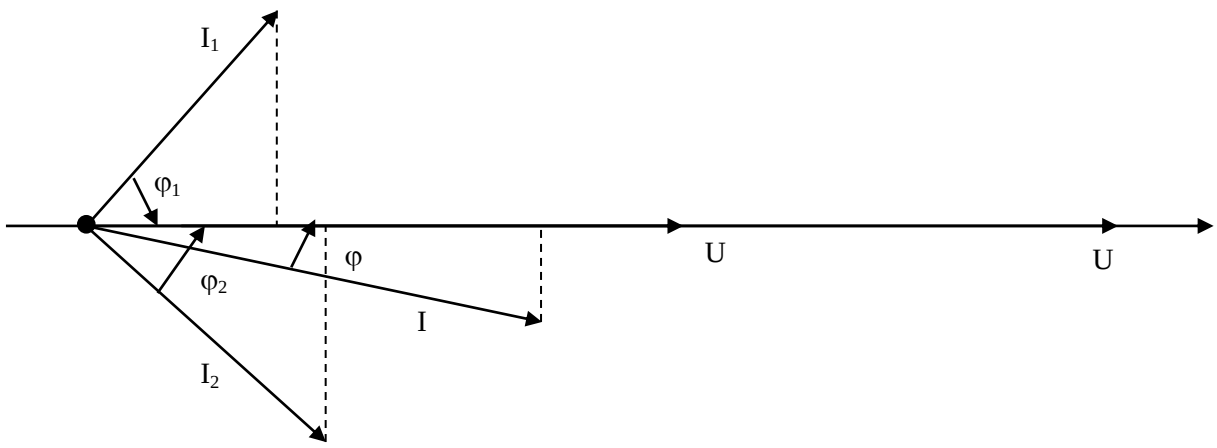
9. $Q = U^2 \cdot b = 65^2 \cdot 0{,}02 = 85$ Вар.

10. $S = U^2 \cdot y = 65^2 \cdot 0{,}081 = 342$ ВА

U = 65 В; $I_1 = 3{,}25$А; $I_2 = 5{,}03$ А; I = 5,3 А.

$\varphi = 14^0$ $\varphi_1 = 53^0$ $\varphi_2 = 50^0$

$M_I = \frac{1см}{1A}$ $M_U = \frac{1см}{10B}$



2.2.3. Кешенді сандарды қолданыпайнымалытоктың тармақталған тізбектерін есептеу

№2 тапсырма

Берілгені:

R_1= 4 Ом

R_2= 8 Ом

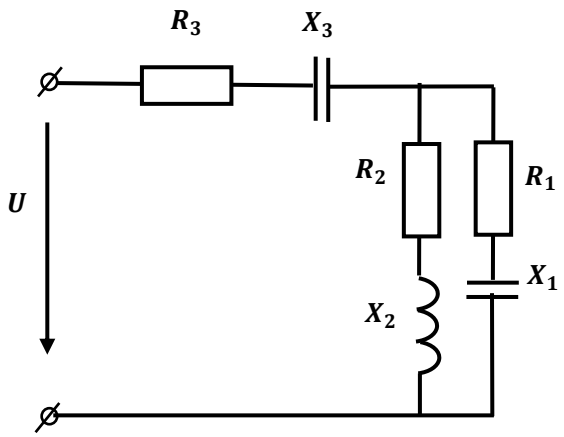
R_3= 2 Ом

X_1= 3 Ом

X_2= 6 Ом

X_3= 7 Ом

U= 200 В



Тізбектің барлық тармақтарындағы токтар мен кернеуді анықтау, P, Q, S. Векторлық диаграмма құру. (I_3, I_1, I_2, U_3, U_1, U_2, P, Q, S, В, Д анықтау)

Шешімі:

1. $\underline{Z}_1 = 4 - j3 = 5e^{-j36}$; $\underline{Z}_2 = 8 + j6 = 10e^{j36}$; $\underline{Z}_3 = 2 - j7 = 7{,}3e^{-j68}$

$$\underline{Z}_{2,1} = \frac{\underline{Z}_2\,\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2+\underline{Z}_1} = \frac{5e^{-j36}\;10e^{j36}}{12+j3} = \frac{50(12-j3)}{(12+j3)(12-j3)} = \frac{50(12-j3)}{153} = 4{,}12e^{-j14} = 4 - j$$

$\underline{Z} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_{2,1} = 4 - j + 2 - j7 = 6 - j8 = 10e^{-j53}$

2. $\underline{I}_3 = \underline{I} = \frac{U}{Z} = \frac{200}{10e^{-j53}} = 20e^{j53}$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_3\,\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1+\underline{Z}_2} = \frac{20e^{j53}\;5e^{-j36}}{12+j3} = \frac{100e^{j17}}{12{,}4e^{j14}} = 8{,}24\,e^{j3}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_3\,\frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1+\underline{Z}_2} = \frac{20e^{j53}10e^{j36}}{12{,}4e^{j14}} = 16{,}5e^{j75}$$

3. $\underline{U}_3 = \underline{I}_3\,\underline{Z}_3 = 20e^{j53}\cdot 7{,}3e^{-j68} = 146e^{-j15}$

$\underline{U}_1 = \underline{I}_1\,\underline{Z}_1 = 16{,}5e^{j75}\cdot 5e^{-j36} = 82{,}5e^{j39}$

$\underline{U}_2 = \underline{I}_2\,\underline{Z}_2 = 8{,}24\,e^{j3}\,10e^{j36} = 82{,}4e^{j39}$

4. $\underline{S} = \underline{U}\,\underline{I}^* = 200\cdot 20\,e^{-j53} = 4000\,e^{-j53} = 2400 - j3200$

S = 4000 В А; Q_c = 3200 Вар; P = 2400 Вт;

$\underline{U}_3 = 146e^{-j15}$; $\underline{U}_1 = 82{,}5e^{j39}$; $\underline{U}_2 = 82{,}4e^{j39}$; $M_U = \frac{1\ \text{см}}{20\ \text{В}}$;

$\underline{I}_2 = 8{,}24\,e^{j3}$; $\underline{I}_1 = 16{,}5e^{j75}$; $\underline{I}_3 = 20e^{j53}$; $M_i = \frac{1\ \text{см}}{5\text{а}}$.

2.3. Айнымалы токтың симметриялы және симметриялы емес үшфазалы тізбектерін есептеу

2.3.1. Айнымалы токтың симметриялы үшфазалы тізбектері

1. «Жұлдызбен» қосу

Есептеу тәртібі

№3 тапсырма

Берілгені:

$U_Л = U_{AB} = U_{BC} = U_{AC}$

$Z_A = Z_B = Z_C$

Табу керек: фазалық ток пен кернеуді, желілік токті, фаза бойынша жылжу бұрыштарын, белсенді, реактивті және толық фазалар мен бүкіл жүйенің қуаттарын.

Шешімі:

1. Фазалық кернеулерді есептейміз:

$U_ф = U_Л / \sqrt{3}$

2. Фазалық және желілік токтарды анықтаймыз:

$I_ф = I_Л = \frac{U_ф}{Z_ф}; \quad Z_ф = \sqrt{R_ф^2 + X_ф^2}$

3. Кернеу мен ток арасындағы фаза бойынша жылжу бұрыштарын анықтаймыз:

$\cos\varphi = \frac{R_ф}{Z_ф}; \quad \sin\varphi = \frac{X_ф}{Z_ф}; \quad tg\varphi = \frac{X_ф}{R_ф}$

4. Бір фазаның белсенді қуатын анықтаймыз:

$P_ф = U_ф I_ф \cos\varphi = I_ф^2 R_ф$, Вт

5.Бір фазаның реактивті қуатын анықтаймыз:

$Q_ф = U_ф I_ф \sin\varphi = I_ф^2 X_ф$, Вар

6. Фазаның толық қуатын анықтаймыз:

$S_ф = U_ф I_ф$

7. Бүкіл жүйенің белсенді қуатын анықтаймыз:

$P = 3P_Ф$

8. Бүкіл жүйенің реактивті қуатын анықтаймыз:

$Q = 3Q_ф$

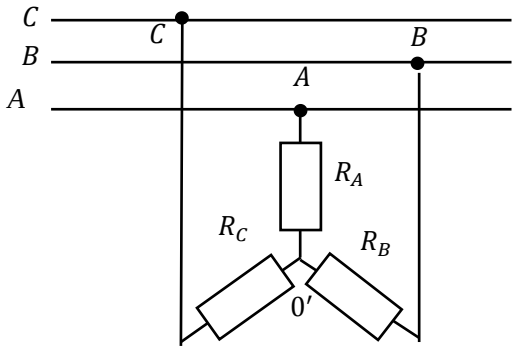
9. Бүкіл жүйенің толық қуаты:

$S = 3Sф$

№4 тапсырма

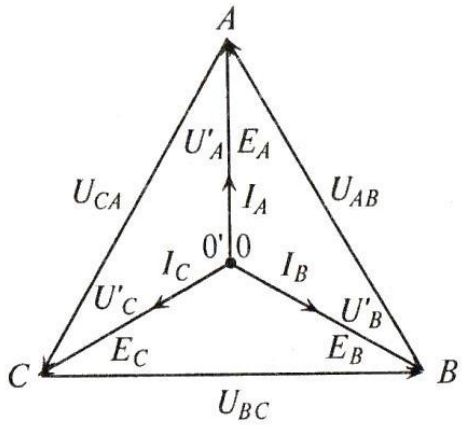
Желілік кернеуі Uл=220 В үшфазалы үш сымды желіге «жұлдызбен» қосылған, кедергісі RA=RB=RC=10 Ом тұтынушы қосылған.

Әр фазаның кернеуін, тогын, белсенді, реактивті және толық қуатын анықтау.



Шешімі:

Векторлық диаграмма құрамыз.



Бұл режимде біркелкі жүктеме (RA=RB=RC) болғандықтан, бейтараптың ығысу кернеуі UN=0.

Тұтынушылардың әр фазасында кернеуді анықтаймыз, генератор орамасының ішкі кедергісін елемейміз.

Желілік кернеулер тең болғандықтан:

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_л}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1.73} = 127 \text{ В}$$

Тұтынушының әр фазасының тогын анықтаймыз:

$$I_A = I_B = I_C = \frac{U_ф}{R_ф} = \frac{U_A}{R_A} = \frac{127}{10} = 12.7 \text{ А}$$

Желілік токтарды анықтаймыз:

$$I_Л = I_Ф = 12.7 \text{ А}$$

$P = 3\ U_ф \cdot I_ф \cos\varphi = 3 \cdot 127 \cdot 12{,}7 \cdot 1 = 4838{,}7$ Вт ($\cos\varphi = 0$,т.к. жүктеме белсенді)

$Q = 3\ U_ф \cdot I_ф \sin\varphi = 3 \cdot 127 \cdot 12{,}7 \cdot 0 = 0$ и $P = S = 4838{,}7$ ВА

№5 тапсырма

Генератор мен тұтынушының фазалары жұлдыз жүйесі бойынша қосылған, фазалық ток 1,27 А құрайды, бір фазаның белсенді кедергісі 80 Ом, бір фазаның реактивті кедергісі 60 Ом құрайды. Сызықтық кернеу мен токты, фазалық кернеуді, кернеу мен ток арасындағы фаза бойынша жылжу бұрышын, толық, белсенді, бүкіл жүйенің реактивті қуатын табу керек.

2. Үшбұрышпен» қосу

№6 тапсырма

Үшбұрышқа келесі кедергілері бар үш қабылдағыш қосылған:

R_{AB} = 6 Ом, R_{BC} = 12 Ом, R_{CA}=10 Ом.

X_{AB} = 8 Ом, X_{BC} = 9 Ом, X_{CA}=15 Ом.

Егер желінің кернеуі 220 В болса, онда үшфазалы жүйенің белсенді қуатын анықтау керек.

№7 тапсырма

Uл=220 В сызықтық кернеуі бар үшфазалы үш сымды желіге RAB=RBC=RCA=10 Ом кедергісі бар «үшбұрышпен» қосылған тұтынушы қосылған.

Шешімі:

Желілік және фазалық кедергілер тең болса, онда:

$U_A = U_B = U_C = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_Ф = 220$ В

Тұтынушының әр фазасының тогын анықтаймыз:

$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = \frac{U_ф}{R_ф} = \frac{220}{10} = 22$ А

Желілік токтарды анықтаймыз:

$I_Л = \sqrt{3}\, I_Ф = 38{,}06$ А

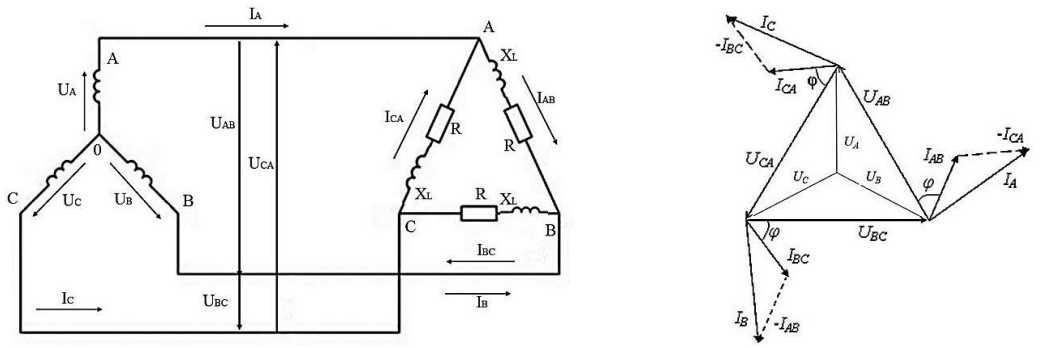
$P = 3\, U_ф \cdot I_ф \cos\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 22 \cdot 1 = 14520$ Вт ($\cos\varphi = 0$,т.к. жүктеме белсенді)

$Q = 3\, U_ф \cdot I_ф \sin\varphi = 3 \cdot 127 \cdot 12{,}7 \cdot 0 = 0$ и $P = S = 14520$ ВА

№8 тапсырма

«Жұлдызбен» жалғанған фазалық кернеуі 127 В генераторға үшбұрышпен жалғанған тұтынушы қосылған. Әрбір фазаның белсенді кедергісі R= 8 Ом, индуктивті XL = 6 Ом.

Генератордың әр фазасындағы оларға қуат беретін токты анықтау және векторлық диаграмма құру (2.3-сурет).



2.3-сурет. Генераторды «жұлдызбен» және «үшбұрышпен» қосу. Векторлық диаграмма

Шешімі:

Векторлық диаграмма құрамыз.

Тұтынушының әрбір фазасындағы кернеуі $E_{фп}$ генераторының сызықтық кернеуіне $E_{лг}$ тең:

$U_{фп} = U_{лг} = \sqrt{3}\ U_{фг} = 127 \cdot 1{,}73 = 220$ В

Тұтынушының әр фазасының кедергісі тең:

$Z_{фп} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{8^2 + 6^2}$ 10 Ом

Тұтынушының әр фазасының тогы (жүктеме біркелкі):

$I_{фп} = \frac{U_{фп}}{Z_{фп}} = 220/10 = 22$ А

Генератордың әрбір фазасында «үшбұрышпен» қосылған тұтынушының желілік тогы өтеді, яғни:

$I_ф = I_{лп} = \sqrt{3}\ I_{фп} = 1{,}73 \cdot 22 = 38$ А.

Генератор беретін қуат (белсенді қуат) тең:

$P = \sqrt{3}\ U_л\ I_л \cos\varphi$

мұнда: $\cos\varphi = \frac{R}{Z_{пф}} = \frac{8}{10} = 0{,}8$

Демек,

$P = \sqrt{3}\ U_л\ Iл \cos\varphi = 1{,}73 \cdot 220 \cdot 38 \cdot 0{,}8 = 11570$ Вт

φ бұрышы (cos φ-тен) 36^0 тең.

Осылайша, тұтынушы фазасының тогы кернеуден 37^0 бұрышқа артта қалады, себебі жүктеменің сипаты индуктивті болып табылады.

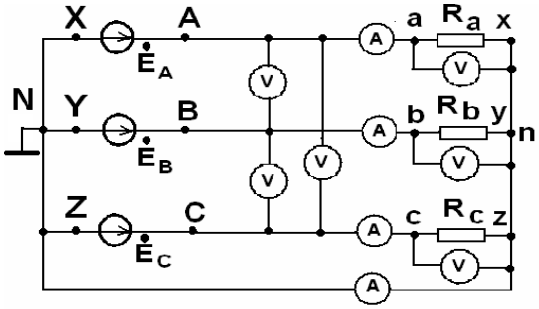
№9 тапсырма

Генератор мен тұтынушының фазалары «үшбұрыш» жүйесі бойынша қосылған, фазалық ток 1,27 А құрайды, бір фазаның белсенді кедергісі 80 Ом, бір фазаның реактивті кедергісі 60 Ом құрайды.

Сызықтық кернеу мен токты, фазалық кернеуді, кернеу мен ток арасындағы фаза бойынша жылжу бұрышын, толық, белсенді, бүкіл жүйенің реактивті қуатын табу керек.

3. n≠0 кедергісімен бейтарап сыммен симметриялы емес жүктеме кезінде үшфазалы тізбекті есептеу

Есептеу алгоритмі:



1. Параллель тармақтардың өткізгіштігін есептейміз: $y_а = \frac{1}{Zа}$; $y_в = \frac{1}{Zв}$; $y_с = \frac{1}{Zс}$.

2. Генератордың кешенді ЭҚК фазасын құраймыз.

3. Бейтараптың ығысуын мына формула бойынша есептейміз:

$$U_{nN} = \frac{E_A \cdot y_a + E_B \cdot y_b + E_C \cdot y_c}{y_a + y_b + y_c}; Zn = \infty, \text{ онда } y_N = 0, \quad (2.4)$$

4. Кирхгофтың екінші заңы бойынша қабылдағыштың фазалық кернеуін табамыз:

$U_A = E_A - U_{nN}$; $U_B = E_B - U_{nN}$; $U_C = E_C - U_{nN}$

5. Фазалық және желілік токтарды табамыз:

$I_A = I_a = U_A \cdot y_a$; $I_B = I_в = U_B \cdot y_в$; $I_C = I_c = U_C \cdot y_c$

$I_N = I_A + I_B + I_C = 0$

6. Қуаттарды есептейміз: $P = \sum P_ф = Pa + Pв + Pc$;

$$Q = \sum Q_ф = Qa + Qв + Qc; \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

№10 тапсырма (бейтарап сыммен «жұлдызбен» қосу (2.4-сурет) және Zn≠0, Zn=∞)

$U_л$=230 В, R_a=10 Ом, $R_в$=20 Ом, R_c=50 Ом

Анықтау: I_A, I_B, I_C, I_N, қуаттар, токтардың векторлық диаграммасын құру

1. $y_а = \frac{1}{Zа} = 0{,}1$ См, $y_в = \frac{1}{Zв} = 0{,}05$ См, $y_с = \frac{1}{Zс} = 0{,}02$ См

2. $E_ф = \frac{Uл}{\sqrt{3}} = 133$В, E_A=133, E_B=$133e^{-j120}$, E_C=$133e^{j120}$

3. $U_{nN} = \frac{E_A \cdot y_a + E_B \cdot y_b + E_C \cdot y_c}{y_a + y_b + y_c} = \frac{133 \cdot 0{,}1 + 133e^{-j120} \cdot 0{,}05 + 133e^{j120} \cdot 0{,}02}{0{,}17} = 50{,}8 - j20{,}3 = 54{,}7e^{-j22}$

4. $U_A = E_A - U_{nN} = 133 - 50{,}8 + j20{,}3 = 84{,}5e^{j14}$;

$U_B = E_B - U_{nN} = 133e^{-j120} - 50{,}8 + j20{,}3 = 151e^{-j129}$;

$U_C = E_C - U_{nN} = 133e^{j120} - 50{,}8 + j20{,}3 = 179e^{-j229}$

5. $I_A = \ I_a = U_A \cdot y_a = 0{,}1 \cdot 84{,}5e^{j14} = 8{,}45e^{j14}$;

$I_B = I_в = U_B \cdot y_в = 0{,}05 \cdot 151e^{-j129} = 7{,}55e^{-j129}$

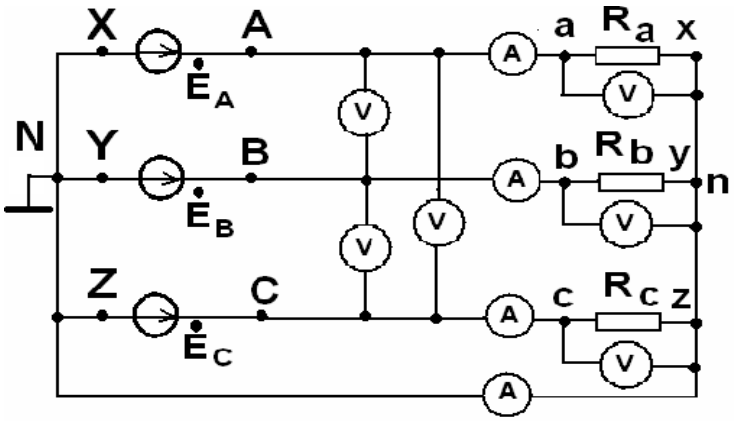
$I_C = I_c = U_C \cdot y_c = \ 0{,}02 \cdot 179e^{-j229} = 3{,}58e^{-j229}$

Тексеру: $I_N = I_A + I_B + I_C = 8{,}45e^{j14} + 7{,}55e^{-j129} + 3{,}58e^{-j229} =$ 8,22 + j2,05-5,87- j4,75-2,35+ j2,7=0

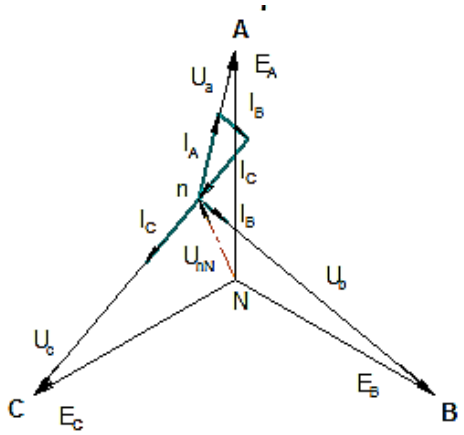
4. Симметриялы емес режим кезіндегі үшфазалы тізбекті есептеу (Zn=0)

Симметриялы емес режим Za≠ Zв≠ Zc кезіндегі кернеулер мен токтардың қолданыстағы мәндерімен сипатталады.

U_{nN} - бейтараптың ығысуы – көз және қабылдағыш бейтараптарының потенциалдарының айырмасы. Қуаты жоғары қабылдағыштың фазасында бейтараптың ығысуынан қалыпты кернеумен салыстырғанда төменірек болады. Симметриясыздықты жою үшін бейтарап сым қолданылады.



2.4-сурет. Бейтарапты жұлдыз



2.5 сурет. Бейтарап сымсыз фазалардың біркелкі емес жүктемесі

$$\underline{U}_{nN} = \frac{E_A \cdot y_a + E_B \cdot y_b + E_C \cdot y_c}{y_a + y_b + y_c + y_N} \qquad (2.5)$$

мұнда U_{nN} – түйінді кернеу

Симметриялы қабылдағышта уа =ув =ус; $U_{nN} = \frac{(E_{A\cdot}+E_{B\cdot}+E_{C\cdot})y_ф}{3y_ф+y_N} = 0$ және бейтарап сымның қажеті жоқ (2.5-сурет), симметриясызда, егер Z_n=0, онда $y_N = \frac{1}{0} = \infty \rightarrow U_{nN} = \frac{E_{A\cdot}y_a+E_B\cdot y_b+E_C\cdot y_c}{y_a+y_b+y_c+\infty} = 0$,

U_{nN}=0 (қабылдағыштың фазалық кернеулері мәжбүрлі теңестіріледі)

№11тапсырма (бейтарап сыммен «жұлдызбен» жалғау және Z_n=0)

$U_л$=230 В, $R_а$=10 Ом, $R_в$=20 Ом, $R_с$=50 Ом

Анықтаймыз: $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, $\underline{I}_N$, токтардың векторлық диаграммасын құру

$E_A = E_B = E_C = \frac{U_л}{\sqrt{3}}$= 133 В, $\underline{U}_A$=133, $\underline{U}_B = 133e^{-j120}$, $\underline{U}_C = 133e^{j120}$

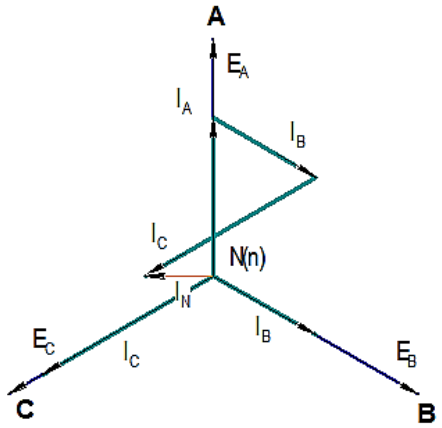
$\underline{I}_A = \frac{UA}{Ra} = 13{,}3$ А, $\underline{I}_B = \frac{133e^{-j120}}{20} = 6{,}66e^{-j120} = -3{,}33 - j5{,}75$

$\underline{I}_C = \frac{133e^{j120}}{50} = 2{,}66e^{j120} = -1{,}33 + j2{,}3$

$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 13{,}3 - 3{,}33 - j5{,}75 - 1{,}33 + j2{,}3 = 9{,}35e^{-j21}$

$e^{j120} = -0{,}5 + j0{,}87$; $e^{-j120} = -0{,}5 - j0{,}87$

Токтардық векторлық диаграммасы (2.6-сурет).



2.6-сурет. Бейтарап сымы бар қабылдағыш фазаларының біркелкі емес жүктемесі

Бақылау сұрақтары:

1. Фазалардың біркелкі және біркелкі емес жүктемесі деп нені түсіну керек?

4. Бейтараптың ығысуының анықтамасы.

5. Энергия қабылдағыштарды жұлдызбен жалғағанда бейтарап сым қандай мәнге ие?

3-тарау. Электр машиналары мен трансформаторлардың құрылымы бойынша түрлері

3.1. Электр машиналары мен трансформаторлардың тағайындалуы, жіктелуі, қолданылу саласы, құрылымы және жұмыс істеу принципі

Тұрақты ток машынасының жұмыс істеу қағидасы және құрылымы

Тұрақты ток машинасы (3.1-сурет) екі негізгі бөліктен тұрады: қозғалмайтын бөлігі – СТАТОР, жылжымалы бөлігі – ЗӘКІР.

СТАТОР – тұғырдан және басты полюстерден тұрады. Тұғыр болаттан немесе шойыннан жасалған, құбырдан тұтас немесе дәнекерленген болаттан болуы мүмкін. Ол үлкен диаметрі бар болса, ажырайтын болуы мүмкін.

Тұғырдың ішкі бетіне полюстің өзекшесі бекітілген, оның ойықтарында қоздыру орамы салынған. Тұғыр бойынша негізгі магнит ағыны тұйықталады.

Негізгі полюстер негізгі магнит өрісін құру үшін қызмет етеді.

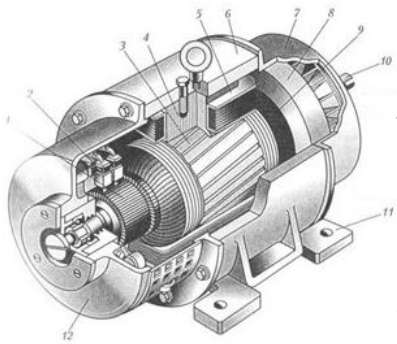
Қаңқалы және қаңқасыз полюсті катушкалар, катушканың материалы - мыс. Тұғырға мойынтіректі қалқандар бекітіледі, олардың ішінде мойынтіректер және графитті қылшақ ұстағыштар орналасқан.

ЗӘКІР – қалыңдығы 0,3; 0,8 мм электр техникалық болат пластиналарынан жасалған зәкір өзекшесі қатты салынған біліктен (электртехникалық болат) тұрады.

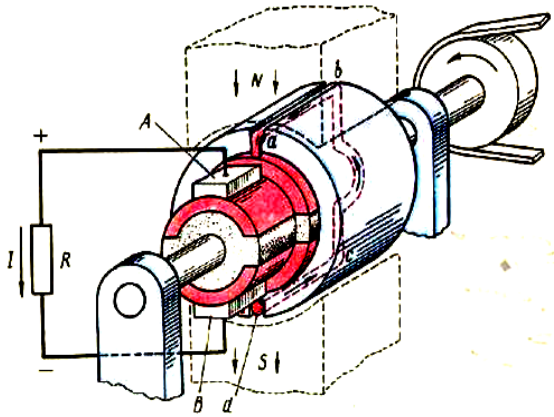
Өзекшенің ойықтарында шеттері коллекторға шығарылған дөңгелек немесе тікбұрышты қималы мыстан жасалған орам салынған.

КОЛЛЕКТОР – қатты жұқа тартылған мыстан жасалған трапециялы формадағы пластиналар, құйылатын формада орындалады. Коллекторлық пластиналар арасындағы оқшаулау меканитті төсемдермен жасалады.

Коллекторлық пластиналарға электр тогын алу немесе беру үшін қылшақтар жапсырылады. Коллекторлық-қылшақты торап деген - механикалық ток түрлендіргіш болып табылады.



1-коллектор
2-қылшақтар
3-зәкір өзекшесі
4-полюс өзекшесі
5-қоздырғыш катушка
6-тұғыр
7, 12-мойынтірек қалқаны
8-желдеткіш
9-зәкір орамы
10-білік
11-табандар



3.1-сурет. Тұрақты ток машиналарының құрылымы және жұмыс істеу принципі

Abcd рамкасы тұрақты магниттер арасында (магнит өрісінде) және электромагниттік индукция заңына сәйкес n жылдамдығымен айналады.

$$E=Bl\upsilon , \qquad (3.1)$$

мұнда B – магнитті индукция;

l – ұзындық;

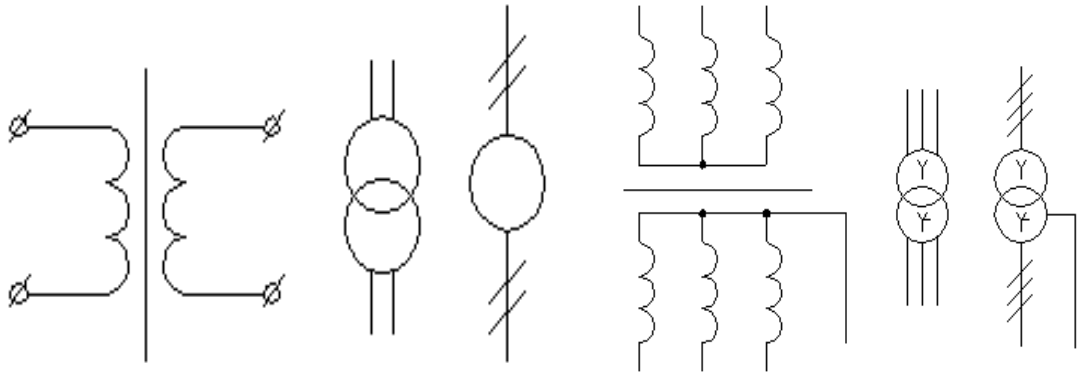
υ – жылдамдық.

Магнитті индукция сызықтарына перпендикуляр орналасқан ab және cd өткізгіштерінде ЭҚК жүргізіледі, оның бағыты оң қолдың ережесі бойынша анықталады, жүктемені қосқаннан кейін зәкір орамында ЭҚК бағыты бойынша сәйкес келетін ток пайда болады, өйткені сыртқы тізбекте ток оңнан (+) теріске (-) өтеді, онда $щ_1$ қылшағының полярлығы «-», $щ_2$ қылшағының полярлығы «+» болады.

Зәкір орамында ауыспалы ЭҚК келтіріледі, ол коллектордың және қылшақтың көмегімен сыртқы тізбекте лүпілдейтін болып, ал коллекторлық пластиналар мен рамкаларды сыртқы тізбекте ұлғайтқанда тұрақтыға түрленеді.

Трансформатор деп – екі немесе одан да көп индуктивті байланысқан орамдары бар және айнымалы токтың (бастапқы жүйенің) электр энергиясын айнымалы токтың (қайталама жүйенің) электр энергиясына түрлендіруге арналған статикалық электр магниттік құрылғы аталады, олар параметрлермен ерекшеленеді (3.2-сурет). Трансформаторлардың құрылымы трансформаторлардың мақсатына тәуелді. Осы белгі бойынша трансформаторлар мынадай негізгі түрлерге бөлінеді.

Жалпы қолданыстағы күштік трансформаторлар электр энергиясын беру және тарату үшін арналған.



3.2 сурет. Трансформаторлардың шартты белгілері:
а) бірфазалы; б) үшфазалы

Арнайы мақсаттағы трансформаторлар:

- өлшеуіш (ток пен кернеу) аспаптарды өлшеу шектерін кеңейту үшін қызмет етеді;

- пеш, дәнекерлеу – доғаның тұрақты жануы үшін U(220-380 В) кернеуін U(60-70 В) кернеуге түрлендіреді, (кедергі) R доға – аз, сондықтан трансформатор қысқа тұйықталу режимінде жұмыс істейді;

- радиотехникалық – радиода, сымдық байланыста, телемеханика автоматикасы жүйесінде тізбектердің гальваникалық бөлінуінің талап етілетін кернеулерін және т. б. алу үшін қолданылады;

- бастапқы және екінші орамдары тікелей қосылған автотрансформаторлар және осының есебінен магниттік байланысы ғана емес, электр байланысы да болады;

- түзеткіш трансформаторлар диодты немесе тиристорлы түзеткішпен біріктірілген.

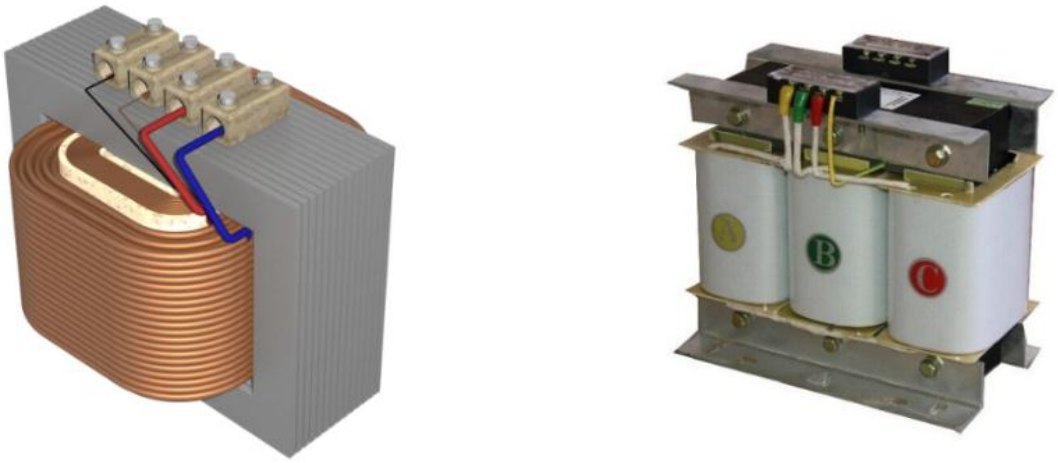
Бір мақсаттағы трансформаторлардың айырмашылылықтары болуы мүмкін:

1) салқындату түрі бойынша – ауамен (құрғақ) және майлы (майлы трансформаторлар) (3.3-сурет):

а) б)

3.3-сурет. Салқындату түрлері: майлы (а); құрғақ (б)

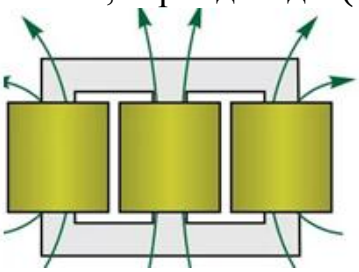
2) трансформацияланатын фазалар саны бойынша – бір фазалы және көп фазалы (3.4-сурет):



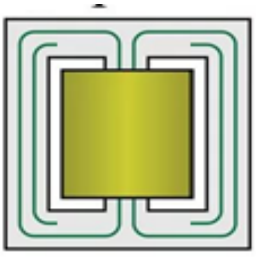
а) б)

3.4-сурет. Транформаторлар түрлері: бірфазалы (а); көпфазалы (б)

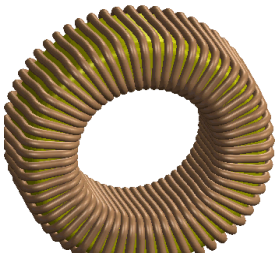
3) магнит өткізгіштердің түрлері бойынша - өзекті, орамсауытты, орамсауыт-өзекті, тороидальды (3.5-сурет):



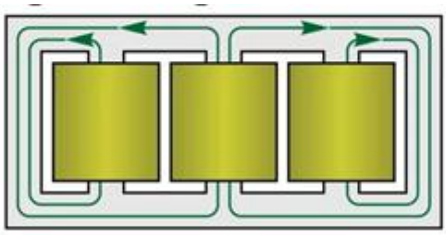
а)



б)



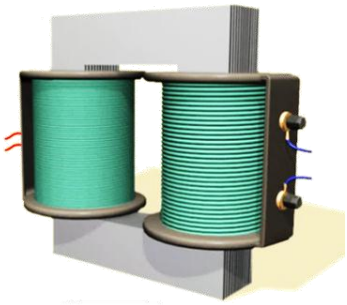
в)



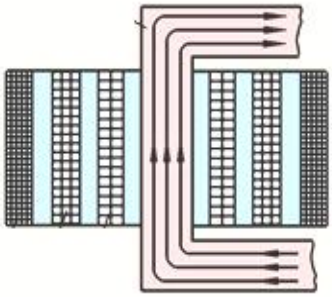
г)

3.5-сурет. Магнит өткізгіштердің түрлері: өзекті (а), орамсауытты (б), орамсауыт-өзекті (в), тороидальды (г)

4) орамдардың саны бойынша – қос орамды және көп орамды (3.6-сурет)



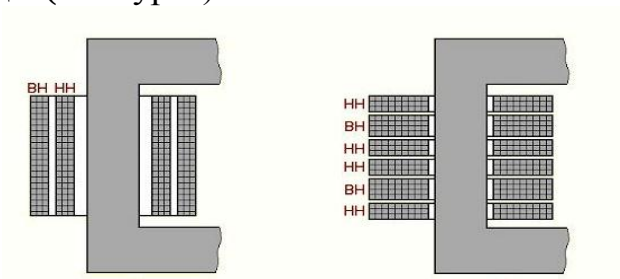
а)



б)

3.6-сурет. Трансформаторлардың орамдар саны бойынша түрлері:
а) қос орамды б) көп орамды

5) орамдардың құрылымы бойынша – концентрациялы және кезектесетін орамды (3.7-сурет):



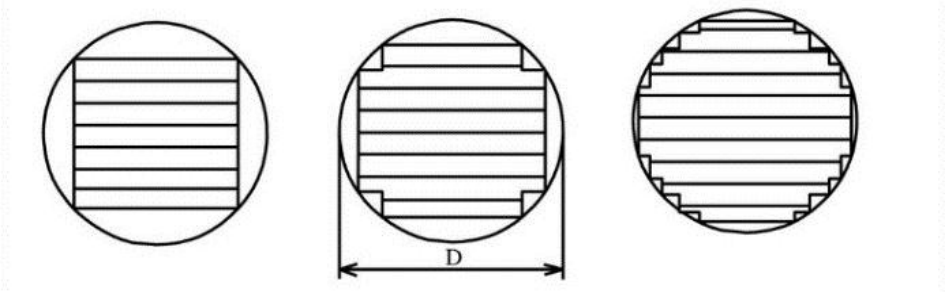
а) б)

3.7-сурет. Трансформаторлардың орамдар құрылымы бойынша түрлері
а) концентриялы және б) кезектесетін орамалары бар

Трансформаторлардың құрылымы

Трансформатор екі негізгі бөліктен тұрады:

1) **магнит өткізгіш** – түйісу немесе шихталған, орамсауытты немесе өзекті, тороидальды. Магнит өткізгіш қимасы (3.8-сурет) трансформатордың қуатына байланысты тікбұрышты немесе сатылы қима болуы мүмкін.

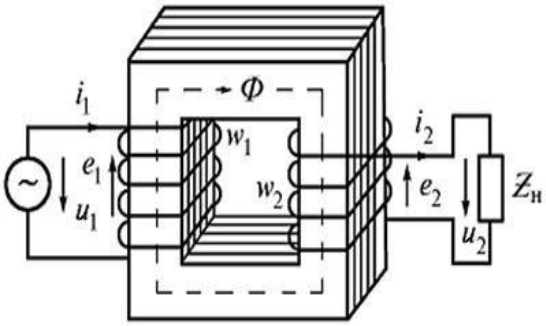


3.8-сурет. Магнит өткізгіштер қимасының түрлері

2) **орамалар** – мақта-мата иірімжіптермен немесе кабелдік қағазбен оқшауланған дөңгелек немесе тікбұрышты қима өткізгіштерден орындалады.

Орамдар өзекшелерде шоғырланған цилиндрлі және дискілі болады, ол өзекшелерде кезектесіп орналасады.

Трансформатордың жұмыс істеу қағидасы (3.9-сурет).



3.9-сурет. Трансформатордың электромагниттік сұлбасы

Бастапқы катушка U_1 айнымалы кернеуі бар желіге қосылған I_1 $\Rightarrow$ айнымалы ток пайда болады, осы токтың әсерінен магниттеуші күш туындайды, ол негізгі магниттік ағын жасайды F_1

Φ_1 бұл ағын магнитөткізгіш бойымен тұйықталады, бірінші және екінші катушкалардың орамдарымен түйіседі және электрмагниттік индукция заңына сәйкес оларға ЭҚК e_1, u, e_2 әкеледі.

$$\sim U_1 \Rightarrow \sim I_1 = \frac{U_1}{Z_1}\left(Z_1 = \sqrt{R_1^2} - X_1^2\right) \Rightarrow F_1 = I_1 \cdot \omega_1 \Rightarrow \Phi_0 \Rightarrow e_1 = -\omega_1 \frac{d\phi}{dt}\ , \quad (3.2)$$

$$\mathrm{e}_2 = -\omega_2 \frac{d\phi}{dt}\ , \quad (3.3)$$

Егер $\left.\begin{matrix}\omega_2 > \omega_1 \\ U_2 > U_1\end{matrix}\right\}$, трансформатор жоғарлатқыш болса:

$$K_{тр} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} > 1\ , \quad (3.4)$$

1 және 2 жүйелерінің номинал токтары:

$$I_{1\ ном} = \frac{S_н}{\sqrt{3}U_{1ном}}, \quad (3.5)$$

$$I_{2\ ном} = \frac{S_н}{\sqrt{3}U_{2ном}}, \quad (3.6)$$

мұнда $S_н$ - толық номинал қуат, $[S_н] = [кВА]$;

$U_{1н1}$ $U_{2н}$ - 1 және 2 жүйенің номинал кернеуі.

Синхронды машина дегеніміз – ротордың айналу жылдамдығы статордың магнит өрісінің айналу жылдамдығына тең болатын машина, f_1 – өнеркәсіптік жиілігі 50 Гц, р - полюстердің саны. Барлық синхронды машиналардың 90% – генераторлар.

Синхронды генератор – айнымалы ток машинасы болып табылады. Оның тұрақты ток машинасы алдындағы артықшылығы, бұл зәкір орамасының статорда орналасқандығында және жүктеме қатты қосылыспен жалғануы мүмкін, яғни сырғымалы түйіспе жоқ. Сондықтан синхронды генератор орнатуға болатын қуат тұрақты ток машинасының қуатынан әлдеқайда артық ($U_{сг}$ = 6 кВ, 20 кВ, $P_{сг}$ 800 МВт, 1200 МВт дейін).

Синхронды генераторларда **индуктор - ротор** болып табылады, оның бір немесе бірнеше айқын полюсті және айқын емес полюсті құрылымды полюстердің жұбы болуы мүмкін.

Ротор – ротордың өзекшесі немесе тұрақты магнит орналасқан біліктен тұратын машинаның жылжымалы бөлігі. Өзекшеге мыстан немесе алюминийден жасалған қоздыру орамасы оралған. Қоздыру орамасының ұштары екі контактілі (мыс) сақинаға, ал сақиналарға графиттен (мыс граффит) жасалған екі қылшақ келеді. Ротор орамасы бойынша тұрақты ток өтеді.

Статор – ішінде электртехникалық болат табақтарынан алынған өзекше орналасқан қаңқадан (тұғырдан) тұратын машинаның жылжымайтын бөлігі, өзекшенің ойықтарында зәкірдің үш фазалы орамасы салынған.

СГ бастапқы қозғалтқышы ретінде бу немесе гидравликалық турбиналар және іштен жану қозғалтқыштары қолданылады, сондықтан СГ келесі түрлерге бөлінеді:

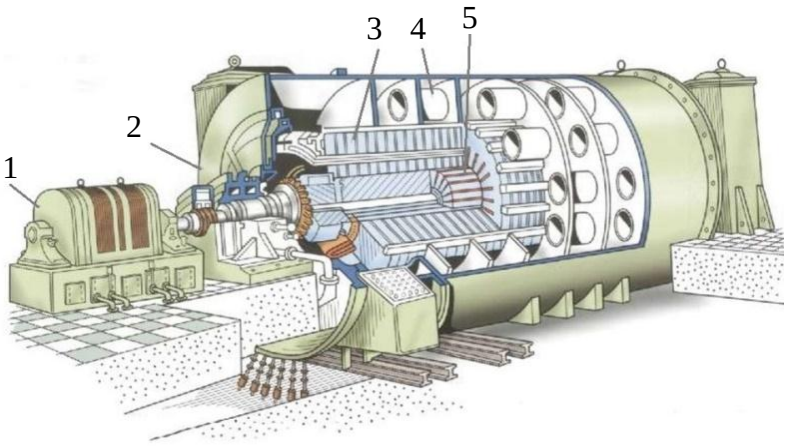
Турбогенератор (ТГ) (3.10-сурет):

А) жетекті қозғалтқыш – бу турбинасы;

Б) ЖЭО қолданылады;

В) айқын полюсті емес машина;

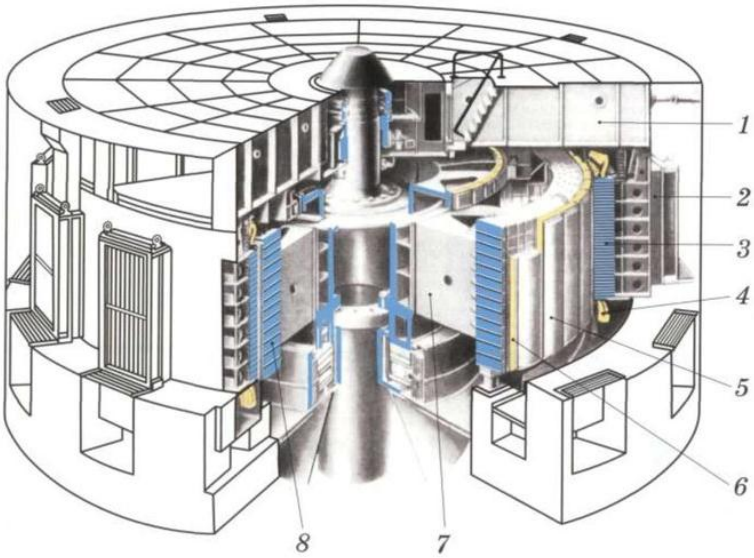
Г) жылдам жүретін машина n=600-3000 айн/мин, себебі $p = \frac{50*60}{3000}$ =1 жұп (2 полюс).



1- қоздырғыш,
2- қаңқа,
3-статор өзекшесі,
4-сутекті салқындату секциялары,
5-ротор

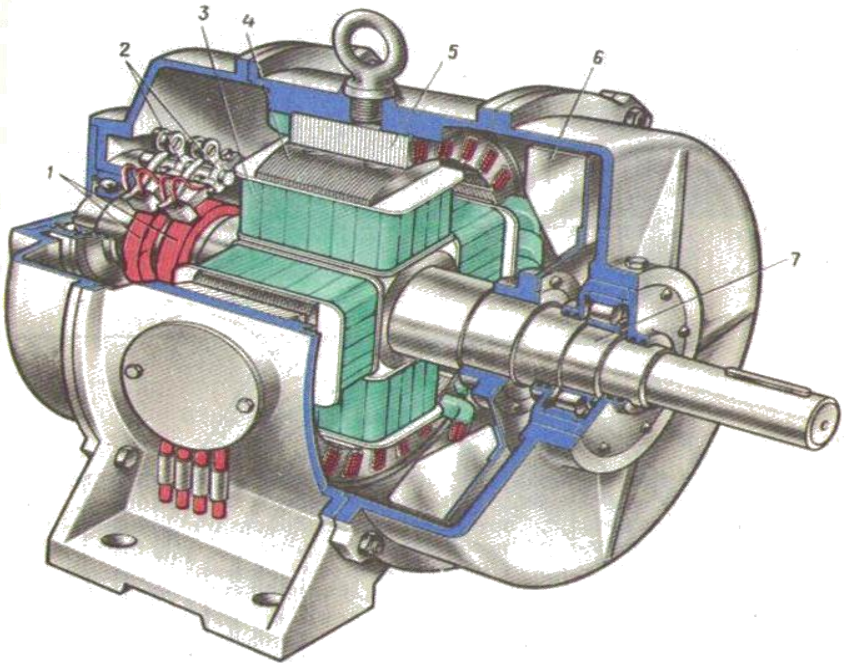
3.10-сурет. Турбогенератор

Гидрогенератор (ГТ) (3.11-сурет):
А) жетекті қозғалтқыш – турбина қалақтарына келетін су;
Б) СЭС-те қолданылады;
В) машина айқын полюсті;
Г) машина үш жүрісті n = 50-600 айн./мин.
себебі $n = \frac{f \cdot 60}{p} \rightarrow \text{p} = \frac{50 \cdot 60}{50} = 60$ жұп (120 полюс)



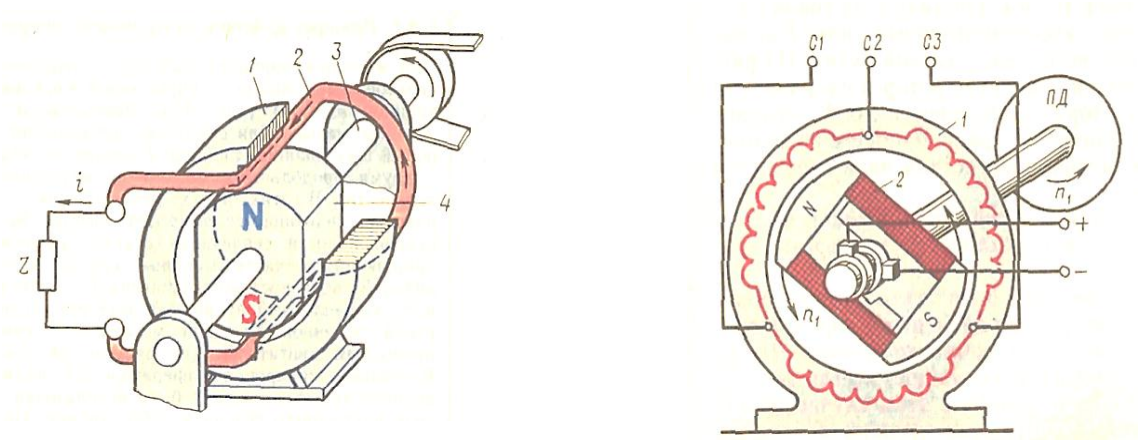
3.11-сурет. Гидрогенератор
1- жүк көтергіш айқастырма, 2- статор қаңқасы, 3- статор өзекшесі, 4- статор орамалары, 5- ротор полюстері, 6- ротор ормалары, 7- ротор шабақтары, 8- ротор тоғыны

Дизель генератор (3.12-сурет):
А) жетекті қозғалтқыш – іштен жанатын қозғалтқыш;
Б) шалғай аудандарда, әскери бөлімдерде қолданылады;
В) машина айқын полюсті n = 600 - 1500 айн./мин.



3.12-сурет. Дизель-Генератор
1-контактілі сақиналар, 2-қылшақ ұстағыштар, 3-ротордың полюсті катушкалары, 4-полюсті ұшы, 5-статордың өзекшесі, 6-желдеткіш, 7-білік

Синхронды генератордың жұмыс істеу қағидасы (3.13-сурет):



3.13-сурет. Синхронды генератордың жұмыс қағидасын түсіндіруге арналған электромагниттік сұлбалар

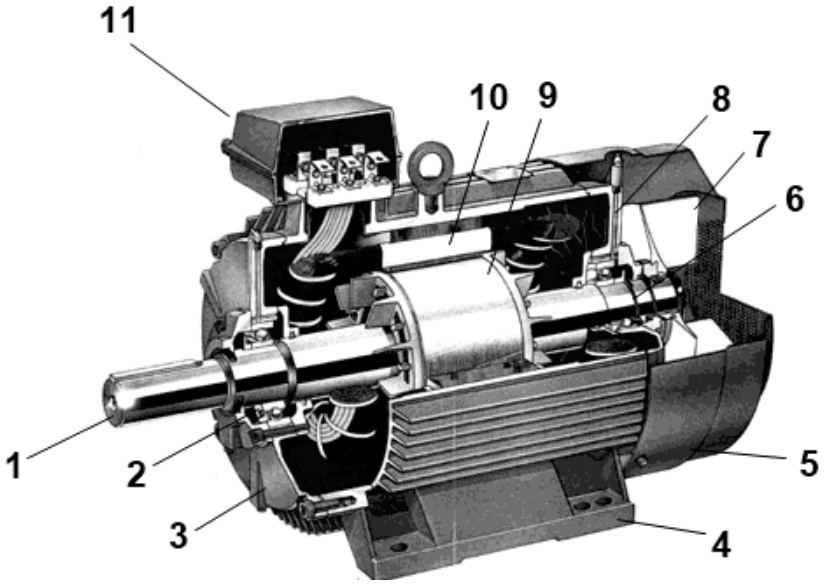
Қоздыру орамасы тұрақты токпен қоректенеді, демек, негізгі магниттік ағын ($Ф_{нег}$) пайда болады.

Жетекті қоздырғыш көмегімен ротор, мысалы, сағат тілі бойынша айналады делік, демек, магнит өрісі $n = \frac{f60}{p}$ жылдамдықпен айналады.

Осылайша статордың өткізгіштеріне электр магниттік индукция заңы $e = вlv$ әсер етеді. Яғни, статор орамасының өткізгіштерінде келтірілетін ЭҚК – ауыспалы болады, оның бағыты оң қолдың ережесімен анықталады.

Асинхронды қозғалтқыш (АҚ) – айнымалы токтың электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіруге арналған асинхронды машина. «Асинхрон» сөзі бір мезгілде емес дегенді білдіреді. Бұл жағдайда асинхронды қозғалтқыштарда статордың магнит өрісінің айналу жиілігі әрқашан ротордың айналу жиілігінен үлкен. Асинхронды қозғалтқыштар айнымалы ток желісінен анықтаудан көрініп тұрғандай жұмыс істейді.

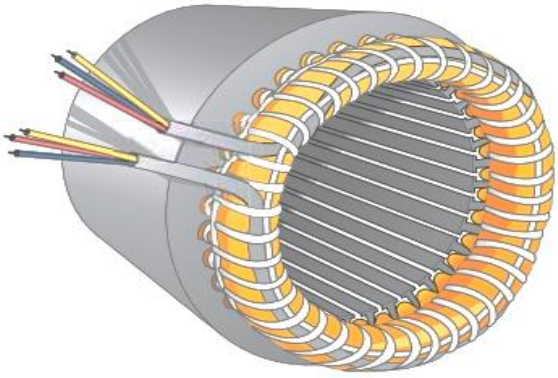
Қазіргі үш фазалы асинхронды қозғалтқыштар (3.14-сурет) электр энергиясын механикалық түрлендіргіштер болып табылады. Өзінің қарапайымдылығының, құнының төменділігінің және жоғары сенімділігінің арқасында асинхронды қозғалтқыштар кең қолданысқа ие болды. Олар барлық жерде бар, бұл қозғалтқыштардың ең көп таралған түрі, оларды әлемдегі қозғалтқыштардың жалпы санының 90% шығарады. Асинхронды электр қозғалтқыш шын мәнінде бүкіл әлемдік өнеркәсіпте техникалық төңкеріс жасады.



3.14-сурет. Фазалық роторы бар үшфазалы асинхронды қозғалтқыш
1-білік, 2, 6-мойынтіректер, 3, 8 - мойынтірек қалқандары, 4 - табандар, 5 - желдеткіш қаптамасы, 7 - желдеткіштің қанаты, 9 - қысқа тұйықталған ротор, 10-статор, 11-шықпалар қорабы

Асинхронды қозғалтқыштың негізгі бөліктері статор (10) және ротор (9) болып табылады.

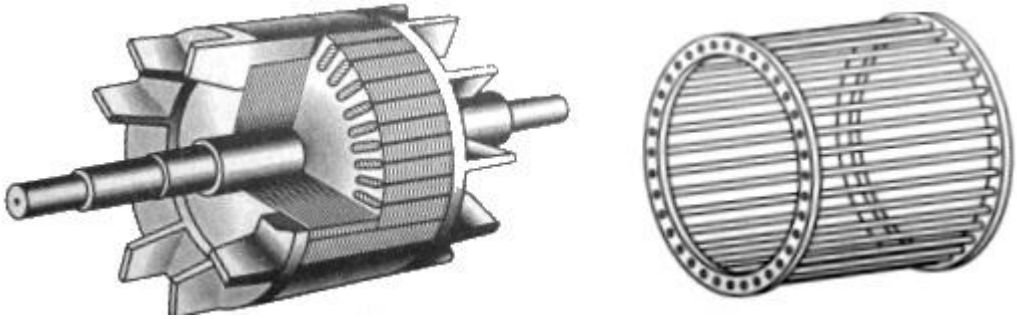
Статор цилиндр пішінді, және болат табақтан жиналады (3.15-сурет). Статор өзекшесінің ойықтарында орама сымнан жасалған статор орамалары салынған. Орамдардың осі кеңістікте бір-біріне қатысты 120^0 бұрышқа жылжиды. Берілетін кернеуге байланысты ораманың ұштары үшбұрышпен немесе жұлдызбен жалғанады.



3.15-сурет. Статор

Асинхронды қозғалтқыштың роторлары екі түрден тұрады: қысқа тұйықталған және фазалы ротор.

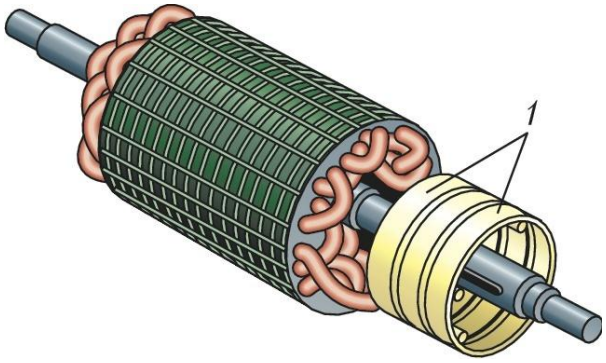
Қысқа тұйықталған ротор болат табақтан жинақталған өзектен тұрады (3.16-сурет). Бұл өзекшенің ойығына балқытылған алюминий құйылады, нәтижесінде өзектер пайда болады, олар тікбұрышты сақиналармен тұйықталады. Бұл дизайн **«тиін торы»** деп аталады. Қуаты үлкен қозғалтқышта алюминий орнына мыс қолданылуы мүмкін. Тиін торы – ротордың қысқа тұйықталған орамасы, атауы осыдан шыққан.



қысқа тұйықталған ротор тиін торы

3.16-сурет. Қысқа тұйықталған ротор

Фазалық ротордың үш фазалық орамасы бар, ол статор орамынан іс жүзінде ерекшеленбейді (3.17-сурет). Көп жағдайда фазалық ротор орамдарының ұштары жұлдызға қосылады, ал бос ұштары контактілік сақиналарға жеткізіледі. Сақиналарға қосылған щеткалардың көмегімен ротор орамасының тізбегіне қосымша резисторды енгізуге болады. Бұл ротор тізбегіндегі белсенді кедергіні өзгертуге болады, себебі бұл үлкен іске қосу токтарын азайтуға ықпал етеді. Фазалық ротор туралы толығырақ фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыш мақаласынан оқуға болады.



3.17-сурет. Фазалық ротор

Жұмыс істеу қағидасы

Кернеу статорын орамаға берген кезде, әрбір фазада берілетін кернеу жиілігімен өзгеретін магнит ағыны құрылады. Бұл магниттік ағындар бір-біріне қатысты 120^0, уақыт та, кеңістікте де жылжиды. Нәтиже беретін магнит ағыны айналмалы болып табылады.

Статордың нәтижелі магнитті ағыны айналады да, осылайша ротор өткізгіштерінде ЭҚК пайда болады. Себебі ротордың орамасында тұйықталған электр тізбегі бар, онда ток туындайды, ол өз кезегінде статордың магнитті ағынымен байланыса отырып, роторды статордың магнитті өрісінің айналу бағытына бұруға тырысатын қозғалтқыштың іске қосу сәтін қамтамасыз етеді. Ол ротордың тежеу сәті мәніне жетеді, ал егер одан асып кетсе, ротор айнала бастайды. Бұл ретте ол сырғу деп аталады.

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \cdot 100\%$$

Сырғу – өте маңызды шама. Бастапқы уақытта ол бірлікке тең, бірақ ротордың айналу жиілігінің n_2 өсуіне қарай жиіліктің салыстырмалы айырмасы n_1-n_2 азая бастайды, соның салдарынан ЭҚК кемиді және ротор өткізігішіндегі ток айналу моментінің азаюына әкеп соқтырады. Бос жүріс режимінде, қозғалтқыш білікке жүктемесіз жұмыс істеген кезде, сырғу ең аз болады, алайда статикалық сәттің ұлғаюымен, ол шекті сырғанау – $s_{кр}$ шамасына шамасына дейін өседі. Егер қозғалтқыш бұл мәннен асып кетсе, онда қозғалтқыш аударылуы мүмкін және оның тұрақсыз жұмыс істеуіне әкеліп соқтырады. Сырғу мәндері 0-ден 1-ге дейінгі диапазонда жатыр, жалпы мақсаттағы асинхронды қозғалтқыштар үшін ол номиналды режимде – 1-8% құрайды.

Ротордың айналуын тудыратын электромагниттік момент пен қозғалтқыш білігінде жасалатын жүктеменің тежегіш сәті арасындағы тепе-теңдік басталғаннан кейін шамалардың өзгеру процестері тоқтайды.

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс істеу принципі статор мен токтардың айналмалы магнит өрісінің өзара әрекеттестігінде болып

табылады. Айналмалы сәт магнит өрістерінің айналу жиілігінің айырмасы болған жағдайда ғана туындауы мүмкін.

Бақылау сұрақтары:

1. Синхронды машина деген не?
2. Жетекті қозғалтқышқа тәуелді СМ түрлерін атаңыз.
3. Синхронды генератор жұмысының негізінде қандай заң жатыр?
4. Турбогенератор гидрогенератордан немен ерекшеленеді?
5. Тағайындалуына байланысты трансформаторлардың түрлері.
6. Трансформаторлар жұмысының негізінде қандай заң жатыр?
7. Кернеуді жоғарлату немесе төмендету үшін бір ғана кернеу трансформаторын қалай пайдалануға болады?
8. Кернеу трансформаторының магнит өткізгіштігі арнайы электротехникалық болаттан не үшін жасалады?
9. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс қағидасы.
10. Асинхронды қозғалтқыштың қандай түрлері ротордың құрылымына байланысты бөлінеді?

3.2. Трансформатордың жұмыс және номиналды режимдердегі, бос жүріс режиміндегі және қысқа тұйықталу режиміндегі қосылу сұлбасы және жұмысы

Келтірілген трансформатор

Трансформатордың екінші орамының орамдарының санын есептеу және векторлық диаграммаларды құру мақсатында трансформатордың екінші орамасының орамдарының санын бастапқы орамның орамдарының санымен теңестіріп, келтірілген трансформаторды аламыз, бұл ретте ток пен кернеу арасындағы фазалардың ығысу бұрыштары мен қуатын бірдей болып қалады.

$$\omega_2 = \omega_1 \Rightarrow K_{тр} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 1\ , \qquad (3.7)$$

Сонда шамалардың келтірілген мәндері:

$$1)\ E_2^{'} = E_1 = E_2 \cdot K_{тр}\ , \qquad (3.8)$$

$$2)\ I_2^{'} = I_1 \frac{1}{K_{тр}}\ , \qquad (3.9)$$

$$3)\ r_2^{'} = r_2 = r_2 \cdot \frac{I_2^2}{\left(I_2^1\right)^2} = r_2 \cdot K_{тр^2}\ , \qquad (3.10)$$

$$4)\ x_2^{'} = x_2 \cdot K_{тр^2}\ , \qquad (3.11)$$

Трансформатордың ЭҚК әрекеттік мәні

Орамалардың екеуі де бір магнит өткізгіште орналасқан және магнит ағыны ф = $\Phi_m \sin\omega t$ синусоидальды заң бойынша өзгере отырып, олардың әрқайсысында ЭҚК индукциялайды. Бастапқы орамада:

$$\left.\begin{array}{c} e_1 = -\omega_1 \dfrac{d\phi}{dt} \\ \phi = \phi_m \cdot \sin\omega t \Rightarrow e_1 = -\omega_1 \dfrac{d\phi_m \cdot \sin\omega t}{dt} = e_1 = -\omega_1 \phi_{max} \cdot \omega \cos\omega t \quad \omega = 2\pi \int \\ \text{если} \cos\omega t = -\sin\left(\omega t - \dfrac{\pi}{2}\right), \text{тогда } e_1 = -\omega_1 \phi_{max} \cdot \omega \sin\left(\omega t - \dfrac{\pi}{2}\right) \end{array}\right\}$$

Соңғы өрнектен байқайтынымыз, ЭҚК векторы магнит ағыны векторынан 90 бұрышқа қалады.

$$E_{1m} = \varpi_1 \cdot \Phi_m \cdot \omega \,;\ (\ \omega = 2\pi f\ )\ , \tag{3.12}$$

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot \varpi_1 \Phi_m \cdot f = 4{,}44 \cdot \varpi_1 \Phi_m \cdot f\ , \tag{3.13}$$

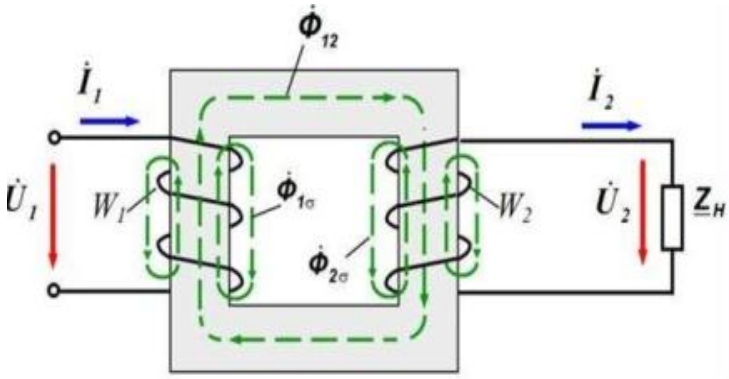
$$E_1 = 4.44 \omega_1 \Phi_m \cdot f\ , \tag{3.14}$$

Осыған ұқсас ЭҚК екінші орамасында:

$$E_2 = 4.44 \omega_2 \Phi_m \cdot f\ , \tag{3.15}$$

Орамаларда сонша ЭҚК болады.

Трансформатордың жүктемедегі жұмысы (3.18-сурет).



$$Z_{ном} = Z_{н_{ном}}$$
$$U_2^{/} = U_{2ном}^{/}$$
$$I_2^{/} = I_{2ном}^{/}$$
$$P_2 = P_{2ном}$$

3.18-сурет. Жүктемеде жұмыс істейтін трансформатордың электр магниттік сұлбасы

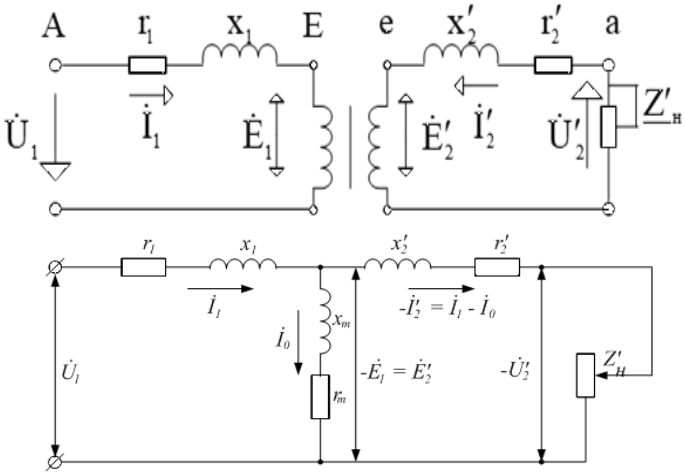
Жүктемедегі ЭҚК және трансформатор токтарының теңдеуі

$$U_1 = -E_1 + jI_1x_1 + I_1r_1 \ , \qquad (3.16)$$

$$U^{/}{}_2 = E_2^1 - jI^{/}{}_2x^{/}{}_2 - I^{/}{}_2r_2^1 \ , \qquad (3.17)$$

$$I_1 = I_0 - I_2^1 \ , \qquad (3.18)$$

Жүктемедегі трансформаторды алмастыру сұлбасы (3.19-сурет).



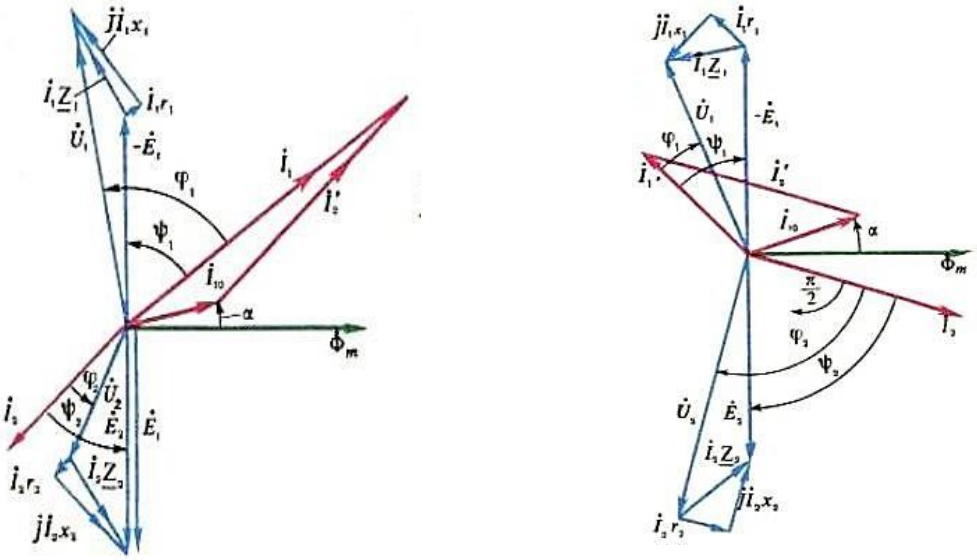
r_1x_1 - I катушканың белсенді индуктивті кедергісі

$r^{/}{}_2x^{/}{}_2$ - II катушканың белсенді индуктивті кедергісі

r_0x_0 - магнит өткізгіштер кедергісі.

3.19-сурет. а) электр сұлбасы
б) трансформаторды келтірілгеннен кейінгі алмастыру сұлбасы

Жүктемедегі векторлық диаграммалар (3.20-сурет).

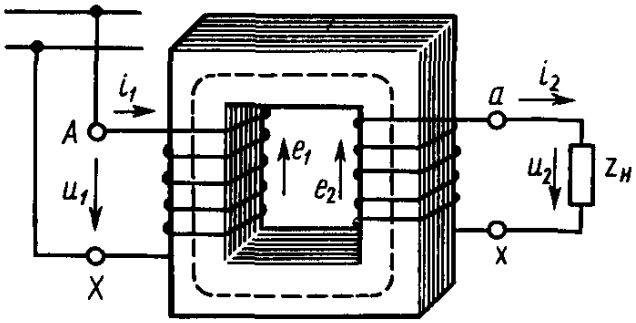


а) R-L жүктемесі б) R-C жүктемесі

3.20-сурет. Жүктемедегі трансформатордың векторлы диаграммалары
а) R-L және б) R-C

Трансформатордың бос жүрісі режимі физикалық процестер (3.21-сурет).

Бос жүріс режимі – бұл екінші орама тұйықталмаған кездегі режим.



$Z_н = \infty$

$I_2 = 0$

$P_2 = 0$

$U_2 = U_{2н}$

3.21-сурет. Бос жүріс режиміндегі трансформатордың электромагниттік сұлбасы

Бос жүріс режиміндегі ЭҚК және трансформатор токтарының теңдеуі.

I және $U_{сети} \Rightarrow \Phi_0 \Rightarrow E_1 = 4{,}44 \cdot \varpi_1 \cdot \Phi \cdot f$

$\Phi_{\delta 1} \Rightarrow E_{\delta 1} = -jI_1 x_1$ -кернеудің реактивті төмендеуі;

$I_1 \cdot r_1$ - кернеудің белсенді төмендеуі.

Кирхгофтың 2 заңының негізінде ЭҚК теңдеулерін құрамыз.

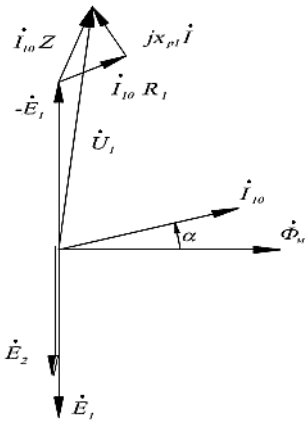
$$U_1 + E_1 + E_{\delta 1} = I_1 \cdot r_1 \ , \qquad (3.19)$$

$U_1 = -E_1 + jI_1 x_1 + I_1 r_1$ - бастапқы катушкаға арналған ЭҚК теңдеуі;

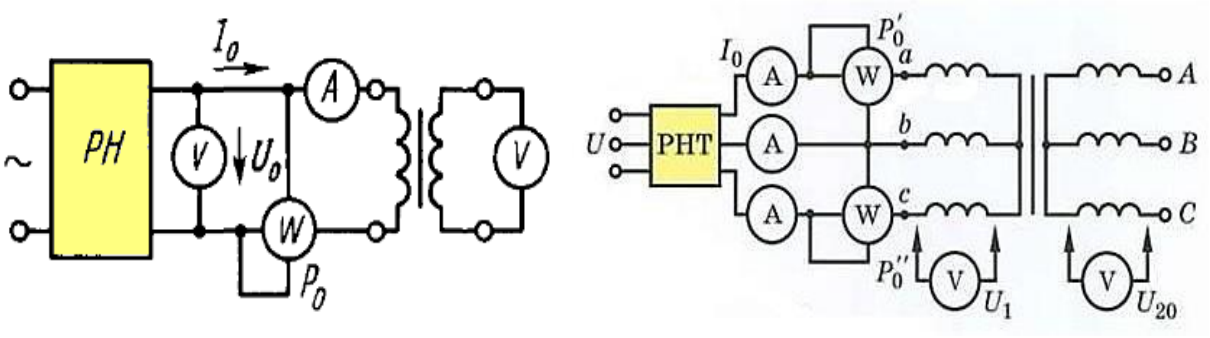
өйткені $I_2 = 0 \Rightarrow U_2 = -E_2$ - екінші катушкаға арналған ЭҚК теңдеуі;

$I_0 = I_{0\mu} + I_{0a}$; $I_0 = I_1$ - токтар теңдеулері.

ЭҚК және токтардың теңдеулері бойынша бос жүріс режимінде трансформатордың векторлық диаграммасын құрамыз (3.22-сурет).



3.22-сурет. Бос жүріс режиміндегі трансформатордың векторлық диаграммасы



3.23-сурет. Бос жүріс режимінде трансформаторды алмастыру сұлбасы

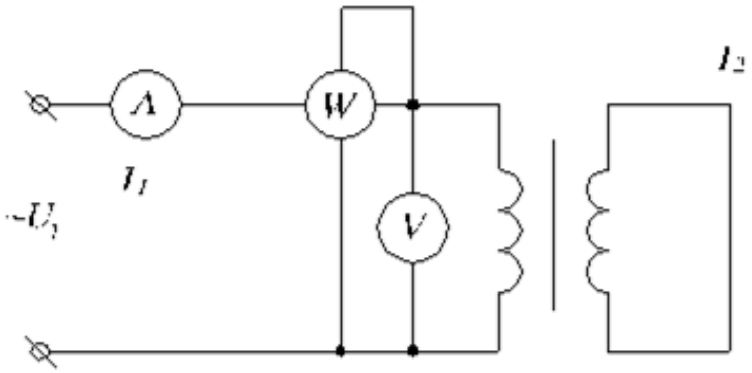
Бос жүріс тәжірибесінің практикалық мәні

Бос жүріс тәжірибесінің нәтижелері бойынша анықталатыны (3.23-сурет): $P_н$ магнит өткізгішін магниттеуге кететін шығындар және r_m мен x_m магнит өткізгішінің кедергілерін есептеу.

Қысқы тұйықталу режимі. Алмастыру сұлбасы (3.24-сурет).

Қысқа тұйықталу режимі дегеніміз – екінші орама қысқа тұйықталған режим. Қ.т. режимі - апаттық болып табылады, сондықтан трансформаторға берілетін кернеуді ормадардағы ($I_{1н}$ $I_{2н}$) тиісті номинал токтар шамасына дейін төмендетеміз.

яғни, U_{1k} =(5-12)% $U_{1н}$, онда $I_1 = I_{1н}$, $I_2 = I_{2н}$



$$Z_н = 0$$
$$U_2 = 0$$
$$P_2 = 0$$
$$I_2 = I_{2ном}$$

3.24-сурет. Трансформатордың қ.т. тәжірибесін өткізуге арналған электр тізбегі

Қ.Т. режиміндегі трансформатор үшін ЭҚК және токтар теңдеуі.

$U_1 = -E_1 + jI_1 X_1 + I_1 r_1$ - 1 катушкаға арналған ЭҚК теңдеуі.

$$0 = -E_2 + jI_2 X_2 + I_2 r_2 , \qquad (3.20)$$

$E_2 = jI_2X_2 + I_2 r_2$ - 2 катушкаға арналған ЭҚК теңдеуі қ.т. $U_2 = 0$.

мұнда F_1 - I катушканың магниттеуші күші,

F_2 - II катушканың магниттеуші күші.

$$F_1 = I_1\omega_1; \;\; F_2 = I_2\omega_2; \;\; F_0 = I_0\omega_1 , \qquad (3.21)$$

$$F1 + F2 = F0\ , \qquad (3.22)$$

$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = I_0\omega_1 (: \omega_1);\ K_{тр} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{U_1}{U_2}\ , \qquad (3.23)$$

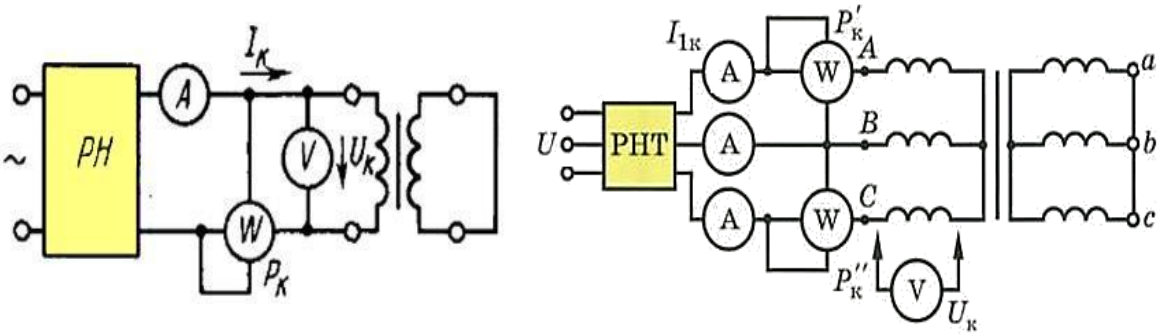
$$I_1 + I_2\frac{\omega_2}{\omega_1} = I_0;\ \ I_2\frac{\omega_2}{\omega_1} = I_2\frac{1}{K_{тр}}\ , \qquad (3.24)$$

онда

$$I_1 + I_2\frac{1}{K_{тр}} = I_0\ , \qquad (3.25)$$

егер $I_0 \approx 0 \Rightarrow I_1 = -I_2\frac{1}{Ктр}$ $I_1 = -I_2\frac{1}{Ктр}$ - қ.т.режиміндегі токтардың теңдеуі

Қ.т. режимінде трансформаторды алмастыру сұлбасы (3.25-сурет).



3.25-сурет. Қ.т. режимінде трансформаторды алмастыру сұлбасы

Қ.т. тәжірибесінің практикалық мәні

Тәжірибе бойынша орамдардың кедергісін анықтайды, және де катушкаларды қыздыруға кететін қысқа тұйықталу шығынын $P_к$ анықтайды.

Берілгені:

$S_{ном}$

$u_к,\%$

$U_{1ном}$

$P_к$

1) $U_к = \frac{U_{1ном} \cdot u_к,\%}{100\%}$;

2) $I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{1ном}}$;

3) $z_к = \frac{U_к}{\sqrt{3}I_{1ном}}; r_к = \frac{P_к}{3I_{1ном}^2}; x_к = \sqrt{z_к^2 - r_к^2}$.

Бақылау сұрақтары:

1. Келтірілген трансформатор не үшін қажет?
2. ЭҚК әрекеттегі мәндерінің формулалары.
3. R-L және R-C жүктемелері үшін векторлық диаграмманы құру ерекшеліктері

4. Трансформатордың жұмыс режимі деген не және оның ерекшеліктері?

5. Трансформатордың бос жүріс режимі деген не және оның ерекшеліктері?

6. Трансформатордың бос жүрісінің практикалық мәні.

3.3. Транформатор параметрлерін есептеу

Магнит материалының мүмкіндіктерін магнит индукциясының жоғары мәндерін таңдаумен барынша қолдануға ұмтылу трансформатордың массасын, габариттерін және құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Трансформатордың сенімділігі деп берілген уақыт ішінде және белгілі бір пайдалану жағдайларында өзгермейтін техникалық сипаттамалармен үздіксіз жұмыс істеу қабілеті түсініледі. Есептеу бір фазалы және үш фазалы трансформаторлар үшін келесі формулалар бойынша орындалады:

1. Жұлдызға немесе зигзагқа қосылғанда фазалық кернеулердің номиналды мәнін анықтаймыз:

$$U_{1н} = \frac{U_{1л}}{\sqrt{3}};\ U_{2н} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}}, \tag{3.26}$$

мұнда $U_{1л}, U_{2л}$ - бірінші және екінші жүйенің номиналды желілік кернеуі

- үшбұрышқа қосылғанда:

$$U_{1н} = U_{1л};\ U_{2н} = U_{2л}, \tag{3.27}$$

2. Жұлдыз немесе зигзагқа қосылған кездегі ток фазаларының номиналды мәндерін анықтаймыз:

$$I_{1н} = \frac{S_н}{\sqrt{3}U_{1л}};\ I_{2н} = \frac{S_н}{\sqrt{3}U_{2л}}, \tag{3.28}$$

3. Қысқы тұйықталу керенуінің мәндерін В-та және %-да және бос жүріс тогын А-де және %-да анықтаймыз:

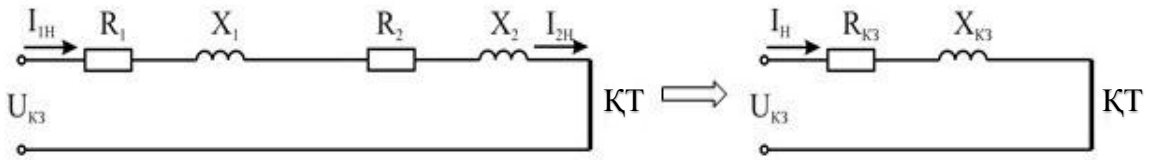
$$u_к = u_к\%, U_к = \frac{U_{1н} \cdot 10^3 \cdot u_к\%}{100}, В \tag{3.29}$$

$$i_0 = i_0\%, I_0 = \frac{I_{1н} \cdot 10^3 \cdot i_0\%}{100}, \tag{3.30}$$

4. Трансформация коэффициентін анықтаймыз:

$$k = \frac{U_{1н}}{U_{2н}}, \tag{3.31}$$

5. Қ.т. тәжірибесі үшін трансформаторды ауыстыру параметрлерін анықтаймыз (3.26-сурет):



3.26-сурет. ҚТ режиміндегі трансформатордың бір фазасын ауыстырудың оңайлатылған сұлбасы және алмастыру сұлбасы

- үшфазалы трансформатордың толық, белсенді, реактивті кедергісі:

$$z_к = \frac{U_к}{I_{1н}};\ r_к = \frac{P_к}{m \cdot I_{1н}^2};\ x_к = \sqrt{z_к^2 - r_к^2},\ \text{Ом}, \qquad (3.32)$$

мұнда $P_к$ – трансформатор орамдарының қызу шығындары қысқа тұйықталу тәжірибесінен анықталады, Вт;

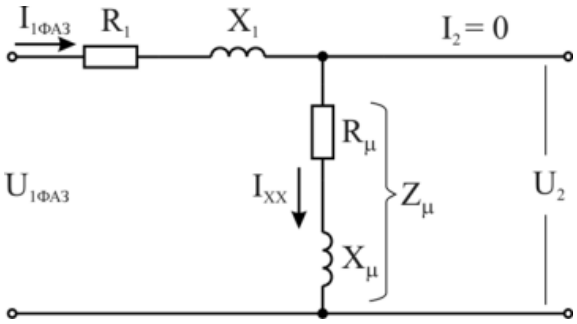
m – трансформатор фазаларының саны.

- қ.т. қуатының коэффициенті $\cos\varphi_к = \frac{r_к}{z_к}$;

- қ.т. кедергісінің белсенді құраушысы $u_{ка} = \frac{r_к \cdot I_{1н}}{U_{1н} \cdot 10^3} \cdot 100, \%$;

- қ.т. кедергісінің индуктивті құраушысы $u_{кр} = \frac{x_к \cdot I_{1н}}{U_{1н} \cdot 10^3} \cdot 100, \%$.

6. Бос жүріс режимінде алмастыру сұлбасының (3.27-сурет) параметрлерін анықтаймыз.



3.27-сурет. Бос жүріс режиміндегі трансформатордың бір фазасын алмастыру сұлбасы

- бос жүріс тәжірибесін алмастыру сұлбасы үшін магниттеу тізбегінің кедергісі:

$$z_0 = \frac{U_{1н}}{I_0};\ r_0 = \frac{P_0}{m \cdot I_0^2};\ x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2},\ \text{Ом}, \qquad (3.33)$$

мұнда P_0-трансформатор орамдарының қызу шығындары қысқа тұйықталу тәжірибесінен анықталады, Вт;

m - трансформатор фазаларының саны.

- бос жүріс кезіндегі қуат коэффициенті $\cos\varphi_0 = \frac{r_0}{z_0}$,

7. Трансформаторды жүктеу коэффициенті: $\beta = \frac{I_2}{I_{2н}}$,

мұнда I_2- осы трансформатордың жүктеме тогы

8. Пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК): $\eta = \frac{\beta \cdot S_н \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_н \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_к}$

Максималды ПӘК: $\eta_{max} = \frac{\beta^{/} \cdot S_н \cdot \cos\varphi_2}{\beta^{/} \cdot S_н \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^{/2} \cdot P_к}$, (3.34)

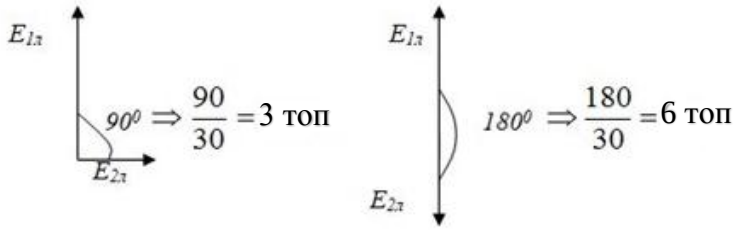
мұнда $\beta^{/} = \sqrt{\frac{P_0}{P_к}}$

9. $\eta = f(\beta)$Тәуелділікті анықтау үшін жүктеу коэффициентінің әр түрлі мәндері үшін ПӘК есебін орындау қажет $\beta = 0 - 1{,}25$

3.4. Трансформаторларды қосу топтарының сұлбасы

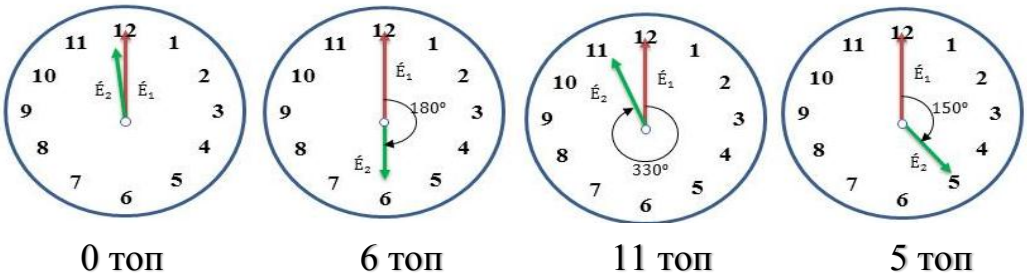
Трансформаторларды параллельді жұмысқа қосудың маңызды шарттарының бірі трансформаторларды жалғау тобы болып табылады.

Жалғау тобы деп – $E_{1л} и E_{2л}$ желілік мәндер ($E_1 к E_2$-тен сағат тілі бағатамен) арасындағы фазалардың жылжу бұрышы түсініледі, ал топтың еселігі 30^0-тегі бұрыш болып табылады (3.28-сурет).



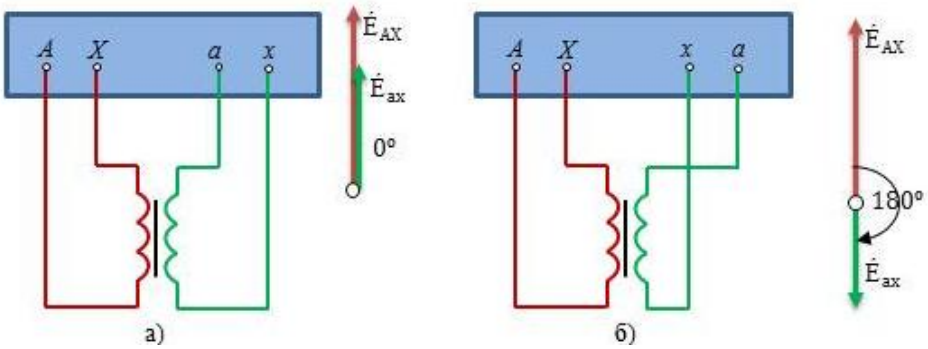
3.28-сурет. ЭҚК арасындағы фазалардың жылжу бұрышын анықтау

Сағат бойынша топты анықтау (3.29-сурет): $E_{1л}$ шамасы бойынша үлкен вектор минут тілімен көрсетілген және 12-ге орнатылған, ал $E_{2л}$ кіші векторы топ нөмірін көрсетеді.



3.29-сурет. Сағат бойынша топ нөмірін анықтау

2 катушканың бірфазалы трансформаторы



3.30-сурет. Бір фазалы трансформатордағы топ нөмірін анықтау
а) шықпалар таңбасы сәйкес келгенде 0 - топ б) шықпалар таңбасы өзгергенде 6- топ

Біртекті трансформатордан екінші орамның шықпаларын орама немесе таңбалау бағытын өзгерту арқылы 2 қосылыс тобын алуға болады (0 және 6) (3.30-сурет).

Үшфазалы трансформатор. Үлкен қоректендіргіш кернеулерде және шағын токтарда орамдарды жұлдызбен біріктіру орынды. Үлкен токтарда үшбұрышпен қосылу жүйесі қолданылады. Қоректендіруші желінің үлкен кернеуінде және жүктеменің үлкен токтарында трансформатордың орамдарын қосудың ең тиімді тәсілі - (Y/Δ).

Трансформатордың $U_{1ф}/U_{2ф}$ қатынасы әрқашан трансформатордың $\kappa = w_1 / w_2$ тең, ал желілік кернеудің қатынасы трансформатордың орамдарын қосу тәсіліне байланысты болады. Трансформатордың орамдарын жалғау әдісін өзгерте отырып, шығыс кернеуін реттеуге болады.

$$\text{Y} / \Delta\text{:}\ E_{1л} = \text{E}_{2л}\ , \tag{3.35}$$

$$\curlywedge \cdot \nabla / \text{E}_{1л} = \sqrt{3}\text{E}_{2л}\ , \tag{3.36}$$

мұнда Y- Тік жұлдыз,

⅄ - Кері жұлдыз,

△ - Тік үшбұрыш,

▽ - Кері үшбұрыш.

Таңбалау кезінде фазалардың ауысуының белгілі тәртібі болады:

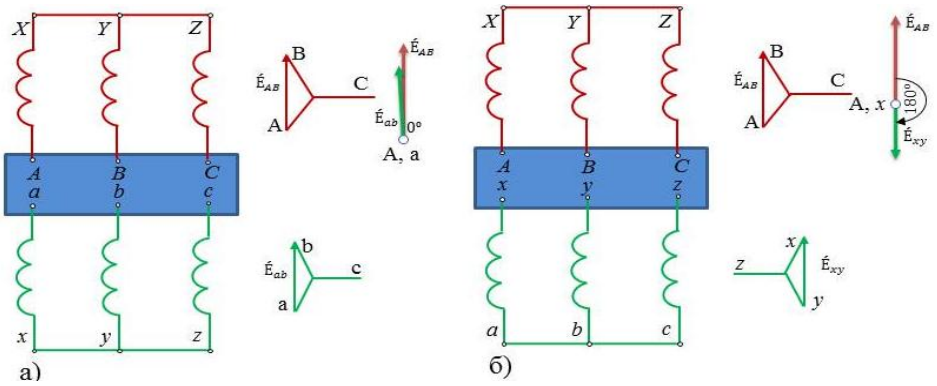
а в с

в с а

с а в

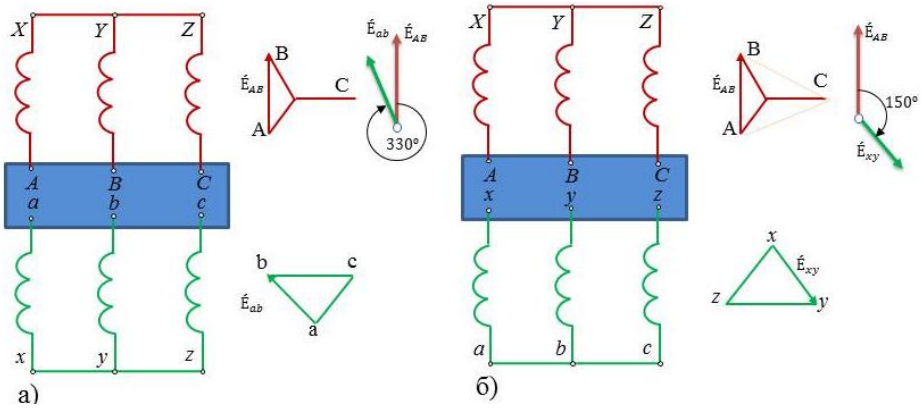
- осы фазалардың ауыстыру тәртібіне сәйкес үш фазалы трансформаторларда 12 қосылыс тобын алуға болады.

А) Y/Y қосылыстарында 6 жұп: 2, 4, 6, 8, 10, 12(0)қосылыс тобын алуға болады (3.31-сурет).



3.31-сурет. Жұлдыз /жұлдыз қосылысы кезіндегі үшфазалы трансформатордағы топтың нөмірін анықтау а) шықпалардың таңбалары сәйкес келгенде 12 – топ, б) ораманың оралуын өзгерткенде 6 - топ

Б) Y/Δ қосылған кезде 6 тақ қосылыс тобын 1, 3, 5, 7, 9, 11 алуға болады (3.32-сурет).



3.28 сурет. Үш фазалы трансформаторда жұлдыз / үшбұрыш жүйесімен қосылған кезде топ нөмірін анықтау) шықпалардың таңбалануы сәйкес келген кезде 11 – топ б) орамның оралуының өзгеруі кезінде 5-топ

Бақылау сұрақтары:

1. Қосылыс тобы дегеніміз…
2. Бірфазалы трансформаторда неше топ болады?
3. Үшфазалы трансформаторлардың 12 топ қосылыстарын қалай алады ?

3.5. Электр машиналарының сипаттамаларын есептеу және құру әдістері

Трансформаторлар

1-тапсырма. Егер бастапқы орамның номиналды кернеуі $U_{1н}$=20 кВ, екінші орамның номиналды кернеуі $U_{2н}$=0.4 кВ, екінші орамның номиналды тогы $I_{2н}$ =150 А болса, $S_н$ үшфазалы трансформатордың номиналды қуатын және $I_{1н}$ бастапқы орамның номиналды тогын анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
$U_{1н}$=20 кВ $U_{2н}$=0,4 кВ $I_{2н}$=150 А	$k_{тр} = \frac{U_{1н}}{U_{2н}} = \frac{20}{0,4} = 50$ $k_{тр} = \frac{I_{2н}}{I_{1н}} \rightarrow I_{1н} = \frac{I_{2н}}{k_{тр}} = \frac{150}{50} = 3А$
$S_н$ -? $I_{1н}$ -?	$S_н = \sqrt{3} \cdot U_{1н} \cdot I_{1н} = 1,73 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 3 = 103,8кВА$

2-тапсырма. Бір фазалы трансформатордың, егер оның номиналды қуаты $S_н$= 100 ВА, номиналды бастапқы ток $I_{1н}$ = 1 А, бос жүріс шығындары $P_о$ = 10 Вт. болса бос жүрістің $I_{оа}$ құрамдас белсенді тогын анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
$S_н$ =100 ВА $I_{1н}$=1 А $P_о$=10 Вт	$cos\varphi_{оа} = \frac{P_о}{S_н} = \frac{10}{100} = 0,1$ $I_{оа} = I_{1н} \cdot cos\varphi_{оа} = 1 \cdot 0,1 = 0,1А$
$I_{оа}$ -?	

3-тапсырма. Егер екінші кернеу өзгерісі ΔU = 4%, жүктеме коэффициенті $К_н$ = 0.5, екінші орамның номиналды кернеуі $U_{2н}$ = 400 В болса, трансформатордың қысқыштарындағы кернеу мәні неге тең?

Берілгені:	**Шешімі:**
ΔU=4% $К_н$=0,5 $U_{2н}$=400 В	$\Delta U = U_{2н} - U_2$ $U_2 = U_{2н} - \Delta U$ $\Delta U_н = \Delta U \cdot К_н = 4 \cdot 0,5 = 2\%$
U_2 -?	$\frac{\Delta U \cdot 100}{U_{2н}} = \Delta U_н \rightarrow \Delta U = \frac{U_{2н} \cdot \Delta U_н}{100} = \frac{400 \cdot 2\%}{100} = 8В$ $U_2 = U_{2н} - \Delta U = 400 - 8 = 392$ В

4-тапсырма. Жүктеме тогы I_2=0,5·$I_{2н}$ және қуат коэффициенті cos φ_2= 0. кезінде мына мәліметтер бойынша $S_н$=100 кВА, $P_к$ = 1970 Вт, $U_к$ = 4.5 % трансформатордың екінші кернеуінің пайыздық өзгерісін анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
I_2=0,5·$I_{2н}$ $cos\varphi_2$=0,8 $S_н$=100кВА $P_к$=1970 Вт $U_к$=4,5%	$U_{ка}\% = \frac{P_к}{S_{ном}} \cdot 100\% = \frac{1970}{100 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,97\%$ $U_{кр} = \sqrt{U_к^2 - U_{ка}^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,97^2} = 4,05\%$ ΔU% = 0,5(1,97· 0,8 +4,05·0,6) = 2%
ΔU%-?	$sin\varphi_2 = \sqrt{1 - cos\varphi_2^2} = 0,6$

5-тапсырма. Техникалық деректері 1.46 тапсырмада келтірілген бір фазалық трансформатор үшін оның максималдық мәні $К_н$ = 0,7 сәйкес

келетіні белгілі болса, η=f(Кн) жүктеме коэффициентінен ПӘК тәуелді мәліметтерді есептеу және графигін құру қажет.

Берілгені:	**Шешімі:**
$S_н$=320 кВА $U_{1н}$=10 кВ $P_к$=13 кВт $U_к$=6,5% $cos\varphi_2$=0,9	$\eta = \frac{К_н \cdot S_н \cdot cos\varphi_2}{К_н \cdot S_н \cdot cos\varphi_2 + P_о + К_н^2 \cdot P_к}$ $К_{нmax} = \sqrt{\frac{P_{он}}{P_{кн}}} \rightarrow P_{он} = К_н^2 \cdot P_к$ =0,7²·13·10³=6370Вт
η=f($К_н$)-?	

6-тапсырма. Паспорттық деректері келтірілген бір фазалы трансформатор жүктемені cosφ_2 = 0,9 қуат коэффициентінен қоректендіреді. Трансформаторының сыртқы сипаттамасын U_2(β) және берілген жүктеме қуаты коэффициентімен cosφ жүктемеден ПӘК η (β) тәуелділігін құрыңыз. Жүктеме коэффициентінің β мәні 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00.

Трансформатордың паспорттық деректері:

$S_{ном}$=100 В·А;
$U_{1ном}$=220 В;
$U_{2ном}$=24 В;
$U_к$=9 %;
$P_к$=6,6 Вт;
P_0=20,23 Вт;
i_0=24 %.

Шешімі:

1. Трансформаторының сыртқы сипаттамасын U_2(β) және берілген жүктеме қуаты коэффициентімен cosφ=0,9. жүктемеден ПӘК η(β) тәуелділігін құру үшін жүктеме коэффициентінің β мәні тең етіп аламыз: 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00.

Трансформатордан шығардағы кернеу $U_2 = \frac{U_2^/}{K_{тр}}$

мұнда $U_2^/ = U_1 - \frac{U_1 \Delta U,\%}{100\%}$;

- трансформатордың келтірілген қосалқы кернеуі:

$$\Delta U,\% = \beta(U_{ка},\% \cos\phi_2 + U_{кр},\% \sin\phi_2), [\%]$$

$U_{кр}=\sqrt{U_к^2 - U_{ка}^2}$ - қысқа тұйықталу кернеуін реактивтік қалыптастырушы, %;

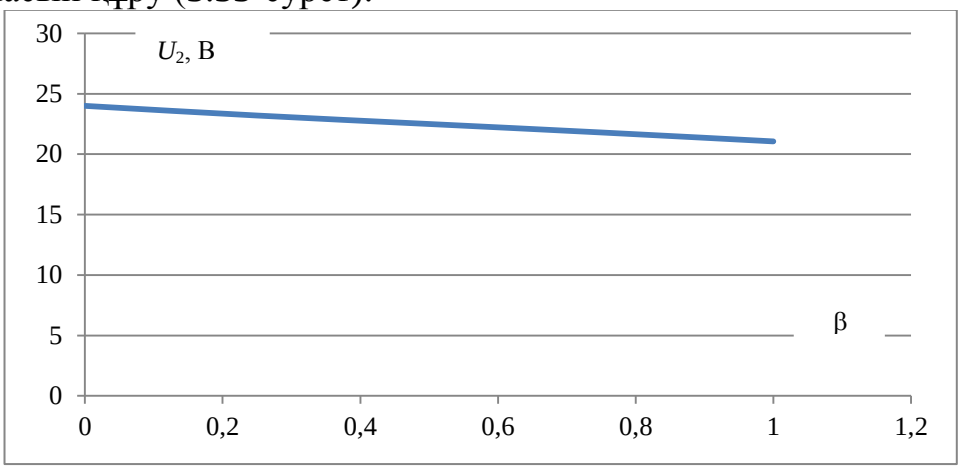
$U_{ка}$=($P_к$/$S_{ном}$)·100 % – қысқа тұйықталу кернеуінің белсенді құрамдасы,%.

Жүктеме коэффициентінің β мәнін ескере отырып 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1.00-ге тең болғанда трансформатордың U2 және η (ПӘК) анықтау керек. Есептеу нәтижелері 3.1 кестеге енгізіледі.

3.1-кесте. U_2 (β) трансформаторының сыртқы сипатын құруға арналған параметрлер

β	ΔU,%	$U_{кр}$, %	$U_{ка}$, %	$U_2^{/}$,В	U_2,В
0	0	6,1	6,6	220	24
0,25	2,2	6,1	6,6	215	23,5
0,5	4,3	6,1	6,6	211	23
0,75	6,5	6,1	6,6	206	22,5
1,0	8,6	6,1	6,6	201	22

Есептеу нәтижелері бойынша U_2 (β) трансформаторының сыртқы сипаттамасын құру (3.33-сурет):

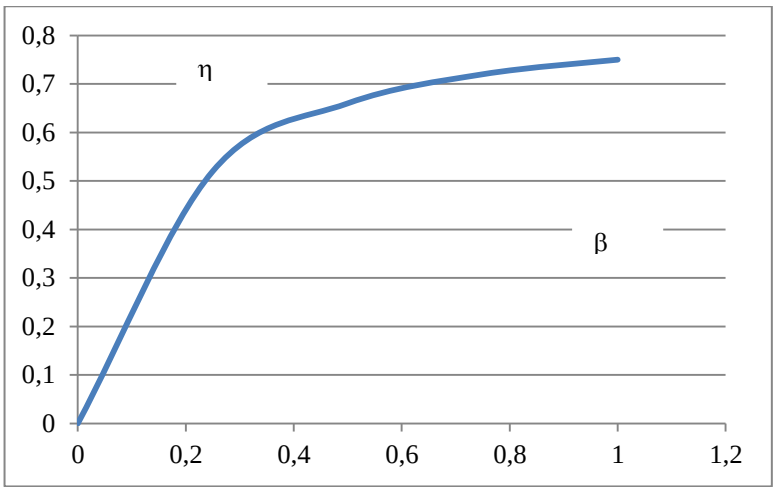


3.33-сурет. U2 (β)трансформаторының сыртқы сипаттамасы

3.2-кесте. Әртүрлі жүктемелер кезіндегі трансформатордың ПӘК

β	$\eta = \dfrac{\beta S_{ном} \cdot \cos\varphi_2}{\beta S_{ном} \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_к}$
0	0
0,25	0,52
0,5	0,66
0,75	0,72
1,0	0,75

Есептеудің нәтижелері бойынша η (β) сипаттамасын құрамыз (3.34-сурет):



3.34-сурет. Трансформатордың ПӘК-нің η (β) жүктемеден тәуелділігі

Асинхронды машиналар

7-тапсырма. Асинхронды машинаның статор орамасының үш катушкасы f=50 Гц жиіліктегі үш фазалы ток желісінен қоректенеді. Ротор n=2850 айн/мин жиілігімен айналады.

Берілгені:	**Шешімі:**
f=50 Гц n_2=2850 айн/мин n_2=3000 айн/мин	$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000-2850}{3000} = 0{,}05$
s-?	

8-тапсырма. Асинхронды қозғалтқыштың паспорттық деректері: *P=100* кВт, U=380 В, η=91,5 %, cos φ=0,92, *n* =2960 айн/мин. Ток желісінен тұтынылатын жиілік f=50 Гц болса, номиналды ток, номинал моментті, ротордағы ток жылжуы мен жиілігін анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
P=100 кВт U=380 В η=91,5% cos φ=0,92 n=2960 айн/мин f=50 Гц	$I_{ном} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{100 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}91 \cdot 0{,}915} = 181A$ $M_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 9{,}55}{n} = \frac{100 \cdot 9{,}55 \cdot 10^3}{2960} = 323\ Н \cdot м$
$I_{ном}$ -? $M_{ном}$ -? s - ? f_2 - ?	$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000-2960}{3000} \cdot 100\% = 1{,}33\%$ $f_2 = f_1 \cdot s = 0{,}7$ Гц

9-тапсырма. Егер фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыш үшін келесі деректер белгілі болса, ротор орамындағы ток жиілігін анықтау керек: $P_{эм}$=7 кВт, I_2=60 А, r_2=0,02 Ом. Ротордың орамасы «жұлдыз» сұлбасы бойынша қосылған.

Берілгені:	**Шешімі:**
$P_{эм}$=7 кВт I_2=60 А r_2=0,02 Ом	$f_2 = f_1 \cdot s$ $P_{э2} = s_{ном} \cdot P_{эм}$ $P_{э2} = m_2 \cdot I^2_2 \cdot r_2 = 3 \cdot 60^2 \cdot 0{,}02 = 216$ кВт
f_2-?	$s_{ном} = \frac{P_{э2}}{P_{эм}} = \frac{216}{700} = 0{,}03$ $f_2 = 50 \cdot 0{,}03 = 1{,}5$ Гц

Синхронды машиналар

10-тапсырма. Үшфазалы төрт полюсті синхронды қозғалтқыштың келесі мәліметтері бар: номиналды қуаты $P_н$ = 500 кВт, номиналды кернеуі $U_н$ = 0,66 кВ, пайдалы әрекет коэффициенті $\eta_н$=0,95, қуат коэффициенті $\cos\varphi_н$=0,8 (озу тогы), ток жиілігі f=50 Гц. Ротордың айналу жиілігін, номиналды айналмалы моментін, статор тогы желісінен тұтынылатын қуатты белсенді және реактивті құрауыштарын, оның реактивті құрауышын анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
3-х ф СД 2p=4 $P_н$=500 кВт $U_н$=0,66 кВ $\eta_н$=0,95 $\cos\varphi_н$=0,8 f=50 Гц	$n_1 = n_2 = \frac{f_1 \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{2} = 1500$ айн/мин $M_2 = 9{,}55 \frac{P_{ном}}{n_2} = \frac{500 \cdot 9{,}55 \cdot 10^3}{1500} = 3183$ Н · м $P_1 = \frac{P_н}{\eta_2} = \frac{500}{0{,}95} = 526$ кВт
n_2-? M_2-? P-? Q-? I_1-? I_p-?	$I_1 = \frac{P_1}{3 \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{526000}{3 \cdot 660 \cdot 0{,}8} = 346$ А

11-тапсырма. Үшфазалы синхронды генератордың білігіндегі айналмалы момент-48 Нм. Жетекті қозғалтқыштың пайдалы қуаты - 5 кВт. Генератордың қысқыштарындағы кернеу жиілігі f=50 Гц. Генератор полюстерінің санын анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
M_1=48 Н·м P_1=5 кВт f=50 Гц	$n_1 = \frac{9{,}55 \cdot P_1}{M_1} = \frac{9{,}55 \cdot 5000}{48} = 1000$ айн/мин $p = \frac{f_1 \cdot 60}{n_1} = \frac{3000}{1000} = 3$
p-?	$2p = 6$

Тұрақты ток машиналары

12-тапсырма. n =975 айн/мин айналу жиілігі кезінде тұрақты ток қозғалтқышы P_2=5 кВт. Қозғалтқыштың пайдалы моментін анықтау керек.

Берілгені:	**Шешімі:**
n =975 айн/мин P_2=5 кВт	$M_2 = \frac{9{,}55 \cdot P_2}{n} = \frac{9{,}55 \cdot 5000}{975} = 48{,}9$ Н · м
M_2 -?	

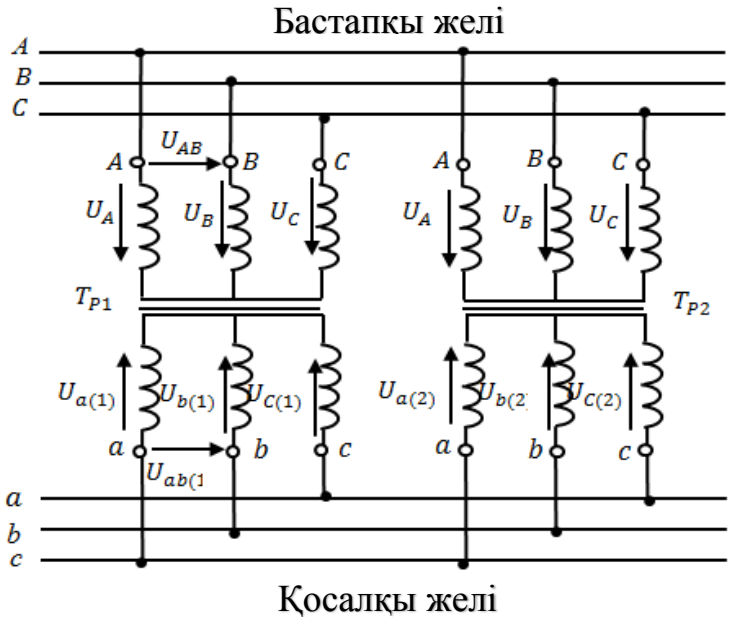
13-тапсырма. Тізбектей қозудың тұрақты тогының тартқыш қозғалтқышының номиналды қуаты $P_н$=52 кВт, пайдалы әсер коэффициенті η=81 %, айналу жиілігі n=650 айн/мин, номиналды кернеу $U_н$ = 550 В, Зәкір орамдарының және қозудың жалпы кедергісі $r_а+r_в$=0,095 Ом. Анықтау керек: тұтынылатын қуатты, қозғалтқыш тогын, білікке пайдалы моментті, ЭҚК, қуаттың жиынтық шығынын.

Берілгені:	**Шешімі:**
$P_н$=52 кВт η=81% n=650 об/мин $U_н$=550 В $r_а+r_в$=0,095 Ом	$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{52}{0{,}81} = 64$ кВт $I_н = \frac{P_1}{U_н} = \frac{52000}{550} = 94{,}5$А $M_2 = 9{,}55\frac{P_Н}{n} = \frac{52 \cdot 9{,}55 \cdot 10^3}{650} = 764$ Н · м
P_1 -? $I_н$ -? M_2 -? $E_а$-? $\sum \Delta P$-?	$E_а$=U-$I_а \cdot r_а$ = 580 – 94,5 · 0,095 = 541 В $\sum \Delta P = P_1 - P_2 = 64 - 52 = 12$ кВт

3.6. Трансформаторларды параллельді жұмысқа қосу шарттары

Жеке өнеркәсіптік кәсіпорындардың, цехтардың аумағында немесе олардың жанында жоғары кернеулі электр энергиясын түрлендіру үшін тұтынушылардың көпшілігі жұмыс істейтін кернеуі 220, 380 В дейін төмендететін трансформаторлар орнатылады.

Төмен вольтты желілер сымдарының ұзындығын қысқарту мақсатында, ал олардың едәуір қимасы бар, және қабылдағыштарды электр энергиясымен үздіксіз жабдықтау үшін бір цехқа немесе өнеркәсіптік кәсіпорынға бір ғана трансформатор жеткіліксіз болғандықтан, бірнешеуін параллельді қосқан жөн. Авариялық істен шығу немесе олардың біреуі профилактикалық жөндеу кезінде қалғандары қабылдағыштарды электр энергиясымен қамтамасыз етеді. Өнеркәсіптік кәсіпорындарды үздіксіз жабдықтау мақсатында электр станцияларында параллель қосылған бірнеше трансформаторлар орнатылады. 3.35-суретте екі параллель қосылған үшфазалы трансформаторлардың сұлбасы көрсетілген.



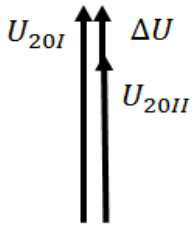
3.35-сурет. Үшфазалы трансформаторларды параллель қосу

Трансформаторлардың параллель жұмысы кезінде туындайтын негізгі қиындық олардың арасындағы жүктемені біркелкі бөлуді қамтамасыз ету болып табылады. Параллельді жұмысқа қуаты мен құрылымы бірдей трансформаторларды қосқан кезде жүктеме барлық параллель тізбектердің симметриясының арқасында олардың арасында біркелкі бөлінеді. Алайда тәжірибе жүзінде көбінесе қуаты бойынша бірдей емес және конструктивтік қатынаста әртүрлі параллельді трансформаторларды қосуға тура келеді. Бұл жағдайда параллель жұмыс істейтін трансформаторлар арасында жүктемені біркелкі бөлу көбінде мүмкін емес.

Параллель жұмыс істейтін трансформаторлар арасындағы жүктеме олардың номиналды қуатына пропорционал бөлінуі үшін, келесі жағдайларда екі орамды трансформаторлардың параллель жұмыс істеуіне рұқсат етіледі:

Трансформатордың трансформациялану коэффициенті бірдей болуы қажет $k_{mp1} = k_{mp2} = k_{mp3} = \ldots = k_{mpn}$

Осы шартты сақтамаған кезде, тіпті бос жүріс режимінде параллель қосылған трансформаторлар арасында трансформаторлардың екінші кернеулерінің әртүрлілігіне негізделген теңестіргіш ток пайда болады (3.36-сурет):



$$I_{\text{ур}} = \frac{\Delta U}{Z_{k1}+Z_{k2}}\ , \qquad (3.35)$$

Z_{k1}, Z_{k2} - Трансформаторлардың ішкі кедергісі

3.36-сурет. Айырымдық кернеудің пайда болуы ΔU

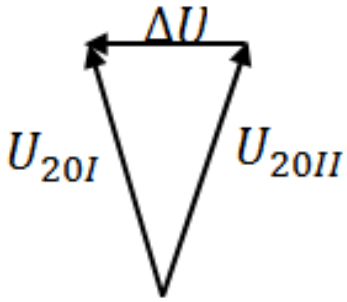
Тәжірибеде трансформация коэффициенттеріндегі айырмашылықтары олардың орташа мәнінің 0,5% - дан аспайтын, ал K>3 трансформаторлары үшін-1% - дан аспайтын күштік трансформаторлардың параллель жұмыс істеуіне жол беріледі. Трансформация коэффициенттеріндегі мұндай айырмашылығында екінші кернеулердің айырмашылығы үлкен емес және теңестіруші ток елеусіз.

$$\Delta k = \frac{k_{тр1} - k_{тр2}}{k} \cdot 100\ '\% \leq 0.5\% \ , \qquad (3.36)$$

мұнда $k = \sqrt{k_{тр1} \cdot k_{тр2}}$ - трансформаторлар коэффициенттерінің орташа геометриялық мәні.

Бұл үшін параллель жұмыс істейтін трансформаторлар қосылыстардың бір тобына жатуы тиіс. Бұл жағдай орындалмаған кезде екінші орамның аттас қысқыштары арасында теңдестіргіш токтың пайда болуын тудыратын кернеудің ΔU айырмасы пайда болады (3.37-сурет). Мысалы, егер трансформаторлар тіпті ең жақын топтарға (мысалы, он бірінші және нөлдік) тиесілі болса, олардың екінші ЭҚК арасындағы фаза бойынша ығысу 30^0 құрайды, және параллель қосылған қайталама орамдардың контурында кернеудің үлкен айырмасы пайда болады.

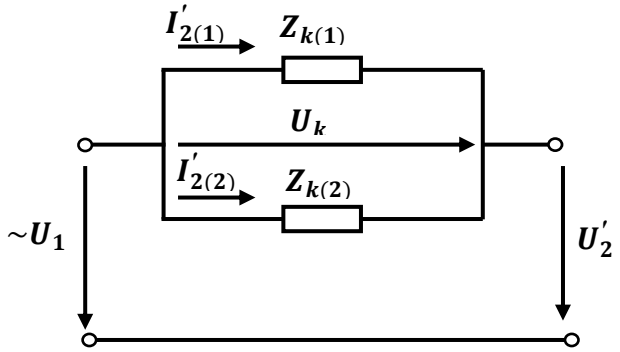
$$\Delta U = U_{2I} - U_{2II} = 2U_2 \cdot \sin 15^0 \approx 0{,}52 \cdot U_2 \ , \qquad (3.37)$$



3.37-сурет. Бірдей $k_{тр}$ қосылған әртүрлі топтағы трансформаторлардың параллель жұмысы кезіндегі кернеудің векторлық диаграммалары

Бұл жағдайда теңдестіру тогы жүктеменің номиналды тогынан 15-20 есе асып түседі, яғни авариялық жағдай пайда болады.

Параллель жұмыс істеп тұрған трансформаторлар арасындағы жүктеме олардың номиналды қуатына пропорционал бөлінуі үшін трансформаторларда қысқа тұйықталу кернеуінің бірдей мәні болуы тиіс. $U_{k1} = U_{k2} = U_{k3} =$….



3.38-сурет. Параллель қосылған екі трансформаторды ауыстырудың оңайлатылған сұлбасы

Трансформаторлардың екі параллель қосылған трансформаторларын алмастырудың оңайлатылған сұлбасынан (3.38-сурет) шығатыны $U_к = I'_{2(1)}z_{к(1)} = I'_{2(2)}z_{к(2)}$

Егер трансформаторларда бірдей $U_к$ мәндер болса

$$U_{к(1)} = I_{2н(1)}z_{к(1)} = U_{к(2)} = I'_{2н(2)}z_{к(2)} = U_к\,, \qquad (3.38)$$

онда

$$\frac{I'_{2(1)}}{I'_{2(2)}} = \frac{I_{2(1)}}{I_{2(2)}} = \frac{I_{2н(1)}}{I_{2н(2)}}\ , \qquad (3.39)$$

Параллель қосылған трансформаторлар бастапқы және қайталама кернеулердің бірдей мәндері болады, сондықтан

$$\frac{I'_{2(1)}}{I'_{2(2)}} = \frac{I_{2(1)}U_{2н}\sqrt{3}}{I_{2(2)}U_{2н}\sqrt{3}} = \frac{S_{н(1)}}{S_{н(2)}}\ , \qquad (3.40)$$

Трансформаторларда параллель жұмыс істейтін трансформаторлардың салыстырмалы қуаттары (жүктемелері) олардың қ.т. кернеулеріне кері пропорционалды. Басқа сөзбен айтқанда, параллель жұмыс істейтін трансформаторлардың қысқа тұйықталу кернеулерінің теңсіздігі кезінде қ.т. аз кернеулігі бар трансформатор көбірек жүктеледі. Нәтижесінде біреуі артық жүктеледі ($u_к$азы), екіншісі аз жүктеледі ($u_к$ көбі).

Тәжірибеде қысқа тұйықталу кернеулерінің бірдей трансформаторларын таңдау әрдайым мүмкін емес, қысқа тұйықталу кернеулерінің олардың орташа арифметикалық мәнінен 10% - дан аспайтын айырмасы кезінде трансформаторларды параллельді жұмысқа қосуға жол беріледі. Осы трансформаторлар қуаты бойынша неғұрлым көп айрықшаланса, қ.т. кернеулеріндегі айырма соғұрлым көп болады. Сондықтан, параллель қосылған трансформаторлардың номиналды қуаттарының қатынасы 3/1-ден аспауы керек.

Көрсетілген шарттар, егер трансформаторларда бастапқы және қайталама орамдарды біріктірудің сұлбалары бірдей болса және сұлбалар бірдей тәсілмен құрылған болса орындалады.

Барлық аталған шарттардың сақталуы трансформаторлардың фазалануымен тексеріледі.

Параллельді жұмысқа қосылған барлық S трансформаторларының жалпы жүктемесі осы трансформаторлардың жиынтық номиналдық қуатынан аспауы тиіс: $S \leq \sum S_{\text{ном}x}$

Жалпы параллель топта жұмыс істейтін трансформаторлар арасындағы жүктемені бөлу былайша анықталады:

$$S_x = \frac{S \cdot S_{\text{ном}x}}{u_{\text{к}x,}\% \sum \frac{S_{\text{ном}x}}{u_{\text{к}x,}\%}}, \qquad (3.41)$$

мұнда S_x - параллель жұмыс істейтін трансформаторлардың бірінің жүктемесі, кВА;

S- барлық параллель топтың жалпы жүктемесі, кВА

$u_{\text{к}x,}\%$ - берілген трансформатордың қ.т.кернеуі

$S_{\text{ном}x}$ - берілген трансформатордың номиналды қуаты, кВА.

$$\sum \frac{S_{\text{ном}x}}{u_{\text{к}x,}\%} = \frac{S_{\text{ном 1}}}{u_{\text{к1,}}} + \frac{S_{\text{ном 2}}}{u_{\text{к2,}}}, \qquad (3.42)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Трансформаторлардың параллель жұмысы нені қамтамасыз етеді?
2. Қуаты әртүрлі үшфазалы трансформаторлардың параллель жұмыс істеуіне жол беріледі ма?
3. Трансформаторларды фазалау дегеніміз не?
4. u_k% қысқа тұйықталу кернеуінің әртүрлі мәні бар үш фазалы трансформаторлардың параллель жұмыс істеуіне жол беріле ме?
5. u_k% қысқа тұйықталу кернеулігі әртүрлі параллель жұмыс істейтін үшфазалы трансформаторлардың қайсысы артық жүктемеленеді?

4-тарау. Электр энергиясын өндіру, беру және тарату принциптері

4.1. Электр энергиясының көздері мен тұтынушыларының мақсаты

Электр тізбегі жеке құрылғылардан немесе элементтерден тұрады, оларды мақсаты бойынша 3 топқа бөлуге болады. Бірінші топты электр энергиясын өндіруге арналған элементтер құрайды – бұл ток көздері.

Ток көздері дегеніміз – энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына түрлендіретін құрылғылар. Оларға: электр станцияларының генераторлары, гальваникалық элементтер, аккумуляторлар, фотоэлементтер және т. б. жатады.

Екінші топ – электр энергиясын энергияның басқа түрлеріне (механикалық, жылу, жарық және т.б.) түрлендіретін элементтер. Бұл элементтерді электр энергиясын тұтынушылар деп атайды. Оларға: электр қозғалтқыштар, жылыту және жарықтандыру құралдары және т. б. жатады

Үшінші топқа электр энергиясын қоректендіру көзінен тұтынушыларға беруге арналған элементтер (сымдар, ажыратқыштар және басқа құрылғылар) кіреді.

Электр энергиясының көзі - тұтынушылар электр энергиясын беру құрылғыларының құралы арқылы алатын тетік.

Электр энергиясының көздері: генераторлардың барлық түрлері мен типтері, трансформаторлар мен автотрансформаторлардың екінші орамалары, әртүрлі гальваникалық элементтер, аккумуляторлық батареялар, күн батареялары, түрлі пьезоэлементтер және тіпті найзағай разряды (найзағай) электр энергиясының көзі болып табылады.

Электр энергиясын тұтынушы деп – технологиялық үдеріспен біріктірілген және белгілі бір аумақта орналасқан электр қабылдағышты (ЭҚ) немесе электр қабылдағыштар тобын айтады.

Электр энергиясын қабылдағыш (электр қабылдағыш) деп – электр энергиясын энергияның басқа түріне түрлендіруге арналған аппарат, агрегат, механизм аталады.

Электр энергиясын қабылдағыш (электр қабылдағыш) дегеніміз - желіден энергия алатын және оны технологиялық процестерді орындауға жұмсалатын технологиялық қондырғының немесе механизмнің электрлік бөлігі болып табылады. Электр энергиясын желіден тұтына отырып, электр қабылдағыш, іс жүзінде оны энергияның басқа түрлеріне түрлендіреді: механикалық, жылу, жарық немесе электр энергиясы (ток түрі, кернеуі, жиілігі бойынша). Кейбір технологиялық қондырғылардың бірнеше электр қабылдағыштары бар: білдектер, крандар, илемдеу орнақтары және т. б. [5].

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың электр қабылдағыштары мынадай белгілер бойынша жіктеледі: кернеу, ток түрі, оның жиілігі, бірлік қуаты, электрмен жабдықтау сенімділігі, жұмыс режимі, технологиялық мақсаты, өндірістік байланыстар, аумақтық орналасуы.

Электр энергиясын тұтынушы бірнеше белгілермен біріктірілген технологиялық қондырғының, цехтың, корпустың немесе кәсіпорынның бірнеше электр қабылдағыштарын біріктіреді және электр жүктемесінің тығыздығымен сипатталады.

ЭҚ кернеуі бойынша екі топқа бөлінеді: 1000 В дейін және 1000 В жоғары [5].

ЭҚ ток түрі бойынша өнеркәсіптік жиіліктегі (50 Гц) ауыспалы ток, тұрақты ток және 50 Гц-тен ерекшеленетін (жоғары немесе төмен) жиіліктегі ауыспалы ток қабылдағыштарына бөлінеді.

Электрмен жабдықтау сенімділігін қамтамасыз ету бойынша электр қабылдағыштардың жіктелуі.

Электрмен жабдықтау сенімділігін қамтамасыз етуге қатысты электр қабылдағыштар мынадай үш санатқа бөлінеді:

I санатты электр қабылдағыштар – электрмен жабдықтаудың үзілісі: адамдардың өміріне қауіп төндіруі, халық шаруашылығына елеулі зиян келтіруі мүмкін электр қабылдағыштар; қымбат тұратын негізгі жабдықтың зақымдануы, өнімнің жаппай ақауы, күрделі технологиялық процестің бұзылуы, коммуналдық шаруашылықтың аса маңызды элементтерінің жұмыс істеуінің бұзылуы.

I санатты электр қабылдағыштардың құрамынан адамдардың өміріне, жарылыстарға, өрттерге және қымбат тұратын негізгі жабдықтардың зақымдануына қауіп төндіруді болдырмау мақсатында өндірісті авариясыз тоқтату үшін үздіксіз жұмысы қажет болатын электр қабылдағыштардың ерекше тобы бөлінеді.

II санатты электр қабылдағыштар – электр қабылдағыштар, оларды электрмен жабдықтаудың үзілісі өнімнің жаппай жіберілуіне, жұмысшылардың, механизмдердің және өнеркәсіптік көліктің жаппай тоқтап қалуына, қала және ауыл тұрғындарының едәуір санының қалыпты қызметінің бұзылуына әкеп соқтырады.

III санатты электр қабылдағыштар – I және II санаттағы анықтамаларға сәйкес келмейтін барлық қалған электр қабылдағыштар [5].

I санатты электр қабылдағыштар екі тәуелсіз өзара резервтейтін қорек көзінен электр энергиясымен қамтамасыз етілуі тиіс және оларды электрмен жабдықтаудың үзілуі қоректендіру көздерінің бірінен электрмен жабдықтау бұзылған кезде қоректендіруді автоматты қалпына келтіру уақытына ғана жол берілуі мүмкін.

I санатты электр қабылдағыштардың ерекше тобын электрмен жабдықтау үшін үшінші тәуелсіз өзара резервтеуші қорек көзінен қосымша қорек көзделуі тиіс.

Электр қабылдағыштардың ерекше тобы үшін үшінші тәуелсіз қорек көзі ретінде және I санаттағы қалған электр қабылдағыштары үшін екінші тәуелсіз қорек көзі ретінде жергілікті электр станциялары, энергия жүйелерінің электр станциялары (атап айтқанда, генераторлық кернеу

шиналары), үздіксіз қоректендірудің арнайы агрегаттары, аккумуляторлық батареялар және т. б. пайдаланылуы мүмкін.

Егер электрмен жабдықтауды резервтеумен технологиялық процестің қажетті үздіксіздігін қамтамасыз ету мүмкін болмаса немесе егер электрмен жабдықтауды резервтеу экономикалық орынсыз болса, мысалы, өзара резервтейтін технологиялық агрегаттарды, электрмен жабдықтау бұзылған кезде әрекет ететін технологиялық процестің авариясыз тоқтауының арнайы құрылғыларын орнату жолымен технологиялық резервтеу жүзеге асырылуы тиіс.

Жұмыс режимін қалпына келтіруге ұзақ уақытты талап ететін ерекше күрделі Үздіксіз технологиялық процессі бар I санаттағы электр қабылдағыштарды электрмен жабдықтауды техникалық-экономикалық негіздемелер болған кезде технологиялық процестің ерекшеліктерімен анықталатын қосымша талаптар қойылатын екі тәуелсіз өзара резервтеуші қоректендіру көздерінен жүзеге асыру ұсынылады.

II санатты электр қабылдағыштарды екі тәуелсіз өзара резервтейтін қоректену көзінен электр энергиясымен қамтамасыз ету ұсынылады.

II санатты электр қабылдағыштар үшін қоректендіру көздерінің бірінен электрмен жабдықтау бұзылған кезде кезекші персоналдың немесе көшпелі жедел бригаданың әрекеттерімен резервтік қоректендіруді қосу үшін қажетті уақытқа электрмен жабдықтау үзілісіне жол беріледі.

II санатты электр қабылдағыштарды бір ӘЖ бойынша, оның ішінде егер осы желіге 1 тәуліктен аспайтын уақыт ішінде авариялық жөндеу жүргізу мүмкіндігі қамтамасыз етілген болса, кәбіл қосындысы бар қоректендіруге рұқсат етіледі. Осы желінің кәбілдік кірістірмелері екі кабельмен орындалуы тиіс, олардың әрқайсысы ӘЖ ең ұзақ тогы бойынша таңдалады. II санаттағы электр қабылдағыштарды бір жалпы аппаратқа қосылған кемінде екі кабельден тұратын бір кәбілдік желі бойынша қоректендіруге рұқсат етіледі.

Трансформаторлардың орталықтандырылған резерві және бүлінген трансформаторды 1 тәуліктен аспайтын уақыт ішінде ауыстыру мүмкіндігі болған кезде бір трансформатордан II санаттағы электр қабылдағыштарды қоректендіруге жол беріледі.

Электрмен қамтамасыз етудің III санаттағы электр қабылдағыш үшін электрмен қамтамасыз ету жүйесінің зақымдалған элементін жөндеу не ауыстыру үшін қажетті электрмен қамтамасыз ету үзілісі 1 тәуліктен аспайтын жағдайда бір қуат көзінен болуы мүмкін [5].

Негізгі электр энергиясының көздері:

- Жылу электр станциялары – органикалық отынмен жұмыс істейді- мазут, көмір, шымтезек, газ, сланцы. ЖЭС, негізінен, табиғи ресурстар бар аймақта және ірі мұнай өңдеу кәсіпорындарының маңында орналасады;
- Атом электр станциялары – суды қыздыру үшін ядролық реакцияның нәтижесінде бөлінетін жылу энергиясы талап етіледі. Ал жұмыс тәртібі жағынан жылу электр станциясына ұқсас;

• Су электр станциялар – бөгетпен жабылатын үлкен өзендерде салынады және құлама су энергиясының арқасында электргенератордың турбиналары айналады. Электр энергиясын осындай әдіспен алу отынның әртүрлі түрлерін жағудың болмауынан ең экологиялық әдіс болып саналады, демек, зиянды қалдықтар жоқ [10];

Табиғи энергетикалық тасығыштардың қарқынды сарқылуы нәтижесінде энергия алудың жаңа әдістерін іздеу жөніндегі міндет бірінші орынға шығарылады.

Дәстүрлі емес энергия көздері [1]:

• Күн электр станциялары – күн энергиясын қолданудың бірнеше жолы бар. Күн энергиясын алудың физикалық әдісі кезінде күн энергиясын электр немесе жылу энергиясына сіңіруге және түрлендіруге қабілетті гальваникалық батареялар қолданылады. Сондай-ақ күн сәулесін бейнелейтін айналар жүйесі және оларды күн жылуы шоғырланатын маймен толтырылған құбырларға бағыттайтын айналар жүйесі қолданылады;

• Жел электр станциялары – күшті жел соққан жағдайда ғана электр энергиясын өндіруге қабілетті. Желдің «негізгі заманауи энергия көздері» - өте күрделі құрылымы бар жел қозғалтқышы. Онда екі жұмыс режимі бағдарламаланған – әлсіз және күшті жел, сондай-ақ күшті жел болған жағдайда, қозғалтқышты тоқтайды;

• Толысу электр станциялары – электр энергиясын өндіру үшін ағынды су энергиясы пайдаланылады. Қарапайым толысу электр станциясын салу үшін өзен сағасы немесе шығанағы бөгетімен жабылған бассейн қажет. Бөгет гидротурбиналармен және су өткізетін тесіктермен жабдықталған.

Судың көтерілуі кезінде бассейнге түседі және бассейн мен теңіздегі су деңгейін салыстыру кезінде су өткізу тесіктері жабылады. Су көтерілу жақындағанда су деңгейі азаяды, арын жеткілікті күшке айналады, турбиналар мен электргенераторлар өз жұмысын бастайды, біртіндеп бассейннен су кетеді;

• Геотермалды энергия көздері – энергия өндіру үшін жер турбиналарының жылуы пайдаланылады (жер астындағы ыстық көздер). Бұл жылуды кез келген өңірде қолдануға болады, бірақ жер қабығына барынша жақын ыстық су, яғни гейзерлер мен вулкандардың белсенді қызметі бар жерде ғана шығындар өтеледі;

• Энергия көзі – биомасса – Биомасса-бастапқы және қайталама болып табылады. Энергия алу үшін кептірілген балдырларды, ауыл шаруашылығының қалдықтарын, сүректі және т.б. пайдалануға болады. Энергияны пайдаланудың биологиялық нұсқасы – ауаға кірмей ашыту нәтижесінде қидан биогаз алу [1].

Бүгінгі таңда әлемде қоршаған ортаны нашарлататын лайықты қоқыстар жиналған, қоқыс адамдарға, жануарларға және барлық тірі ағзаларға қатты әсер етеді. Сондықтан да қоршаған ортаның ластануын болдырмау үшін қайталама биомасса пайдаланылатын энергетиканы дамыту қажет.

Қазақстан энергетикалық ресурстардың ірі қорына (мұнай, газ, көмір, уран) ие және энергетикалық держава болып табылады.

2017 жылдың қорытындысы бойынша Қазақстанда электр энергиясын өндіру көлемі 103,14 млрд кВт·сағ. құрады. Қазақстан электр энергиясын нетто-экспорттаушы болып табылады. 2017 жылы электр энергиясын өндіру көлемі 4,53 млрд кВт·сағ.

Қазақстанның барлық электр станцияларының белгіленген жиынтық қуаты 18 992.7 МВт электр энергиясын құрайды. Өкінішке орай, көптеген электр станциялардың электр энергиясын өндіруі белгіленген қуатқа жетпей отыр. Электр станциялар түрлері бойынша электр энергиясын өндіру төмендегідей бөлінеді:

- ЖЭС (жылу электр станциялары) - 87,7 %;
- КЭС (конденсациялық электр станциясы) - 48,9 %;
- ЖЭО (жылу электр орталығы) - 36,6 %;
- ГТЭС (газтурбиналық электр станциясы) - 2,3 %;
- СЭС (су электр станциялары) - 12,3 %;
- Қазақстанда электр энергиясының шамамен 70% - ы көмірден, 14,6% - ы - гидроресурстардан, 10,6% - ы-газдан және 4,9% - ы-мұнайдан өндіріледі.

Жеке тұтынушылардың электр жүктемесі, демек, энергия жүйесіндегі электр станцияларының жұмыс режимін анықтайтын олардың жиынтық жүктемесі үздіксіз өзгереді. Бұл фактіні жүктеме графигімен, яғни уақыт бойынша электрқондырғы қуатының (тогының) өзгеру диаграммасымен көрсету керек.

Бекітілген параметр түрі бойынша электр қондырғысының активті P, реактивті Q, толық (көрінетін) S қуаттары мен тогының графиктері ажыратылады. Әдетте, графиктер белгілі бір уақыт кезеңіндегі жүктеменің өзгеруін көрсетеді. Осы белгісі бойынша олар тәуліктік (24 сағ.), маусымдық, жылдық және т. б. бөлінеді

Олар жататын энергия жүйесінің зерттеу орны немесе элементі бойынша графиктерді келесі топтарға бөлуге болады:

1) қосалқы станциялардың шиналарында анықталатын тұтынушылардың жүктеме графиктері;

2) жүктеменің желілік кестесі - аудандық және тораптық қосалқы станциялардың шиналарында;

3) энергия жүйесінің нәтижелік жүктемесін сипаттайтын энергия жүйесінің жүктеме графиктері;

4) электр станцияларының жүктеме графигі.

Жүктеме графиктері электр қондырғыларының жұмысын талдау үшін, электрмен жабдықтау жүйесін жобалау үшін, электр тұтыну болжамдарын жасау үшін, жабдықтарды жөндеуді жоспарлау үшін, сондай-ақ қалыпты жұмыс режимін жүргізу үшін пайдалану процесінде қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. «Электр энергиясының көздері» дегеніміз не?

2. «Электр энергиясының тұтынушылары» дегеніміз не?
3. «Электр энергиясының қабылдағышы» дегеніміз не?
4. Электр қабылдағыштарды кернеу бойынша қандай топтарға бөледі?
5. Электрмен жабдықтау сенімділігі бойынша электрлік қабылдағыштар қандай санаттарға бөлінеді?

4.2. Электр энергиясын өндіру принципі

Электр энергиясын өндіру (генерациялау) дегеніміз – электр станциялары деп аталатын индустриялық объектілерде энергияның әртүрлі түрлерін электр энергиясына түрлендіру процесі.

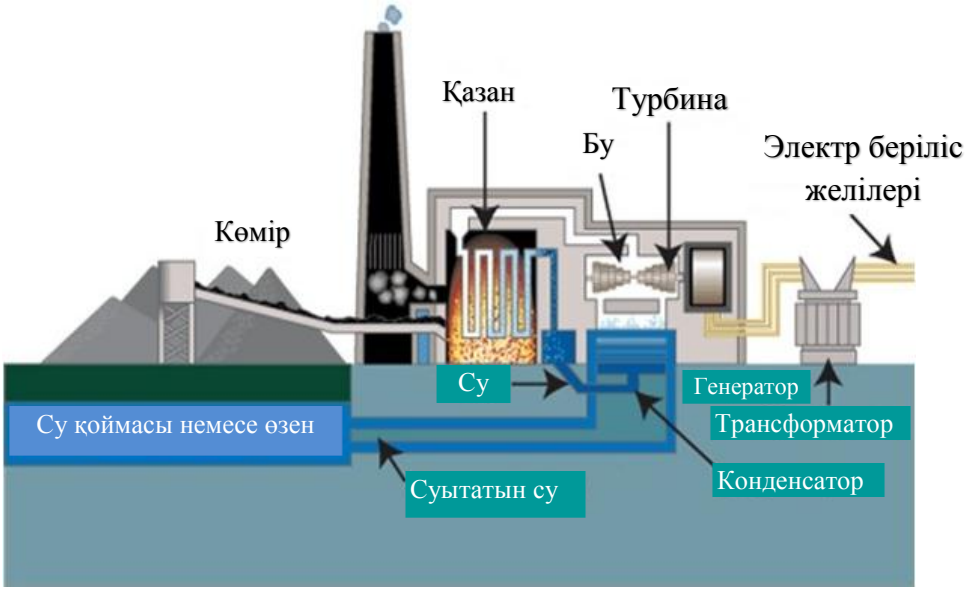
Жылу электр энергетикасы

Бұл жағдайда электр энергиясына органикалық отындардың жану жылу энергиясы түрлендіріледі. Жылу электр энергиясына жылу электр станциялары (ЖЭС) жатады, олардың екі негізгі түрі болады (4.1-сурет):

Конденсациялық (КЭС, сондай-ақ ескі МАЭС аббревиатурасы қолданылады). Конденсациялық деп электр энергиясын құрамдастырылмаған өндірісі аталады;

Жылуландыру (жылу электр орталықтары, ЖЭО). Жылуландыру деп бір ғана станцияда электр және жылу энергиясының аралас өндірісін айтады.

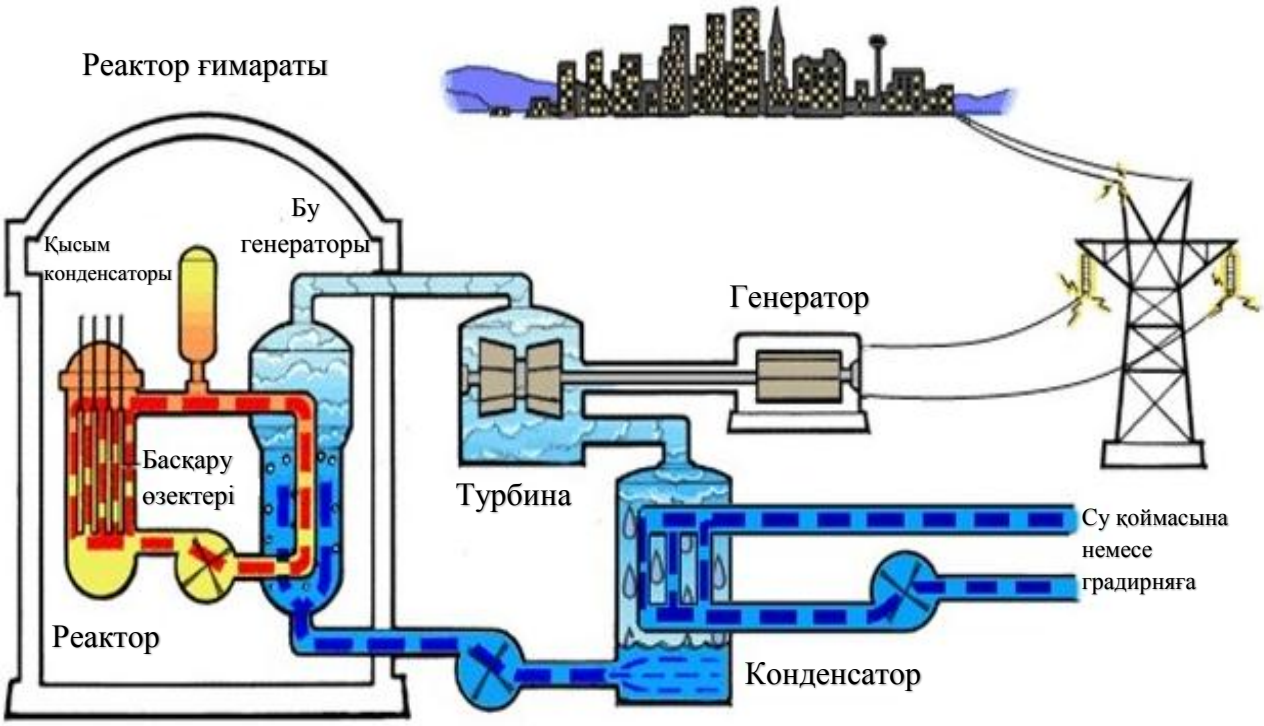
КЭС және ЖЭО ұқсас технологиялық процестерге ие. Екі жағдайда да отын жағылатын қазандық бар және бөлінетін жылу есебінен қысым астында бу қызады. Содан кейін қыздырылған бу жылу энергиясы айналым энергиясына түрленетін бу турбинасына беріледі. Турбинаның білігі электр генератордың роторын айналдырады - осылайша айналу энергиясы желіге берілетін электр энергиясына айналады. ЖЭО-ның КЭС-тен принципті айырмашылығы қазандықта қыздырылған будың бір бөлігі жылумен қамтамасыз ету қажеттілігіне кетеді [10].



4.1-сурет. ЖЭО-да электр энергиясын өндіру принципі

Ядролық энергетика

Оған атом электр станциялары жатады (АЭС, 4.2-сурет). Іс жүзінде ядролық энергетиканы жылу электр энергетикасының кіші түрі деп санайды, өйткені тұтастай алғанда, АЭС-да электр энергиясын өндіру қағидаты ЖЭС-дағы сияқты. Тек осы жағдайда жылу энергиясы отынды жағу кезінде емес, ядролық реакторда атом ядроларын бөлу кезінде бөлінеді. Одан әрі электр энергиясын өндіру сұлбасының ЖЭС-дан ешқандай айырмашылығы жоқ: бу реакторда қызады, бу турбинасына және т. б. түседі. АЭС-ты кейбір конструктивтік ерекшеліктеріне байланысты, осы бағыттағы жекелеген эксперименттер жүргізілгенмен, құрамдастырылған өндірісте пайдалану тиімсіз [10].

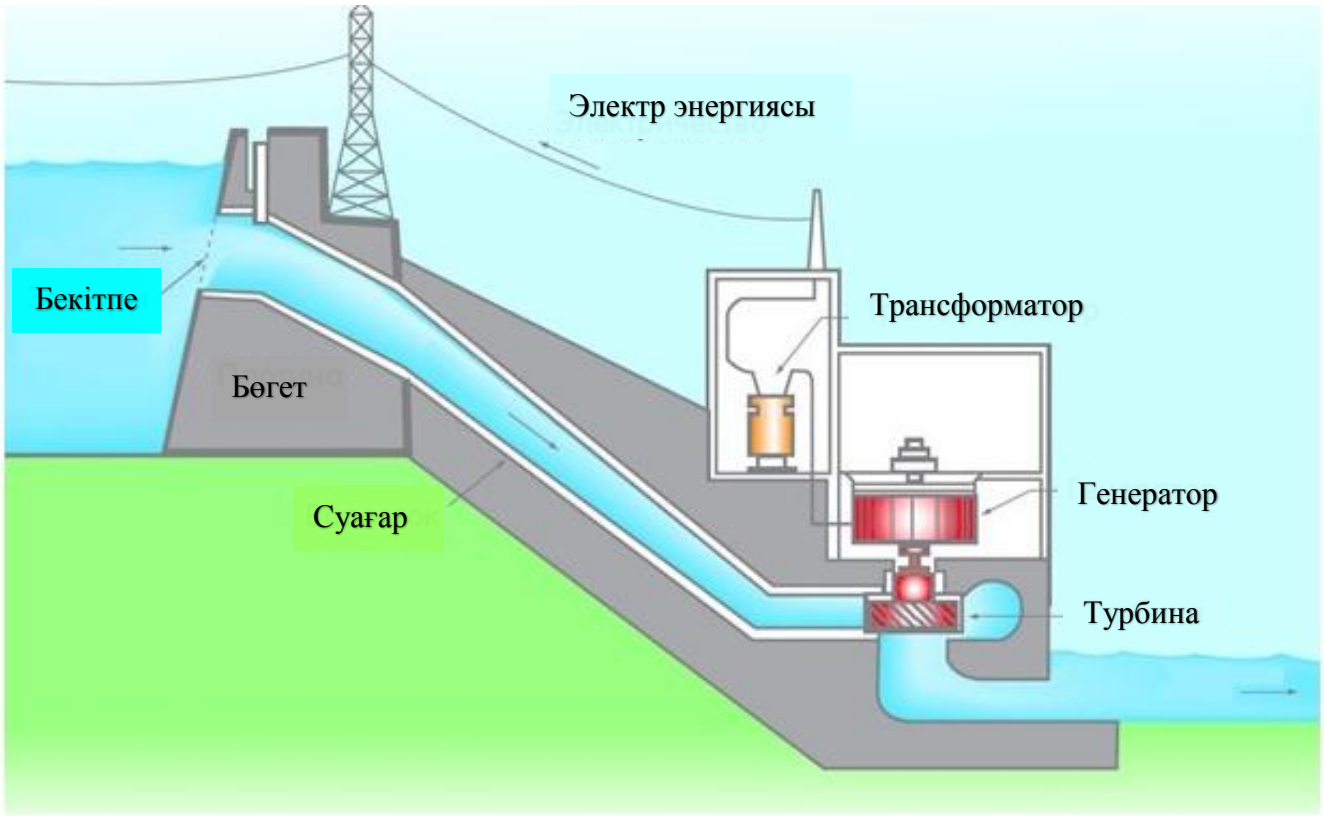


4.2-сурет. АЭС-да электр энергиясын өндіру принципі

Гидроэнергетика

Оған су электр станциялары (СЭС) жатады. Гидроэнергетикада электр энергиясына су ағысының кинетикалық энергиясы түрлендіріледі. Бұл үшін өзендердегі бөгеттердің көмегімен жасанды түрде су беті деңгейінің сарқырамасы жасалады (жоғарғы және төменгі бьеф). Ауырлық күшінің әсерінен су жоғарғы бьефтен астыңғы арнасына құйылады, оларда су турбиналары орналасқан, олардың қалақтары су ағынымен бұрылады. Турбина болса электрогенератордың роторын айналдырады (4.3-сурет). СЭС-тің ерекше түрі гидроаккумуляторлық станциялар (ГАЭС) болып табылады. Оларды таза түрдегі генерациялаушы қуаттар деп санауға болмайды, өйткені олар қаншалықты электр энегиясын өндірсе, соншалықтысын тұтынады,

бірақ мұндай станциялар ең жоғары сағаттарда желіні жеңілдету жұмысын өте тиімді атқарады [10].



4.3-сурет. СЭС-те электр энергиясын өндіру принципі

Баламалы энергетика

Оған «дәстүрлі энергетикамен» салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар, бірақ әр түрлі себептермен жеткілікті түрде таралмаған электр энергиясын генерациялау тәсілдері жатады. Баламалы энергетиканың негізгі түрлері:

Жел энергетикасы – электр энергиясын алу үшін желдің кинетикалық энергиясын пайдалану (4.4- сурет);

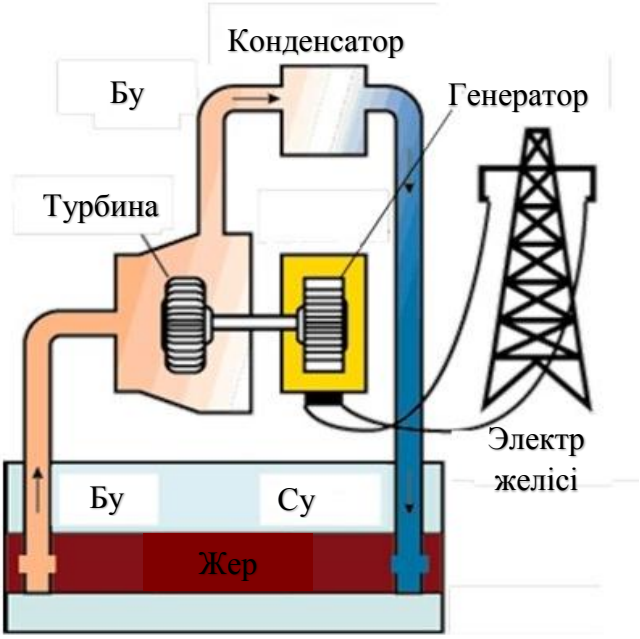
Гелиоэнергетика – күн сәулесі энергиясынан электр энергиясын алу (4.5-сурет);

Жел және гелиоэнергетиканың жалпы кемшіліктері генераторлардың қымбаттылығы және салыстырмалы қуатының аз болып табылатындығы. Сондай-ақ екі жағдайда да түнгі (гелиоэнергетика үшін) және желсіз (жел энергетикасы үшін) уақытқа аккумуляторлық қуаттар қажет;

4.4-сурет. ЖЭО-да электр энергиясын өндіру принципі

4.5 сурет. Күн ЭО-да электр энергиясын өндіру принципі

Геотермалды энергетика – электр энергиясын өндіру үшін Жердің табиғи жылуын пайдалану. Шын мәнінде геотермалдық станциялар буды қыздыру үшін жылу көзі қазандық немесе ядролық реактор емес, табиғи жылудың жерасты көздері болып табылатын кәдімгі ЖЭС болып табылады. Мұндай станциялардың кемшілігі – оларды қолданудың географиялық шектеулілігі болып табылады: геотермальды станцияларды тек қана тектоникалық белсенділігі бар аймақтарда, яғни табиғи жылу көздері неғұрлым қол жетімді өңірлерде салған тиімді (4.6-сурет).



4.6 сурет. ГеоЖЭС-те электр энергиясын өндіру принципі

Сутегі энергетикасы - сутекті энергетикалық отын ретінде пайдаланудың болашағы зор: сутегі өте жоғары жану ПӘК-і бар, оның ресурсы іс жүзінде шектелмеген, сутегі жағу экологиялық таза (оттегі атмосферасындағы жану өнімі дистилденген су болып табылады). Алайда, қазіргі уақытта сутегі энергетикасы адамзаттың қажеттілігін толық көлемде қанағаттандыру таза сутегі өндірісінің қымбат болуына және оны көп мөлшерде тасымалдаудың техникалық проблемаларына байланысты мүмкін емес.

Гидроэнергетиканың баламалы түрлерін атап өту керек: толысу және толқындық энергетика. Бұл жағдайларда теңіз толқындары мен жел толқындарының табиғи кинетикалық энергиясы пайдаланылады. Электр энергетикасының осы түрлерінің таралуына электр станциясын жобалау кезінде тым көп факторлардың сәйкес келу қажеттілігі кедергі келтіреді: тек теңіз жағалауы ғана емес, сондай-ақ теңіздің тасуы (және теңіздің толқуы тиісінше) жеткілікті күшті және тұрақты болатын жағалау. Мысалы, Қара теңіз жағалауы толысу электр станцияларын салу үшін жарамсыз, өйткені Қара теңіздегі су деңгейінің тасу және қайту деңгейінің ауытқуы өте аз.

Бақылау сұрақтары

1. «Элекр энергиясын өндіру» деген ұғым нені білдіреді?
2. Электр станцияларының түрлерін атаңыз.
3. Жылу электр станцияларының қандай түрлері болады? Олардың айырмашылығы неде?
4. Баламалы энергетиканың қандай бағыттары болады?
5. Гидроэлектр станцияларындағы электр энергиясын өндірудің принципін түсіндіріңіз?

4.3. Электр энергиясын беру және тарату принципі

Электр энергетикалықжүйе деп - энергия жүйесінің электр бөлігі және одан қоректенетін электр энергиясының қабылдағыштары аталады, олар электр энергиясын өндіру, беру, тарату және тұтыну тұтастығымен біріктіріледі.

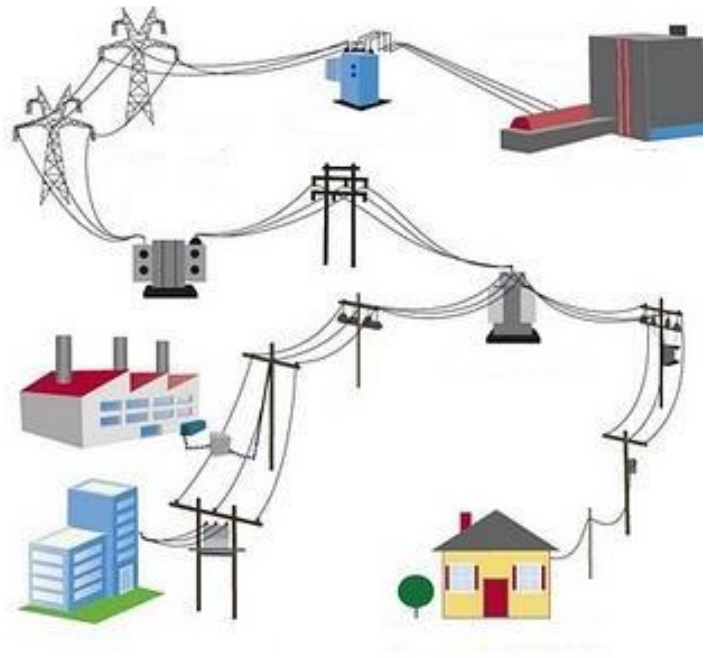
Электрэнергетикалық желі деп - белгілі бір аумақта жұмыс істейтін қосалқы станциялардан, тарату құрылғыларынан, ток құбырларынан, электр берілісінің әуе және кабельдік желілерінен тұратын электр энергиясын беру және таратуға арналған электр қондырғыларының жиынтығы аталады.

Қосалқы станция деп - электр энергиясын түрлендіруге және таратуға қызмет ететін және трансформаторлардан немесе басқа да энергия түрлендіргіштерден, 1000 В дейін және одан жоғары тарату құрылғыларынан, басқару құрылғыларының аккумуляторлық батареяларынан және қосалқы құрылыстардан тұратын электр қондырғысы аталады.

Таратушы құрал деп - электр энергиясын қабылдау және тарату үшін қызмет ететін және коммутациялық аппараттар, құрама және жалғағыш шиналар, қосалқы құрылғылар (компрессорлық, аккумуляторлық және т.б.), сондай-ақ қорғаныс құрылғылары, автоматика және өлшеу аспаптары бар электрқондырғылар аталады.

Кез келген кернеудің (әуе немесе кабелдік) *электр беріліс желілері (ЭБЖ)* деп - электр энергиясын бір кернеуде трансформациялаусыз беруге арналған электр қондырғы аталады.

Элетктр энергиясын беру және тарату принципі 4.7-суретте көрсетілген [10].



4.7-сурет. Электр энергиясын беру және тарату

Электр желілері бірқатар белгілері бойынша әртүрлі есептеу, монтаждау және пайдалану әдістері қолданылатын көптеген түрлерге бөлінеді [4].

Электр желілері

1. Кернеуі бойынша:

а) 1 кВ дейін;

б) 1 кВ жоғары.

2. Номиналды кернеу деңгейі бойынша:

а) төменгі желілер (кернеуі 1 кВ дейін);

б) орта кернеу желілері (1 кВ. жоғары және қоса алғанда 35 кВ. дейін);

в) жоғарғы кернеу желілері (110, 220 кВ.);

г) аса жоғары кернеу желілері (330-750 кВ.);

д) ультра жоғары кернеу желілері (1000 кВ жоғары).

3. Қозғалғыштық дәрежесіне қарай:

а) қозғалғыш (трассаларды көп рет өзгертуге болады, қысқарту және ұзарту) - желілер 1 кВ дейін;

б) стационарлы желілер (өзгермейтін трассасы мен құрылымы болады):

– уақытша - қысқа уақытты (бірнеше жыл) жұмыс істейтін объектілерді қоректендіру үшін);

- тұрақты - ондаған жылдар бойы жұмыс істейтін электр желілерінің көпшілігі.

4. Мақсаты бойынша:

а) 1 кВ дейінгі желілер: жарықтандыру; күштік; аралас; арнайы (басқару және сигнал беру желілері).

б) 1 кВ жоғары желілер: кернеуі 35 кВ. дейінгі шағын аудандарға қызмет көрсететін - жергілікті; үлкен аудандарды қамтитын және электр жүйесінің электр станцияларын өзара және кернеуі 110 кВ. және одан жоғары жүктемелі орталықтарымен байланыстыратын - аудандық.

5. Ток түрі және сым саны бойынша:

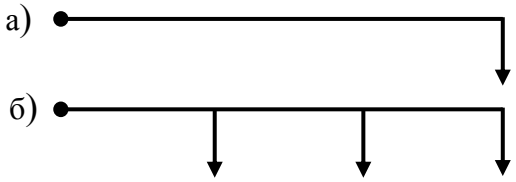
а) тұрақты ток желілері: бір сымды, қос сымдық, үш сымды (+, -, 0);

б) айнымалы ток желілері: бір фазалы (бір және екі сымды), үш фазалы (үш және төрт сымды), толық емес фазалы (екі фаза және ноль).

6. Бейтараптардың жұмыс режимі бойынша: тиімді жерге қосылған бейтарап (1 кВ жоғары желілер), тұйық жерге қосылған бейтарап (1 кВ дейін және одан жоғары желілер), оқшауланған бейтарап (1 кв дейін және одан жоғары желілер).

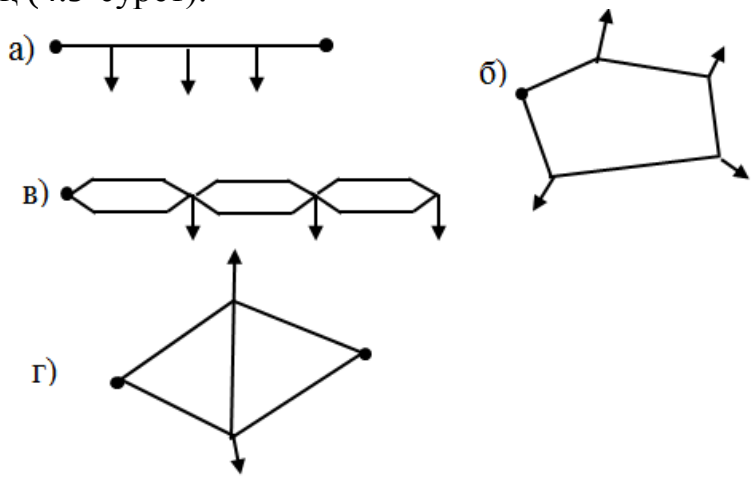
7. Электрлік қосылыстар сұлбасы бойынша [4]:

а) ажыратылған (қорда сақталмаған, 4.8-сурет):



4.8-сурет. Ажыратылған желілердің сұлбалары: а) радиальды (жүктеме тек желі соңында); б) магистральды (жүктеме түрлі жерлерде желіге қосылған).

б) тұйық (4.9-сурет):



4.9-сурет. Тұйық желілердің сұлбалары: а) екі жақты қоректенетін желі; б) сақиналы желі; в) қос магистральды желі; г) күрделі тұйықталған желі (жауапты тұтынушыларды екі және одан да көп бағыттар бойынша қоректендіру үшін)

8. Құрылымы бойынша: электр сымдары (күштік және жарықтандыру), ток өткізгіштер – үлкен мөлшерде электр энергиясын шағын қашықтыққа беру үшін, әуе желілері – электр энергиясын үлкен қашықтыққа беру үшін, кабельдік желілер-ӘЖ құрылысы мүмкін болмаған жағдайда алыс қашықтыққа электр энергиясын беру үшін.

Электр желілеріне мынадай талаптар қойылады: сенімділік, төзімділік және үнемділік.

Сенімділік - электр қабылдағыштарды қажетті мөлшерде және тиісті сапада электр энергиясымен қамтамасыз ете отырып, берілген уақыт пен жұмыс шарттары шегінде өзінің мақсатын орындау қасиеті түсінілетін негізгі техникалық талап [4].

Электр энергиясының қажетті мөлшері электр қабылдағыштардың қуаты мен жұмыс режимімен анықталады. Электр энергиясының сапасы желі параметрлеріне байланысты және ГОСТ 13109-97 анықталады, онда электр қабылдағыштардың қысқыштарындағы кернеудің рұқсат етілген ауытқулары келтірілген: электр қозғалтқыштары -5%... 10%; өнеркәсіп кәсіпорындары мен қоғамдық ғимараттардың жұмыс жарығының шамдары, сыртқы жарық прожекторлары -2,5%...+5%; тұрғын үй ғимараттарын жарықтандыру,

авариялық және сыртқы жарықтандыру шамдары, өзге де электр қабылдағыштар ±5%.

Сенімділігі келесімен қамтамасыз етіледі:

1. Электр қабылдағыштардың жауапкершілігін ескеретін желі сұлбасын қолдану;

2. сымдар мен кабельдердің тиісті маркаларын таңдаумен;

3. қыздыру, кернеудің рұқсат етілетін жоғалуы және механикалық беріктілігі бойынша сымдар мен кабельдердің қималарын мұқият есептеумен және кернеуді реттеу құрылғыларын есептеумен;

4. электрмонтаждау жұмыстары технологиясының сақталуын;

5. техникалық пайдалану ережелерін уақтылы және сапалы орындау.

Электр желісінің төзімділігі дегніміз - жаудың зақымдау құралдарының әсер етуі кезінде жойғыш әсер ету жағдайларында, соның ішінде соғыс жағдайында өзінің мақсатын орындау қасиеті.

Төзімділігіне қол жеткізу:

1. қарсылас қаруының зақымдаушы факторларының әсер етуі кезінде аз қирауға ұшыраған құрылымдарды пайдалана отырып;

2. желіні зақымдаушы факторлардан арнайы қорғау;

3. жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын нақты ұйымдастыру. Төзімділік - негізгі тактикалық талап [4].

Үнемділік дегеніміз - сенімділік пен өмір сүру талаптарын орындау шартымен желіні салу мен пайдалануға жұмсалатын ең аз шығындар.

Үнемділік келесімен қамтамасыз етіледі:

1. үлгілік сериялық шығарылатын және стандартты құрылымдарды қолдана отырып;

2. материалдар мен жабдықтарды бірегейлендіру;

3. дефицитсіз және қымбат емес материалдарды қолданумен;

4. пайдалану процесінде одан әрі дамыту, кеңейту және жетілдіру мүмкіндігі [4].

Қазақстан Республикасының электр энергетикасының құрылымы.

Қазақстан Республикасының Бірыңғай электр энергетикалық жүйесі (ҚР БЭЖ) республиканың тұтынушыларын сенімді және сапалы энергиямен жабдықтауды қамтамасыз ететін электр станцияларының, электр беру желілерінің және қосалқы станциялардың жиынтығын білдіреді.

Қазақстан Республикасының электр энергетикасының құрылымы.

Қазақстан Республикасының Бірыңғай электр энергетикалық жүйесі (ҚР БЭЖ) республиканың тұтынушыларын сенімді және сапалы энергиямен жабдықтауды қамтамасыз ететін электр станцияларының, электр беру желілерінің және қосалқы станциялардың жиынтығын білдіреді.

Электр энергетикасы саласындағы мемлекеттік реттеу мына мақсатта жүзеге асырылады:

- тұтынушыларға электр және жылу энергиясын жеткізушілерді таңдау құқығына кепілдік беретін нарықта бәсекелестік жағдай жасау арқылы энергия тұтынушылардың сұранысын барынша қанағаттандыру және

электр және жылу энергиясы нарығына қатысушылардың құқықтарын қорғау;

- Қазақстан Республикасының электр энергетикалық кешенінің сенімді және тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз ету;
- елдің шаруашылық-экономикалық және әлеуметтік кешендерінің тіршілігін қамтамасыз етудің аса маңызды жүйесі ретінде Қазақстан Республикасының электр энергетикалық кешенін басқарудың біртұтастығы.

Қазақстан Республикасы Индустрия және жаңа технологиялар министрлігі Электр энергетикасы саласындағы бақылау мен реттеуді жүзеге асыратын мемлекеттік уәкілетті орган болып табылады.

Электр станциялары ұлттық маңызы бар электр станцияларына, өнеркәсіптік мақсаттағы электр станцияларына және өңірлік мақсаттағы электр станцияларына бөлінеді.

Ұлттық маңызы бар электр станцияларына Қазақстан Республикасының электр энергиясының көтерме сауда нарығында тұтынушыларға электр энергиясын өндіруді және сатуды қамтамасыз ететін ірі жылу электр станциялары жатады.

- «Екібастұз МАЭС-1» ЖШС;
- «Екібастұз МАЭС-2» АҚ;
- «Еуроазиаттық энергетикалық корпорациясы» АҚ (Ақсу МАЭС);
- «Қазақмыс корпорациясы МАЭС» ЖШС;
- «Жамбыл МАЭС» АҚ, сондай-ақ қосымша және ҚР БЭЖ жүктемесінің кестесін реттеу үшін пайдаланылатын қуаты үлкен гидравликалық электр станциялары:
- «Қазмырыш» АҚ Бұқтырма МЭК
- «AES Өскемен СЭС» ЖШС;
- «AES Шүлбі СЭС» ЖШС.

Өнеркәсіптік маңызы бар электр станцияларына ірі өнеркәсіптік кәсіпорындар мен жақын орналасқан елді мекендерді электрмен-жылумен қамтамасыз үшін қызмет ететін электр және жылу энергиясын бірге өндіретін ЖЭО жатады:

- ЖЭО-3 «Қарағанды-Жылу» ЖШС;
- ЖЭО ПВС, ЖЭО-2 «Арселор Миттал Теміртау» АҚ;
- Рудный ЖЭО («ССКӨБ» АҚ);
- Балқаш ЖЭО, «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС Жезқазған ЖЭО;
- Павлодар ЖЭО - 1 «Қазақстан алюминийі» АҚ;
- Шымкент ЖЭО-1,2 («Южполиметал» АҚ) және басқалар.

Өңірлік маңызы бар электр станциялары - өңірлік электр желілік компаниялар мен энергия беруші ұйымдардың желілері арқылы электр энергиясын жүзеге асыратын, сондай-ақ жақын жатқан қалаларды жылумен қамтамасыз ететін ұйымдар, аймақтықпен біріктірілген ЖЭО

ЖЭО, Сонымен қатар, электр стансалары мен электр стансалары электр стансалары арқылы электр энергиясын өткізуді жүзеге асырады [17].

Бақылау сұрақтары

1. «Энергожүйе»дегеніміз не?
2. «Электр желісі» дегеніміз не?
3. «Қосалқы электр станциясы» дегеніміз не?
4. «Электр беріліс желілері» дегеніміз не?
5. Қозғалыс дәрежесі бойынша электр желілерінің қандай түрлері бар?
6. «Электр желісінің төзімділігі» дегеніміз не?
7. «Электр желісінің үнемділігі» деп нені түсінеміз?

5-тарау. Жерге қосу шиналарын дәнекерлеу және оларды қапсырмалар мен бекіту бөлшектеріне пісіру

5.1. Дәнекерлеу жабдығын жұмысқа дайындау

Дәнекерлеу жабдықтарында жұмысты арнайы дайындықтан кейін ғана бастауға болады. Орындалатын дәнекерлеу жігінің сапасы және дәнекерлеушінің қауіпсіздігі жұмыс басталар алдында жабдықты тексеру сапасына байланысты [13].

Дәнекерлеу жұмыстары басталар алдында тікелей орындалуы қажет операциялар:

- дәнекерлеуші барлық жабдықты жеке өзі тексеруі тиіс, аздаған ақаулар анықталған кезде олар жойылуға тиіс, ал жұмыс мүмкін болмаған жағдайда тоқтатылады;
- барлық жабдықтың бетін шаң мен кірден мұқият тазалау қажет;
- дәнекерлеу жабдығын іске қосу кезінде пайдаланылатын бақылау аспаптары мен құрылғыларын тексеру қажет;
- тексеруге жұмыс істейтін барлық басқа элементтер жатады.

Жұмысқа кіріспес бұрын жұмыс жабдығының маманы техниканы пайдаланудың барлық ережелерін және металл мен пластиктің әр түрлі материалдарын пайдалана отырып дәнекерлеу аппаратымен дұрыс пісіруді білуі және істей білуі тиіс. Шебер келесі нюанстарды білуі тиіс:

- Дәнекерлеу технологиясы өндірісінің технологиялық негіздері.
- Жабдықтың конструктивтік бөлігі, дәнекерлеу жұмысының режимдік баптаулары, оның көмегімен жұмыстың технологиялық негізгі бөлігі жүзеге асырылатын болады.

Дәнекерлеушіге арналған өндірістік жұмыстардың регламенті мынадай операцияларды орындауды көздейді:

- Әрбір нақты жұмыс үшін жабдықтың, сондай-ақ шығыс материалдарының (электродтар типі бойынша және саны бойынша) тиісті моделі таңдалады.
- Дәнекерлеудің барлық технологиясының жұмыс процесін, дәнекерленетін бөлшектердің бетін өңдеуді дұрыс қамтамасыз ете білу қажет.
- Тегіс және мінсіз тігістер жасау үшін дәнекерлеу аппаратымен жұмыс істеу теориясын сауатты және дұрыс қолдану.

Егер дәнекерлеуге арналған аппарат дұрыс таңдалса және өндірістік жұмыстардың теориялық бөлігі іс жүзінде іске асырылса, шебер жұмыстың лайықты сапасын қамтамасыз ете алады.

Тікелей жұмыс орнын дайындау да үлкен маңызға ие. Қолайсыз немесе қысылған жағдайларда жұмыстарды орындауға жол берілмейді. Дәл осы жағдайлар дәнекерлеушілердің жарақат алудың ең көп таралған себептерінің бірі. Сонымен қатар, бұл жиі жұмыстың ақаулығына әкеледі.

Қорғау газымен жартылай автоматты дәнекерлеуге арналған жабдықты дайындау:

- дәнекерлеуші сымның диаметрімен анықталатын жанарғыдағы бағыттаушы арнаның дұрыс таңдалғандығына көз жеткізу керек;
- ұштықты таңдау кезінде де қолданылатын сым диаметрі ескеріледі;
- шүмек металл тамшыларының болуына тексеріледі және қажет болған жағдайда тазартылады, әйтпесе жұмыс процесінде ол тез істен шығады [13].

Флюспен автоматтық дәнекерлеуге дайындық:

- барлық сымдар мен кабельдердің дұрыс қосылғандығы тексеріледі;
- беру механизмінің роликтері, әсіресе олардың дұрыс орналасуы тексеріледі;
- дәнекерлеу сым тот және балшық іздерінің болмауына тексеріледі;
- бункерде флюстің бар болуы және оның пайдаланылатын дәнекерлеу сымының түріне сәйкестігі тексеріледі [13].

Балқытылмайтын электродты пайдалана отырып, қолмен доғалық дәнекерлеуді орындауға дайындау тәртібі:

- жанарғы және барлық шлангілер жұмыс алдында 30-40 сек аргонмен үрленеді;
- жұмыстарды орындайтын орын жай өтпе желдердің жоқтығына мұқият тексеріледі;
- аргонды баллон тіпті аз мөлшерде ағып кетпеуі тиіс;
– барлық қосылыстар герметикалығына, шлангілер зақымданудың жоқтығына тексеріледі [13].

Ашық электродпен қолмен доғалық дәнекерлеуді орындауға дайындау:

- электродтың берік бекітілгенідігі тексеріледі;
- электродтың бекітілуі тексеріледі;
- кабельдің бекітілу сапасы тексеріледі;
- кабельдердің жалғасуымен тұқалардыңоқшаулану сапасы бақыланады [13].

Бақылау сұрақтары

1. Дәнекерлеу жұмыстары басталар алдында тікелей орындалуы қажет операцияларды атаңыз.
2. Қорғау газымен жартылай автоматты дәнекерлеу үшін жабдықты дайындау қалай орындалады?
3. Флюсті автоматты дәнекерлеуді дайындау қалай орындалады ?
4. Балқытылмайтын электродты пайдалана отырып, қолмен доғалық дәнекерлеуді орындауға дайындау тәртібі
5. Ашық электродпен қолмен доғалық дәнекерлеуді орындауға дайынд ық қалай орындалады?

5.2. Өрт қауіпсіздігі бойынша нұсқамалардың негізгі түрлері

Өткізу сипаты мен уақыты бойынша өртке қарсы нұсқамалар: Кіріспе, жұмыс орнындағы алғашқы, қайталама, жоспардан тыс және мақсаттыға бөлінеді.

Осы нұсқамалардың барлығын өткізу туралы өрт қауіпсіздігі бойынша нұсқамаларды өткізуді есепке алу журналына жазба жасайды, оған нұсқама берушінің және нұсқама алушының міндетті түрде қолы қойылады және нұсқамалықтың түрі туралы белгі қойылады [9].

Өртке қарсы кіріспе нұсқама маусымдық, іссапарға жіберілген, өндірістік оқуға немесе практикаға келген студенттерді, оқушыларды қоса алғанда, жұмысқа жаңадан қабылданған барлық қызметкерлермен жүргізіледі.

Оны ұйым басшысы немесе ұйым басшысының бұйрығымен (өкімімен) бекітілген бағдарлама бойынша өрт қауіпсіздігіне жауапты адам жүргізеді.

Өртке қарсы кіріспе нұсқаулық өрт туындаған кезде іс-қимылдарды практикалық жаттығумен және өрт сөндіру құралдары мен өртке қарсы қорғау жүйелерін білуін тексерумен аяқталады.

Өртке қарсы кіріспе нұсқаулықтың сұрақтар тізімі жоғарыда айтылған бұйрықта келтірілген.

Өртке қарсы алғашқы нұсқаманы тікелей жұмыс орнында құрылымдық бөлімшеде өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуге жауапты адам, жұмысқа жаңадан қабылданған барлық адамдармен кіріспе нұсқама жүргізілгеннен кейін жүргізеді [9].

Оны құрылымдық бөлімшенің басшысы немесе осы бөлімшенің өрт қауіпсіздігіне жауапты адам бекіткен бағдарлама бойынша әрбір қызметкермен жеке немесе бір үлгідегі жұмыс орындарында жұмыс істейтін адамдар тобымен жүргізеді. Бұл ретте оларды өрт сөндіргіштер, гидранттар орналасқан жерлермен таныстырады, оларды пайдалануды, өрт туралы қалай және кімге хабарлауды, зардап шеккендерге алғашқы медициналық көмекті дұрыс көрсетуді үйретеді. Бастапқы нұсқаулық сұрақтарының үлгі тізбесі Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрінің 2014 жылғы 9 маусымдағы № 276 бұйрығында келтірілген.

Өртке қарсы қайталама нұсқаманы басшының бұйрығымен тағайындалған өрт қауіпсіздігіне жауапты адамдар (яғни алғашқы нұсқаманы өткізетіндер) жүргізеді. Оны барлық қызметкерлермен, олардың біліктілігіне, біліміне, еңбек өтіліне, орындалатын жұмыстың сипатына қарамастан, жылына кемінде бір рет, ал өрт қаупі бар өндірістердің қызметкерлерімен – ұйым басшысы бекіткен сабақ өткізу кестесіне сәйкес жарты жылда кемінде бір рет жүргізеді: жұмыс орнындағы өртке қарсы алғашқы нұсқаулық бағдарламасы бойынша жеке немесе бір үлгідегі жабдыққа қызмет көрсететін қызметкерлер тобымен (жалпы жұмыс орны шегінде) [9].

Жоспардан тыс өртке қарсы нұсқаулық келесі жағдайда жүргізіледі:

• өрт қауіпсіздігі бойынша жаңа ережелерді, нұсқауларды қолданысқа енгізу немесе қолданыстағы ережелерді өзгерту кезінде, технологиялық процесті өзгерту, жабдықтарды, құрал-саймандарды, шикізатты, материалдарды ауыстыру кезінде;

• ұйым қызметкерлері өрт қауіпсіздігі талаптарын бұзған жағдайда, оларды қанағаттанғысыз білгенде;

• жұмыста 60 күнтізбелік күннен артық үзіліс кезінде, 30 күнтізбелік күннен артық үзіліс кезінде – өрт қауіпсіздігіне қосымша талаптар қойылатын жұмыстар үшін.

Жоспардан тыс өртке қарсы нұсқаманы өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуге жауапты қызметкер жеке немесе бір кәсіптегі қызметкерлер тобымен жүргізеді. Жоспардан тыс өртке қарсы нұсқаманың көлемі мен мазмұны әрбір нақты жағдайда оны өткізу қажеттілігін тудырған себептер мен жағдайларға байланысты анықталады.

Өртке қарсы мақсатты нұсқаулық наряд-рұқсаттамамен ресімделген жоғары өрт қаупімен байланысты бір жолғы жұмыстарды (дәнекерлеу және басқа да от жұмыстары) орындау кезінде, сондай-ақ авариялардың, дүлей зілзалалардың және апаттардың салдарын жою кезінде, ұйымда экскурсиялар, бұқаралық іс-шаралар (алқа отырыстары, жиналыстар және т. б.) өткізу кезінде 50 адамнан асатын қатысушылармен жүргізіледі. Оны ұйымда өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуге жауапты адам немесе қызметкердің алған білімі мен дағдыларын тексерумен аяқтай отырып, тікелей жұмыс басшысы (шебер, инженер) жүргізеді.

Жарылыс-өрт қауіпті өндіріспен байланысты емес ұйымдардың басшыларын, мамандарын және қызметкерлерін өрт-техникалық минимумға оқытуды оларды жұмысқа қабылдағаннан кейін бір ай ішінде және кейінгі кезеңділікпен соңғы оқудан кейін үш жылда кемінде бір рет, ал жарылыс-өрт қауіпті өндіріспен байланысты - жылына бір рет жүргізеді.

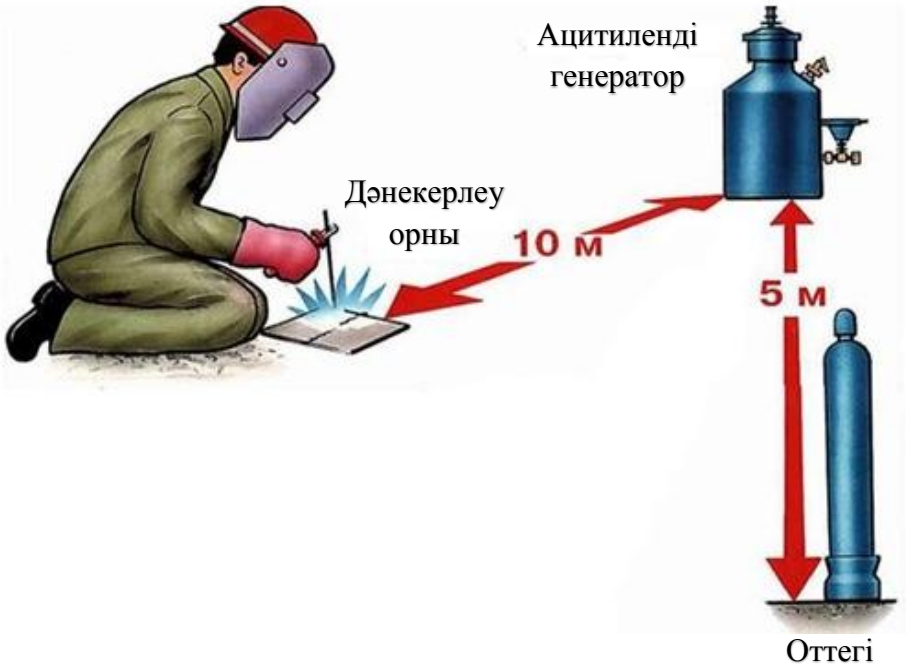
Оқуды Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрінің 2014 жылғы 9 маусымдағы № 276 бұйрығында келтірілген, белгіленген тәртіппен әзірленген және бекітілген арнайы үлгілік бағдарламалар бойынша өндірістен қол үзіп, сондай-ақ қол үзбей жүргізеді.

Ұйымның басшылары мен бас мамандары, өрт қауіпсіздігіне және өртке қарсы нұсқаманы жүргізуге жауапты қызметкерлер; ерікті өрт күзетінің алғашқы ұйымдарының басшылары, газ-электрмен дәнекерлеу және басқа да от жұмыстарын орындайтын қызметкерлер; өрт сөндіру автомобильдерінің жүргізушілері мен балаларды сауықтыру мекемелерінің мотопомпаларының мотористері және ұйым басшысының шешімі бойынша өзге де қызметкерлер өндірістен қол үзіп, оқудан өтеді.

Өрт-техникалық бейіндегі білім беру мекемелерінде, ҚР ІІМ Төтенше жағдайлар жөніндегі аумақтық бөлімшелерінде, сондай-ақ тиісті лицензиясы бар ұйымдарда өндірістен қол үзетін оқулар жүргізіледі [9].

Оқу құрамында кемінде үш адам бар біліктілік комиссиясының білімін тексерумен, тиісті хаттаманы ресімдеумен және белгіленген үлгідегі куәлік берумен аяқталады.

5.1-суретте дәнекерлеу және от жұмыстарын жүргізу кезіндегі өртке қарсы қауіпсіздік талаптары келтірілген.



5.1-сурет. Дәнекерлеу және от жұмыстарын жүргізу кезіндегі өртке қарсы қауіпсіздік талаптары

Бақылау сұрақтары

1. Өрткеқарсы нұсқаулық өткізу сипаты мен мерзіміне қарай қандай түрлерге бөлінеді?
2. Кіріспе нұсқаулықты қандай мақсатта және қашан жүргізеді?
3. Жұмыс орнында алғашқы нұсқаулықты қашан және қандай мақсатта жүргізеді?
4. Қайталама нұсқаулықты қандай мақсатта және қашан жүргізеді?
5. Жоспардан тыс нұсқаулықтықандай мақсатта және қашан жүргізеді?
6. Мақсатты нұсқаулықты қандай мақсатта және қашан жүргізеді ?

5.3. Металды дәнекерлеуге дайындау және құрастыру

Металды дәнекерлеуге дайындау дегеніміз – сапалы орындалуы берік, сенімді тігісті алуға мүмкіндік беретін ең маңызды кезең.

Металл беттерін пісірмес бұрын, оларды жақсы тазалау керек. Тігістің ақауларын болдырмау үшін металл заттарды дәнекерлеу алдында тоттан және кірден мұқият тазарту қажет.

Металды пісіруге дайындаудың негізгі сатыларын атап өту қажет:

1. Түзету және тазарту

Пісіруге арналған дайындамалардың ең көп таралған түрлерін құрастыру кезінде анықталған ақауларды талдау ақаудың көпшілігі дәнекерлеу жұмыстарына сапасыз жүргізілген дайындық нәтижесінде алынатынын көрсетеді.

Дайын құрылымды қайта жасау арқылы қалпына келтіру әрекеті, әдетте, нәтижесіз болады. Металдың бетін дәнекерлеуге дайындау құрастыру процесін елеулі қиындататын түйіспелі аймақтарды белгілеу және бекіту дәлдігіне назар аудармай жүргізілуі тиіс.

Іс жүзінде қолданылатын металды балқытудың әдістері жанасатын беттердің мөлшерлері мен жағдайларының аздаған ауытқуларын ескере отырып, жақсы дәнекерленген жіктерді (қосылыстарды) алуды қамтамасыз етеді.

Жұмыс басталар алдында металдан жасалған құрастыру дайындамалары бар кедір-бұдырлықтарды (түзету) алып тастайтын және кейіннен оларды әртүрлі ластанулардың іздерінен тазалайтын екі міндетті процедурадан өтуі тиіс.

Осы операциялардың әрқайсысы қолмен немесе ерекше жабдықтарды және алдын ала дайындалған өңдеу ванналарын пайдалана отырып жүргізілуі мүмкін [12].

2. Белгілеу және таңбалау

Белгілеу дайындаманың контурларын жиналмалы бұйымға ауыстырудан, кейіннен металды кесудің барлық сызығының бойымен нүктені белгілеуден, сондай-ақ оны таңбалаудан тұрады.

Белгілеу картоннан, жұқа металл пластинадан немесе фанерден жасалған алдын ала жасалған үлгіден алынған өлшемдерді көшіру жолымен жүзеге асырылады.

Шаблонның контурын көшіру барысында арнайы сызықпен айналдырып шығады, содан кейін алынған сызықтың бойымен бөлшекті таңбалай отырып керн жағылады.

Қалыңдығы әр түрлі дәнекерленетін бұйымдар бойынша кесу үшін металл бойынша қайшылар, қол кескіштер немесе газ жалынды механизмдер-автоматтар қолданылуы мүмкін [12].

3. Жиектер

Жекелеген жағдайларда тойтарма іздерін алып тастау немесе бар кедір-бұдырлықтарды түзету қажеттілігіне байланысты металл жиектері қосымша механикалық өңдеуді қажет етеді.

Ол үшін зауыттық жиек жонғыш жабдық, ал аса қажет болған жағдайда металдарды суық немесе ыстық ию үшін механизмдер қажет.

Пісіруге дайындаудың көрсетілген нұсқаларының бірін таңдау бөлшектердің қалыңдығына және жойылатын кедір-бұдырлықтың шамасына байланысты болады.

Егер дәнекерленетін металдың қалыңдығы 3 мм-ден артық болса, онда дәнекерлеуге дайындау жиектерін бөлуді қамтитын болады. Егер бөлу жүргізілмесе, онда дәнекерлеу тогын ұлғайтады және дәнекерлеуді қабаттап орындайды.

Тығыз түйіспені қамтамасыз ету үшін тігістің деформациясын және күшті кернеуді болдырмау үшін металдың жиектерін мұқалтады. Дұрыс орындалған қиғаштық әр түрлі қалыңдықтағы бөлшектер арасында тегіс жатық ауысуды жасауға көмектеседі [12].

4. Бөлшектерді бекіту әдістері (құрастыру құрылғылары)

Металды бекіту, сондай-ақ оны дәнекерлеуге дайындау болып саналады. Дәстүр бойынша электрмен дәнекерлеудің алдында бөлшектердің орналасуы қармау деп аталатын шағын өлшемді тігістер арқылы қамтамасыз етіледі.

Ал олардың қимасы тігіс мөлшерінің жартысынан аспауы тиіс. Қысқыштардың ұзындығы 2-ден артық емес, орнату қадамы – 30-80 сантиметрден аспайды.

Мұндай тігістер қорғаныш газдарын қолдана отырып немесе флюспен жабылған электродтармен орындалады. Қатты құрылымдардың тораптарымен жұмыс істеген кезде ұстамалардың орнына оларды монтаждау кезінде бөлшектердің қажетті орналасуын қамтамасыз ететін шағын өлшемді тұтас тігіс («жүгіртпе») жасалады.

Қысқыштар секілді, металдың «жүгіртпе» қосылуы болашақ қосылыстың немесе оның бірінші қабатының қалыптасуының орнына кері жағынан орындалады. Бұл ретте жүгіртпе тігіс дәнекерлеу ванналарының шекарасында балқытылған металды ұстап тұруды бір мезгілде қамтамасыз етеді.

Металдан жасалған дайындамаларды қосымша бекіту үшін қосылыстардың ресімделуіне қарай алынатын арнайы өңіржиекті тарақтарды қолдану ұсынылады, сондай-ақ арнайы бұрандама қысқыштар, бұрыштар, сыналар немесе оларға ұқсас механикалық құрылғылар қолданылады [12].

5. Құбыр бұйымдары

Құбырларды кесу үшін жабдықты дайындау дәнекерлеу алдында оларды кесу нұсқасын таңдаудан тұрады, ол металдың қалыңдығына байланысты келесі тәсілдердің бірімен ұйымдастырылады:

- металды арнайы қайшымен кесу;
- циркуляр аспап арқылы (фрезамен немесе шарқайрақпен);

- газды кескіні қолданумен.

Металдан жасалған құбырларды «оттегі» деп аталатын білдектерде өңдеу кезінде жақсы нәтижелерге қол жеткізуге болады, бірақ мұндай тәсілмен дайындау тек өндіріс жағдайында ғана мүмкін болады.

6. Жылжыту

Металдан жасалған жіктің кез келген түрі бар құбыр бұйымдарын дәнекерлеуге жинау құбырдың түйіспелері аймағында МЕМСТ-пен көзделген ең аз қашықтықтарға жылжыту жүргізіледі. Екі жақты дәнекерлеуге дайындау кезінде оларды басқа тәсілдермен қою шарттарын сақтаған кезде жылжытпауға рұқсат етіледі.

Құбырларды бекітілген қалыпта ұстап тұру үшін түйістің барлық диаметрі бойынша біркелкі орналасатын қысқыштар қолданылады. Олардың саны құбырлардың үлгілік өлшеміне (олардың диаметріне) байланысты және 2-ден 4-ке дейін және одан да көп данаға дейін түрленуі мүмкін.

Мұндай ұстағыштарды сауатты орнату үшін олардың биіктігі құбыр бұйымының қабырғалары қалыңдығынан аспауы тиіс екендігін әрдайым есте сақтау қажет [12].

7. Жіктерді қыздыру

Дәнекерлеу алдында құбыр түйіспелерін алдын ала қыздыру қажеттілігі бұйым материалының маркасымен анықталады, оған байланысты олардың барлығы бірнеше топқа бөлінеді.

Қабырғаларының қалыңдығы 5-тен 10 мм дейінгі дайындамаларды қыздыру целлюлоза (рутил) жабыны бар арнайы электродтар арқылы ұйымдастырылады және -10...-20 градустан төмен емес температурада жүргізіледі.

Бұйымдар ашық ауада (-10 градус және одан төмен температурада) пісіргенде - қалыңдығы 10 мм-ден асатын қабырғалары бар құбырларды қыздыру міндетті болып саналады.

Бұл ретте ең аз қыздыру температурасын өлшеу металл қылшақпен жақсы тазартылған түйіспелердің (жиегінен 5-10 миллиметр) кейбір қашықтығында жүргізіледі. Ол үшін «қарындаш» типті түйіспесіз өлшеуіш термометрлер немесе термиялық датчиктер қолданылады [12].

Бақылау сұрақтары

1. Металды пісіруге дайындаудың қандай негізгі сатылары бар?
2. Жану және тазарту сатысы неден тұрады?
3. «Металды белгілеу және таңбалау» дегеніміз не ?
4. Металл жиектемесін не үшін жүргізеді?
5. Бөлшектерді бекітудің қандай әдістері бар?

5.4. Механикаландырылған тәсілмен дәнекерлеу орындарын өңдеу

Дәнекерлеу - металлдар мен олардың қорытпаларының ажырамайтын қосылыстарын жасаудың ең сенімді, жылдам және үнемді тәсілі. Дәнекерлеу процесі барысында металл балқыту температурасына дейін қызады. Бұл ішкі кернеуді тудырады. Сонымен қатар, дәнекерлеу тігісінің бетінде қож қалады. Қожды жою және металдағы ішкі кернеулерді алу үшін дәнекерленген жікті өңдеудің түрлі тәсілдері қолданылады.

Металл құрылымдары мен әр түрлі бөлшектерді бекітуде пісіру ең кең таралған және экономикалық тұрғыдан қолайлы әдіс.

Нәтижесінде беттерді біріктіре отырып, бөлек алынған элементтердің берік бекітілуін қамтамасыз ететін біртекті қосылысқа қол жеткізуге болады [15].

Қосылу - кез келген дәнекерлеу әдісінің әлсіз буыны. Сондықтан дәнекерленген жіктерді тазалау қажеттілік болып табылады. Дәнекерленген жіктерді дәнекерлегеннен кейін тазалауды ГОСТ 9.402-80 регламенттейді.

Дәнекерлеудің соңғы кезеңі қож бен қабыршақтан қосылу орнын тазартуды қамтиды. Дәнекерлегеннен кейін дәнекерленген жіктерді тазалау үш кезеңде жүргізіледі:

- дәнекерленген жіктердің айналасындағы жер өңделеді;
- антиоксидпен өңдегеннен кейін тегістеу;
- қосылу жерлерін қалайылау.

Пісіру жігін өңдеудің ең кең тараған әдістері:

- Термиялық. Ішкі қалдық кернеуді жою үшін қолданылады. Жергілікті немесе жалпы жылыту жолымен жүргізіледі.
- Механикалық. Дәнекерленген жіктерді дәнекерлегеннен кейін тазалау қосылыс бетінен қождар мен қақтарды жояды.
- Химиялық. Майсыздандырудан және қорғаныш қабатымен жабудан тұрады. Коррозиялық ошақтардың пайда болуына кедергі келтіреді. Әдіс белсенді ортада жұмыс істейтін коррозияға ұшыраған материалдарды өңдеу үшін қолданылады.

Әсер ету тәсілі құрылымдарға қойылатын техникалық талаптарға және оны пайдалану шарттарына қарай таңдалады. Барлық үш әдісті жиі қолданады.

Тазалау үшін әртүрлі құралдар, белгілі бір технологияларды қолданады. Олар:

- Дәнекерлеу тігісін механикалық өңдеу арқылы тазалау.
- Химиялық материалдарды қолданып дәрілеу .
- Бейтараптандыру әдісі.

Жеке алынған технологияның қандай да бір жағдайда қолдануға өз ерекшеліктері мен ұсыныстары бар екені түсінікті [15].

Тазартуға арналған жабдықтар

Техниканы мұқият таңдау керек. Шығыс материалдары мен жұмыс жабдықтарын дұрыс таңдау керек.

Бұл металл қылшақ, бұрыштық тегістегіш /абразивті доңғалақты машина немесе тегістеу машинасы болуы мүмкін.

Ажарлау техникасын таңдай отырып, бірінші кезекте берілетін қуатқа бағдарлану керек. Содан кейін ғана тұтыну көрсеткіштеріне қарау керек. Мысалы, кеме жасау саласында жылжымалы тегістеу машиналары тиімді пайдаланылады. Оны жаңа орынға жылжытуға тырысудан гөрі үлкен көлемдегі дайындамаға келу оңайырақ.

Дәнекерленген жіктерді тазалау ГОСТ 9.402-80 регламенттеледі және жұмыс бетінің ақауларын жою үшін орындалады. Бекітілген стандарттарға сәйкес бұл:

- Қуыстар.
- Кратерлер.
- Қаяулар.
- Тігістердегі жарықтар .

Жұмыс процесін қабылданған нормаларға сәйкес орындау маңызды. Белгіленген стандарттардың бұзылуына жол беруге болмайды. Ажарлау техникасы мен басқа да тазарту механизмдерінің мүмкіндіктерін толық көлемде пайдалану қажет [15].

Түйістірме орындарын механикалық тазалау

Механикалық әсердің ең оңай жолы – шарқайрақпен қолмен тазалау. Бұл жағдайда пісіру кезінде міндетті түрде болатын ақаулардан құтылуға болады:

- Қақтан.
- Тұздық және тотық.
- Сондай-ақ құбылу іздері.
- Пісірілген жікті шарқайрақпен тазалау.

Көптеген адамдар осы әдістің үнемділігін атап өтеді және бұл расталған факт.

Сым қылшақтарын немесе абразивті дискілерді пайдалану арқылы жүргізіледі. Өнеркәсіптік жағдайларда қылшақ, диск немесе жапырақшалы абразивті қондырма бұрыштық тегістеу машинкасында (тұрмыста «шарқайрақ» деп аталатын) бекітіледі. Дәнекерлегеннен кейін дәнекерлеу жігін тазалау термоөңдеу немесе бояу алдында қолданылады.

Технологияның қарапайымдылығы мен арзандығына қарамастан, саптаманы таңдауға қатысты бірқатар ерекшеліктер бар, оларды білу жұмысты сапалы орындауға мүмкіндік береді. Ең алдымен, қажетті материалдан тегістеу шеңберін таңдау керек. Механикалық тазалау үшін алюминий цирконатынан жасалған шеңбер жақсы. Бұл материалдың артықшылығы, біріншіден, коррозиялық процестерді тудырады, екіншіден, алюминий цирконаты алюминий оксидінен мықты, сонымен қатар қондырмалардың кейбір түрлері жасалады.

Тегістейтін шеңбердің жапырақшалары маталы құрауыштарда болуы тиіс. Мата қағазбен салыстырғанда үлкен жүктемеге берік және төзімді, ол кейде негіз ретінде жапырақшаларда қолданылады. Алайда, мұндай

саптамалар қағаз негізінде әлдеқайда көп. Мата саптамаларының жоғары құны әбден ақталған және тігістерді тегістеу сияқты материалға қатысты агрессивті жұмыс кезінде ақталады.

Абразивті түйіршіктің мөлшері орындалатын жұмыстың түріне байланысты. Жіктерді тазалау барысында әр түрлі түйіршік өлшемі бар саптамалар қажет болуы мүмкін. Сондықтан саптамалардың бірнеше түрін бірден сатып алу ұсынылады. Егер тігістерді сапалы тазалау қажет болса, онда түйіршіктредің әр түрлі өлшемдері өте қажет, өйткені тегістеу саптамаларын аз мөлшерде түйіршіктерге біртіндеп ауыстыра отырып жүзеге асырылады. Мысалы, ірі қабыршақтар ірі түйіршікті саптамалармен жойылады, ал жұқа тегістеу ұсақ түйіршікті саптамалармен кетіріледі. Финишті үңгілеу ең ұсақ түйіршіктермен жүзеге асырылады. Саптамаларды біртіндеп ауыстыру керек - бір өлшемнен аспайтын өткізу рұқсат етіледі. Алайда, егер бұл дәнекерленген жіктің айналы жарқылын жасау керек болса, бірде-бір өлшемге жол берілмейді. Қол жетпейтін жерлерде (қуыстарда, жиектерде, тесіктерде) орналасқан жіктерді өңдеу үшін ажарлау машинасына орнатылатын ерекше құрал – борфрездер қолданылады. Әртүрлі өлшемді және пішінді борфрездері бар, сондықтан қажетті конфигурацияны таңдау қиын емес [15].

Бақылау сұрақтары

1. Металлды дәнекерлеу не үшін қажет?
2. Дәнеркерлеу тігістерін не үшін өңдейді ?
3. Дәнекерлеу тігістерін өңдеудің қандай әдістері бар?
4. Дәнекерлеу тігістерін термиялық өңдеу мақсаты неде?
5. Дәнекерлеу тігістерін химиялық өңдеу не үшін керек?
6. Дәнекерлеу тігістерін механикалық өңдеудің мақсаты?

5.5. Дәнекерлеу режимдері

Дәнекерлеу аппаратының жұмыс режимі қандай да бір қорытпаның сапалы тігісін алуға мүмкіндік беретін дәнекерлеудің негізгі және қосалқы сипаттамаларының жиынтығын білдіреді.

Болат және түсті металдар қорытпаларының маркалары көп болғандықтан, олардың өзіндік ерекшелігі бар, онда дәнекерлеу режимін таңдау қиын жұмыс болып табылады. Бірақ қорытпаның түріне қарамастан ескеру қажет параметрлер бар.

Жұмысты бастамас бұрын, қандай шамалармен жұмыс істеу керектігін түсіну керек. *Дәнекерлеу режиміне әсер ететін негізгі параметрлер:*

- тұрақты токты қолдану жағдайындағы күш, түр және полярлық ;
- электр доғасының кернеуі;
- дәнекерлеу сымының қалыңдығы;
- өтпелер саны;
- дәнекерлеу жылдамдығы.

Дәнекерлеудің белгіленген режиміне әсер ететін қосымша деректер: электродтың ұшып шығу шамасы, электрод жабынының шамасы және оның құрамы, материалдың бастапқы температурасы, сонымен қатар кеңістіктегі электродтың жағдайын және дәнекерлеу жұмысына ұшырайтын бұйымның жағдайын ескеру қажет.

Автоматты дәнекерлеу кезінде режимдерді есептеу ең жауапты жұмыс болып табылады. Сипаттамалардың бір бөлігін дайын кестелер бойынша қояды, ал бір бөлігін аппаратураға арналған нұсқаулықтарда салынған формулалар бойынша анықтауға тура келеді. Әрбір жабдыққа тәжірибелі жолмен өңделген өз кестелері сәйкес келеді.

Ток әсері

Режим қоя отырып, ток күшін таңдау кесте бойынша жасалады. Ток дәнекерленетін бұйымдар мен дәнекерлеу сымдарының қалыңдығына байланысты.

Қатты ток кезінде және аса жұқа дәнекерлеу сымында дәнекерлеу режимі металдың қызып кетуін және шашырауын тудырады. Егер дайындамалар жұқа болса, онда жиі жағдайда олар күйеді.

Әлсіз ток кезінде доға тұрақсыз болады немесе мүлдем үзіледі. Тігіс сапасыз, пісірілмеген учаскелер пайда болады. Мұндай режимді таңдау керек емес.

Пісіру ваннасының тереңдігі токтың түріне байланысты екенін ескеру қажет. Егер аппарат тұрақты токта пайдаланылса, онда қайнатудың тереңдігі ауыспалы токтан 15% - ға артық болады.

Тұрақты ток режимінде пісірудің де өз ерекшеліктері бар. Мәселен, тікелей полярлықта кратердің тереңдігі кері полярлықты қолданудан 40 % аз болады.

Тікелей полярлылық дегеніміз - электрод инвертордың клеммасына « - « белгісімен жалғануы, ал қосылатын бұйымдар «+» белгісімен клеммаға жалғануы. Кері полярлықта бәрі керісінше қосылады.

Тікелей полярлықта кальцийлі-фторлы маймен электрод қолданылуы мүмкін, төмен және орташа көміртекті болат, шойын пісіруге мүмкіндік береді.

Инверторлы режимі (кері полярлылық) аз көміртекті және аз қоспалы болаттар, жұқа тақталы бұйымдарды пісіру кезінде қолданылады.

Кеңістіктегі дәнекерленетін түйіспе жағдайынан ток та өзгереді. Осылайша, көлденең тігісте кестелік мәндерді 15-20% - ға азайту ұсынылады.

Электрод сипаттамалары

Электрод габариттері бұйымдардың өлшемдерімен, жиектерінің түрімен өзара байланысты. Егер дәнекерленетін қорытпаның қалыңдығы 3-5 мм тең болса, онда дәнекерленетін сым 3-4 мм болуы тиіс.

Қалың қабырғалы дайындамаларды пісіру кезінде көп өтпелер қажет болады. Бірінші рет диаметрі 4 мм аспайтын электродпен өтеді. Төбелік тігісті өндіру кезінде қалыңдығы 4 мм-ден аспайтын сымды пайдалану ұсынылады.

Әдетте электродтардың орауында ең қолайлы режимдерді көрсететін кесте бар. 1,5-2 мм диаметрінде пісірудің ұсынылатын тогы 30...45 А, 3 мм – 65...100 а, 3-4 мм – 100...160 а, және т.б. Шашырату дәнекерлеу түріне және қорытпаның қалыңдығына байланысты.

Дәнекерленетін қорытпаның қалыңдығы 1-2 мм кезінде диаметрі 2-3 мм, қалыңдығы 3-5 мм – 3-4 мм, қалыңдығы 4-10 мм – диаметрі 4-5 мм, егер қалыңдығы 12-24 мм болса, онда 5-6 мм электрод қолданылады. Режимді таңдап, бұйымның немесе жіктің орналасуын ескеру қажет, сондай-ақ таңдауға өтпе саны әсер етеді.

Доға ұзындығы және тігіс сапасы

Доға ұзындығы қосылу сапасына әсер етеді. Ол тігістің барлық бойында бірдей болуы маңызды, дәнекерлеу сымының ұшы мен бөлшектің қыры арасындағы қашықтық оның қалыңдығына тең болуы тиіс.

Тым қысқа доға кезінде дәнекерлеу режимі электродтың күйуіне немесе жабысуына әкеледі. Ұзын доғадағы режим оның өшірілуі мен піспей қалуын тудырады. Доғаның ұзындығын бақылауды ол шығаратын дыбыс бойынша жүзеге асыруға болады.

Сымның 1,5-2 диаметріне тең дәнекерленген тігістің ені оңтайлы болып саналады. Бұл ретте балқытылған электродтың ағынсыз қосылу желісі бойынша шағын білікше құрылуы тиіс. Оңтайлы тігістер дәнекерлеу жылдамдығына, бұйымның қалыңдығына және тігістің еніне байланысты.

Электроды бар ұстағыш өте баяу қозғалатын дәнекерлеу режимі дәнекерлеу ваннасаында сұйық металдың мөлшерден тыс жиналуына әкеліп соқтырады, ол шашырап тігістің қалыпты пісуіне кедергі тудырады.

Ұстағыштың тігіс бойымен тым жылдам жылжуы шала пісірілімге әкеледі, ол суытқаннан кейін жарылуы немесе деформациялануы мүмкін.

Егер ені 1,5-2 диаметрдегі сым, тереңдігі 6 мм және ұзындығы 10-30 мм болатын ванна пайда болса, онда бұл нақты материал мен қосылыс түрі үшін дәнекерлеудің оңтайлы жылдамдығын білдіреді.

Электродтың көлбеулену бұрышы

Дәнекерлеу режимінің ұғымына электродтың көлбеулену бұрышы жатады. Жұмыс кезінде электрод тігіске қатысты қалыптан кез келген жаққа шамамен 10 градусқа ауытқумен орналасады. Пісіру сымының жағдайына дайындамалардың түйісуіне қатысты тігістің тереңдігі мен ені байланысты болады.

Егер пісіру бұрышпен алға жүргізілсе, онда тереңдігі азаяды, ал тігіс кең болады. Бұл доға өз алдында балқытпа толқынын тудыруына байланысты, ол арқылы бұйымның металлын балқыту қажеттігі туындайды.

Егер кері бұрышпен дәнекерлеу режимі таңдалса, онда балқытпа ваннаның соңына шығарылады. Электр доғасы тікелей дәнекерленетін бұйымдарға әсер етеді. Электр доғалық дәнекерлеудің бұл режимі түйіспенің терең балқытылуын жасайды және бір мезгілде қосылу енін азайтады.

Электродтың жұмыс бөлігінің ұзындығы да маңызды. Ол ұзын болған сайын, қызуы және балқуы артады, бұл токты азайтады, тиісінше, ванна

тереңдігі азаяды. Әсіресе, бұл жұқа дәнекерлеу сымын пайдалану кезінде көрінеді.

Дайындама көлбеуі

Ұстағыш жоғарыдан төмен қарай жүргізген кезде, доғаның астында балқыманың қалыңдауы пайда болады. Бұрышпен алға режимінде дәнекерлеу сияқты жағдай туындайды. Пісіру тереңдігі азаяды, ал тігіс кең болады.

Егер пісіруді төменнен жоғары қарай орындап бастаса, онда доғаның астындағы балқыманың қабаты жұқа болады, ваннаның тереңдігі ұлғаяды, ал тігісі тарылады. Егер дәнекерленетін бөлшектерді көлбеу мүмкіндігі бар болса, онда оларды түйісу 8-10 градуста еңіс астында болатындай етіп орналастыру керек.

Сонда қалыпты тігіс қалыптасады. Үлкен еңістікте және дәнекерлеуді төмен қаратып жүргізген кезде кратерден балқыма ағып кетеді. Дәнекерлеуді төменнен жоғары қарай орындаған кезде шала пісірілімдер пайда болады.

Төменге қарай дәнекерлеуді әдетте құбырлар мен басқа да ұқсас элементтерді жалғаған кезде қолданады. Бұл режимде күйіктеспелер, балқыманың кратерден ағу ықтималдығы азаяды, сапалы тігістер қалыптасады.

Бақылау сұрақтары

1. Дәнекерлеуші аппараттың жұмыс режимі дегініміз не?
2. Дәнекерлеу режиміне әсер ететін негізгі параметрлерді ата.
3. Дәнекерлеу режиміне қосымша қандай параметрлер әсер етеді?
4. Ток күшін іріктеу қалай жүзеге асырылады?
5. Дәнекерлеу режимін таңдауға электродың қандай сипаттамалары әсер етеді?
6. Доға ұзындығы дәнекерлеу жігінің сапасына қалай әсер етеді?
7. Пісіру кезінде дайындаманың көлбеу бұрышы дәнекерлеу сапасына және оның режиміне қалай әсер етеді?

Практикалық жұмыс
«Электрлік доғалы дәнекерлеу. Дәнекерлеу материалдары»

Жұмыс мақсаттары:

- электрлік доғалы дәнекерлеу кезінде қолданылатын дәнекерлеу материалдарын оқып үйрену;
- дәнекерлеу үшін материалдарды таңдауды үйрену.

Электрлік доғалы дәнекерлеу балқытып дәнекерлеудің әртүрлі түрлі арасында жетекші орын алады.

Дәнекерлеу мынадай сипаттамалар бойынша жіктеледі: балқитын және балқымайтын электродпен, тікелей және жанама әсер ететін доғамен; ашық доғамен, флюспен, қорғау газының ортасында, доғалық плазмамен дәнекерлеу.

Механикаландыру дәрежесі бойынша қолмен, механикаландырылған (жартылай автоматпен) және автоматты дәнекерлеуді ажыратады.

Флюс астында дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу сымы мен флюс бір мезгілде дәнекерлеу доғасының аймағына беріледі, оның жылу әсерінен негізгі металдың жиектері, электродты сым және флюстің бөлігі балқытылады. Доғаның айналасында металл мен флюс материалдарының буымен толтырылған газ көпіршігі пайда болады. Доғаның қозғалуына қарай балқытылған флюс қож жасай отырып, дәнекерлеу ваннасының бетіне қалқып шығады. Балқытылған флюс доғаны атмосфералық газдардың әсерінен қорғайды және металл жік сапасын айтарлықтай жақсартады. Флюс қабатының астында дәнекерлеу жартылай автоматтарда және автоматтарда металдың орташа және үлкен қалыңдығын қосу үшін қолданылады.

Қорғау газдарының ортасында дәнекерлеуді балқитын электродпен де, сондай-ақ дәнекерлеу жігін қалыптастыру үшін қосымша материалдарды дәнекерлеу доғасының аймағына бере отырып, балқымайтын электродпен де орындайды.

Электродты материалдар.

Электрлік доғалы дәнекерлеу кезінде келесі дәнекерлеу материалдарын қолданады: дәнекерлеу сымдары, балқытылмайтын және балқитын электрод өзектері, жабылған электродтар.

Сым маркаларының белгіленуі әріптер мен сандар үйлесімінен жасалады. Алғашқы екі әріп «Св» – дәнекерлеу сымы. Олардан кейінгі алғашқы екі сан жүз пайыздағы көміртектің құрамын көрсетеді. Одан әрі сым құрамына кіретін элементтердің әріптік белгілері жүреді. 1% - ға дейінгі сымдағы қоспалағыш элементтердің құрамы кезінде тек осы элементтің әрпі бүтін бірліктерде қойылады.

Балқымайтын электродтар электротехникалық көмірден немесе синтетикалық графиттен, сондай-ақ вольфрамнан дайындалады. Графитті электродтар электр өткізгіш және жоғары температураларда ауада тотығуға қарсы үлкен төзімділікке ие.

Вольфрамды электродтар кеңінен қолданылады. Олар таза вольфрамнан немесе келесі маркалардың әртүрлі қоспаларымен дайындалады: ЭВЧ, ЭВЛ, ЭВИ-1, ЭВИ-2.

Балқитын электродтар металл өзек болып табылады, оның бетіне батыру немесе қысымда нығыздау әдісімен белгілі бір құрам мен қалыңдықтың жабыны жағылады. Жабын талап етілетін химиялық құрамы мен қасиеттерін тігіс металын алуды қамтамасыз етуі тиіс.

Бұл электродтардың түрлері Э әрпімен белгіленеді, содан кейін балқытылған металдың беріктігін көрсететін сандар болады.

Егер сандардан кейін белгілеуде А әрпі тұрса, бұл электрод балқытылған металдың жоғары пластикалық қасиеттерін қамтамасыз етеді.

Электродтар типтерімен қатар паспортта көрсетілген маркалары бойынша ажыратылады. Бір түрге бірнеше маркалар сәйкес келуі мүмкін. Мысалы, Э-46 типті электродтар АНО-4, МР-3 және т.б. маркаларына сәйкес келеді; Э-42А типті электродтар үшін УОНИ-13/45 және СМ-11 маркаларына сәйкес келеді.

Көміртекті және төмен қоспаланған болаттарды дәнекерлеуге арналған ең көп таралған электродтардың сипаттамалары 2-қосымшаның 4-кестесінде келтірілген.

Доғалы және электр қожды дәнекерлеуге арналған флюстер.

Балқытумен электрлік дәнекерлеу кезінде қолданылатын флюстер дәнекерлеу аймағын атмосфералық газдардан сенімді қорғауды қамтамасыз етеді, жіктің жақсы қалыптасуын қамтамасыз етеді. Тігістер тығыз және кристаллизациялық жарықтарға беткеймейді. Суыған соң, қожды қабығы оңай жойылады. Флюстер дәнекерлеушінің денсаулығына зиянды шаң мен газдардың аз бөлінуін қамтамасыз етеді.

Көміртекті болат үшін қолданылатын сапалы тігісті флюстер мен дәнекерлеу сымдарының келесі комбинациясы кезінде алуға болады:

1) балқытылған марганец, жоғары кремнийлі флюс және төмен көміртекті немесе марганецті дәнекерлеу сым;

2) балқытылған марганецсіз, жоғары кремнийлі флюс және төмен көміртекті немесе марганецті дәнекерлеу сым;

3) керамикалық флюс және төмен көміртекті дәнекерлеу сым.

Көміртекті және төмен қоспаланған құрылымдық болаттарды дәнекерлеу үшін көбінесе СВ-08 және Св-08А маркалы көміртекті сымдарды ОСЦ-45, АН-348А, ОСЦ-45М, АН-345АМ маркалы жоғары кремний марганецті флюспен біріктіріп пайдаланады. Осы флюстерге қойылатын талаптар ГОСТ 9087-81 регламенттеледі.

Төмен көміртекті болатты Св-08 және Св-08А сымымен дәнекерлеу үшін КВС-19 және К-11 керамикалық флюстерді қолданады.

Электр дәнекерлеу кезінде балқытумен қолданылатын газдар.

Балқытумен электрлік дәнекерлеу кезінде доғаны қорғау үшін аргон, гелий, көмірқышқыл газы, азот, сутегі, оттегі және олардың қоспалары сияқты газдар қолданылады.

Көмірқышқыл газы, аргон, оттегі сияқты газдардың қоспалары көбірек қолданылады. Газ қоспаларында дәнекерлеу кезінде газдарды дәл мөлшерлеу үшін араластырғыштар қолданылады.

Дәнекерлеу құрылымдары.

Өнеркәсіпте дәнекерленген құрылымдар кеңінен қолданылады: көпір фермалары, көтергіш крандар, қаңқалар, корпустық бөлшектер және т. б. Оларды дайындау үшін ыстық және суық жарықтардың пайда болуына бейімділікпен бағаланатын жақсы дәнекерленетін болаттарды пайдалану қажет.

Дәнекерлеу жұмыстарының ең үлкен көлемі төмен көміртекті және төмен қоспаланған құрылымдық болаттарды пайдаланумен байланысты.

Практикалық жұмысқа тапсырмалар.

1. Флюс қабатының астында автоматты доғалы дәнекерлеудің сызбасын сызыңыз және қорғау газдарының ортасында балқитын және балқымайтын электродпен дәнекерлеңіз және оларға қысқаша сипаттама беріңіз.

2. Электрлік доғалы дәнекерлеуде қолданылатын дәнекерлеу материалдарын атаңыз.

3. Св08ГС болат дәнекерлеу сымының толық жазылуы.

4. Ерімейтін электрод өзекшелеріне сипаттама беріңіз.

5. Қол электродтары үшін жабындар не үшін қолданылады.

6. Э46 электрод түрін ашып жазып, оған жататын маркаларды таңдаңыз.

7. Флюстердің мақсаты.

8. Флюстер мен дәнекерлеу сымдарының белгілі бір үйлесімі неліктен талап етіледі.

9. Болат және қорытпалар маркочнигінің көмегімен дәнекерленген құрылымдарға арналған болатты таңдаңыз.

10. Дәнекерлеу тәсілін және дәнекерлеу материалдарын таңдаңыз.

5.6. Әртүрлі материалдарды дәнекерлеу

Мыс пен оның қорытпаларын дәнекерлеу

Сұйық күйінде мыс оттегі мен сутекті ерітеді. Оттегімен ол мыс тотығын түзеді, ол одан әрі мыспен қосылғанда түйіршіктердің шекаралары бойынша орналасқан аралық қорытпа береді. Қорытпаның балқу температурасы мыстан төмен, сондықтан қорытпаның дәнекерлеу ваннасы металының қатаюы кезінде жарықтың пайда болуына ықпал етеді. Дәнекерленген құрылымдарды дайындауға арналған мыста оттегінің құрамы 0,03%-дан аспауы тиіс, жауапты бұйымдар үшін - 0,01.

Мыс тотығының оттегісімен байланысқан кезде сутегі су буынына айналады, ол жік металында жарықтар (сутегі ауруы) мен тесіктердің пайда болуына себеп болып табылады, мысты дәнекерлеу кезіндегі тесіктерге

қарсы жік металының жұқа болуы болатқа қарағанда төмен. Ең жақсы нәтижелер жиектемелерді өтпелі балқытумен бір жақты түйіспелі жіктерді пайдалану кезінде алынады. Күшән, висмут және сүрме қорғасыны қоспалары мысты пісіруді қиындатады! Ең жақсы дәнекерлеудің құрамында 0,4% қоспадан аспайтын электролиттік мыс бар. Мыстың жоғары жылуөткізгіштігі концентрацияланған жылыту көздерін қолдануды, бірқатар жағдайларда алдын ала және ілеспе қыздыруларды қолдануды, ал сызықтық кеңеюдің жоғары коэффициенті – құрылымның өзгеруіне қарсы қосымша шаралар қабылдауды талап етеді. Дәнекерленген қосылыстар мыс сұйықтығының үлкен болуына байланысты саңылаусыз жиналады, жиектерін бөлудің жалпы бұрышы 60-70^0. Қалыңдығы 1-3 мм бұйымдар үшін көмкерілген дәнекерленген қосылыстар, оларды жапсырма металсыз пісіре отырып пайдаланылады. 4-10 мм қалыңдықта 1,5-3 мм нығыздалуымен V-тәрізді өңдеу, үлкен қалыңдықта – Х-тәрізді өңдеу қолданылады. Қалыңдығы 6 мм-ден асатын бұйымдарды алдын ала қыздырып пісіреді. Ұсақ түйіршікті құрылысы бар тігіс металын және тігіс маңы аймағын алу үшін дәнекерленген қосылыстар суық күйінде (қалыңдығы 6 мм-ге дейін) және 200-300^0 С температурада (қалыңдығы 6 мм-ден жоғары) соғылады, ал металдың иілгіштігі мен тұтқырлығы кейіннен 500-550^0 С дейін қыздырумен және суда тез салқындатумен қамтамасыз етіледі.

Жабық электродтармен қолмен пісіру 250-300^{0}С дейін жергілікті қыздырумен кері полярлы тұрақты токта орындалады. Дәнекерлеу электрод ұшының көлденең тербелісінсіз тез, қысқа доғамен жүргізіледі. Түйіспелі қосылыстар графитті немесе металл астарларда дәнекерленеді. Тігістің сыртқы жағын тотығудан қорғау үшін төсемнің жырасына электродты жабынның шихтасы болып табылатын флюс себіледі.

Мыс тотығының пайда болуын болдырмау үшін дәнекерлеуді тез, тоқтаусыз және үзіліссіз, кемінде 0,25 м/мин жылдамдықпен орындау қажет. Қоспалайтын шыбықшаның қимасы 20-25 мм^2 кем болмауы тиіс. Бұл жағдайда балқытылған шыбықша металы қызып кетпейді және қарқынды тотығудан қорғалады. Қоспалайтын шыбықшаның соңы электродтың соңы мен дәнекерлеу ваннасының арасында болуы тиіс, ал қоспалайтын шыбықша өзі дәнекерленетін бұйымға 30^0 бұрышпен еңкейтілуі тиіс. Электрод 20-30^0 тік бұрышпен алға орналастырылады, түйіспелі жіктерді бір рет дәнекерлеу ұсынылады, өйткені термиялық циклдің тігіс металына қайта әсер етуі оның беріктігінің төмендеуіне әкеледі. Металлды ыдырату үшін флюс ретінде балқытылған бура немесе бор қожы қолданылады. Флюс әдетте сұйық шынымен суланған қоспа металдың шыбықшасының бетіне немесе кейіннен ауада кептіре отырып, ұнтақ түрінде пісірілетін жиектерге жағылады. Флюсті жағар алдында жиектемелерді механикалық тәсілмен ластанудан немесе өткір соданың 10 пайыздық ерітіндісімен тазарту қажет.

Қоланы пісіру

Пісіруге бейімділік (қоланың құрамына байланысты. Деформацияланатын (қоспалайтын элемент 7-8% дейін) және құйма

(қоспалайтын элемент 8 % жоғары) қола түрлері бар. Қалыңдығы 4 мм – ге дейінгі деформацияланатын қоладан жасалған бұйымдар алдын ала қыздырусыз доғалық дәнекерлеудің барлық тәсілдерімен, ал құю қолалары - қыздырумен дәнекерленеді. Алайда, шамадан тыс жылыту түйіршіктер шекарасымен орналасқан артық қалайының балқуына және бұйымның бұзылуына әкелуі мүмкін. Жоғары температураларда қола беріктігі төмендейді, сондықтан бұйымды дәнекерлеу алдында соққылар немесе итерулер нәтижесінде зақым келтірмеу үшін мұқият бекіту керек.

Жабық электродтармен қолмен пісіру кері полярлы тұрақты токта немесе айнымалы токта орындалады. Бірінші жағдайда дәнекерлеу тогы 30-40 А, екіншісінде – 1 мм электрод диаметріне 75-80 А есебінен алынады. Дәнекерлеуді үзіліссіз және электродтың көлденең қозғалыстарынсыз жүргізу қажет. Дәнекерлегеннен кейін құйылған қоладан жасалған бұйымдарды 450-500^0 С-та күйдіреді, илектелген қоладан жасалған бұйымдарды дәнекерленген қосылыстарды шала күйінде илектейді.

Көмір немесе графитті электродтармен дәнекерлеу тура полярлық тұрақты токта жүргізіледі. Қосымша металл ретінде дәнекерленетін металдың химиялық құрамының диаметрі 5-12 мм құйылған қола өзектер қолданылады. Флюс ретінде электродты жабындардың құрғақ шихтасын пайдаланады. Флюс пісіру ваннасына себіледі.

Жезді дәнекерлеу

Жезді дәнекерлеудегі негізгі қиындық негізгі және электродты металдардан мырыштың булануы болып табылады, ол тігістің кеуектілігіне және оның беріктігінің төмендеуіне әкеледі, сондай-ақ сұйық металдың қатаюы кезінде бөлінбейтін, тесіктерді түзеді.

Жабық электродтармен қолмен пісіру. Бұл әдіс негізінен құю ақауын түзету үшін қолданылады. Жабынның түріне байланысты дәнекерлеу тұрақты токпен тікелей немесе кері полярлықта, электрод соңын ең қысқа доғамен тербелместен жүргізіледі, бұл мырыштың жануының азаюына ықпал етеді. Жарықтардың пайда болуын болдырмау үшін пісіруді бір рет орындау ұсынылады. Пісіру төменгі қалыпта 0,3-0,4 м/мин жылдамдықпен жүргізіледі. Ток электрод диаметрінің 1 мм 50-55 А есебінен таңдалады. Дәнекерлегеннен кейін тігістер илемделеді, содан кейін 600-650^0 С-де күйдіріледі.

Балқымайтын электродпен қолмен дәнекерлеу аргон және азот ортасында қолданылады. Доғалы разрядты тиімді және термиялық ПӘК, балқу тереңдігі аргонда немесе гелийде дәнекерлеуге қарағанда жоғары, бірақ доғалы разрядты орнықтылығы төмен болатын жоғары таза азотты қолданған жөн. Сондықтан жұқа табақты металды дәнекерлеу үшін немесе жету қиын жерлерде дәнекерлеу үшін доғалы разрядының тұрақтылығын қамтамасыз ететін аргон ұсынылады. Доға графитті пластинада жағылады, ал дәнекерлеу ең жоғары жылдамдықпен бір өтетін тұрақты токпен тікелей полярлықта лантандалған вольфрамнан жасалған электродпен жүргізіледі. Жылу бұруды азайту және тігісті қалыпты қалыптастыру үшін дәнекерлеуді

арықшалары бар асбест немесе графитті төсемдерде орындайды. Қалыңдығы 4 мм артық мысты дәнекерлеу кезінде 300-400^0 С дейін қыздыру ұсынылады. Электродты қатаң түрде жік кеңістігінде «артқы бұрышта» орнатады (60-80^0). Аргонды доғалық және азотты доғалық дәнекерлеу үшін әртүрлі құрамдағы қоспа металл қолданылады, өйткені азотта нитрид пайда болуы мүмкін. Оксидтерді жою үшін жапсырма сымға, дәнекерленетін жиектерге немесе астардың жырасына жағуға болатын флюсті пайдалану ұсынылады.

Жабылған электродтармен дәнекерлеу дәнекерленген қосылыстардың қанағаттанарлық механикалық қасиеттерін алуға мүмкіндік береді, бірақ жік металының құрамы қышқылсыздандырғыштармен дәнекерлеу кезінде қоспалаудан негізгі металл құрамынан айтарлықтай ерекшеленеді. Жиектерін қыздырусыз және бөлшектемей қалыңдығы 4 мм-ге дейінгі мыстан жасалған бұйымдарды дәнекерлейді, қалыңдығы 5-10 мм болған кезде 250-500^0 С дейінгі алдын ала қыздыруды және 60-70^0 бұрышы бар және 1,5-3 мм нығыздалатын жиектерін V тәрізді өңдеуді қолдану керек. Үлкен қалыңдықта Х-тәрізді өңдеу қажет. Қалыңдығы 20 мм-ден асатын бұйымдар үшін жақсы сапалы тігістерді 700-750^0 С-ге дейін қыздыру кезінде алуға болады. Ең кең тараған электродтар - «Комсомолец-100», ЗТ, ОМЗ-1 және ММЗ-2. Дәнекерлеуді диаметрі 4-6 мм электродтармен кері полярлық тұрақты токта жүргізеді. ММЗ-2 электродтарын айнымалы ток кезінде де пайдалануға болады. Дәнекерлеуді электрод соңындағы тербеліссіз қысқа доғамен орындайды. Түйісу тігістері графитті немесе мыс пластиналарда пісіріледі. Дәнекерлегеннен кейін соғу және сумен тез салқындату ұсынылады.

Плазмалық дәнекерлеу қалыңдығы 30-40 мм және одан жоғары бөлшектерді жиектерін өңдемей қосу үшін қолданылады. Пісірудің бұл тәсілі пісіру ваннасына пісіру тігісінің қалыптасу жағдайларын нашарлатпай және доғаның жану тұрақтылығын бұзбай үлкен көлемдегі жылу ағындарын енгізуге мүмкіндік береді.

Мыс негізіндегі қоспаларды пісіру

Шағын қалыңдықтағы жез графитті электродпен тікелей полярлықты тұрақты токта электродтың ұшін балқытылған металға батырып, қоспасыз қысқа доғамен дәнекерленеді. Жезде мырыш мөлшерінің артуымен доғаны кішірейтеді, бұл оның булануы мен жануын төмендетеді. Жез қалыңдығы 10 мм-ден артық болғанда алдын ала 300-350^0 С дейін қыздыру қажет. Дәнекерлеуді тек қана жиектерді өңдеумен жүргізеді: 70^0 бұрышында және қалыңдығы 3-16 мм кезінде 1,5-2 мм нығыздап және үлкен қалыңдықта рюмка тәрізді өңдеу. Диаметрі 6-8 мм ЛК80 – 3 металдан жасалған өзектер қоспа болып табылады, оларға арнайы флюс жағылады. Егер басқа тәсілдерді қолдануға болмайтын болса, жабынды электродтармен дәнекерлеуді орындайды, себебі бұл дәнекерлеу тәсілі кезінде мырыштың неғұрлым қарқынды жануы және булануы болады. Дәнекерлеу электродтардың кері полярлығының тұрақты тогында электрод соңындағы тербеліссіз қысқа доғада ЗТ электродтары арқылы жүзеге асырылады. Металдың қалыңдығы 4-10 мм болған кезде жиектерді V-тәрізді өңдеу, ал үлкен қалыңдықта - ашу

бұрышы 60-709 болатын Х-тәрізді жасалады. Дәнекерлеуді қызыдырлған асбест астарда жүргізеді.

Жезді қорғағыш газдарда вольфрам электродымен пісіруге болады. Бұл жағдайда қалыңдығы 10 мм-ден асатын, сондай-ақ қалыңдығы бойынша әр түрлі бөлшектер үшін алдын ала қыздыру талап етіледі. Жезді газбен дәнекерлеуді кремниймен және бормен қоспаланған арнайы флюстер мен жапсырма металды қолдана отырып тотықтырғыш жалынмен орындайды. Дәнекерлеу жалыны ядросының ұшы дәнекерленетін бетінен 70-100 мм қашықтықта болуы тиіс. Жалын мундштукке 90 ^{0} бұрышпен орнатылатын қосынды сымына жіберіледі. Сымның соңы әрдайым жалын аймағында болуы тиіс. Жалынның қуаты ацетиленнің 100-120 дм^3/сағ металл қалыңдығы 1 мм есебінен алынады. Қалыңдығы 1 мм – ге дейінгі металл жиектерін аша отырып, 1-ден 5 мм-ге дейін жиектерін қиғашсыз, 6-дан 15 мм-ге дейін - жиектерін 70-90^0 бұрышпен V тәрізді өңдей отырып, 15-тен 25 мм-ге дейін - жиектерін Х тәрізді 70-90^0 бұрышпен өңдей отырып және 2-4 мм ныңыздап пісіреді.

Қалыңдығы 4 мм-ге дейінгі деформацияланатын қоладан жасалған бұйымдар алдын ала қыздырусыз доғалық дәнекерлеудің барлық тәсілдерімен, ал құю қолалары - қыздырумен дәнекерленеді. Құймалық қолалары қыздырумен пісіріледі. Негізінен қола көмір немесе қапталған электродтармен пісіреді. Электродты өзектер немесе қосымша металл үшін негізгіге ұқсас металл пайдаланылады. Қалайы қолаларды дәнекерлеуге арналған флюстер мен жабындар бор негізінде, ал қалайысыз қоланы дәнекерлеу үшін – фторлы және хлорлы тұздардан сілтілі және сілтілі-жер элементтері мен криолиттен жасалған флюстер дайындалады. Қалайылы қоланы газбен дәнекерлеу кезінде жалын қатаң түрде қалыпты етіп алынады, өйткені тотықтырғыш жалын қалайының жануына, ал көміртекті – металлда тігістің кеуектілігінің артуына әкеледі. Жалынның қуаты ацетиленнің 100-120 дм^3/сағ металл қалыңдығы 1 мм есебінен алынады. Дәнекерлеуді жалын қалпына келтіру аймағымен орындайды. Қалайылы қоланы дәнекерлеу үшін мыс пісіретін флюстер қолданылады. Алюминийлі қоланы дәнекерлеу үшін металдың қалыңдығынан 1 мм ацетилен қуаты 120-170 дм^3/сағ болатын қалыпты жалын және баяу жанғыш зеңді жою үшін арнайы флюстер қолданылады. Кремнийлі қоланы дәнекерлеуге арналған жалын металл қалыңдығынан 1 мм ацетиленнің қатаң қалыпты қуаты 100 дм^3/сағ алынады. Мыс пен жез үшін қолданылатын флюстер алынады.

Алюминий мен оның қорытпаларын дәнекерлеу

Алюминий мен оның қорытпаларын дәнекерлеу кезінде бірқатар қиындықтар туындайды. Біріншіден, дәнекерлеу процесінде балқытылған металдың бетінде бұйым бөліктерін пісіруге кедергі болатын алюминий зеңі пайда болады. Сондықтан алдымен бөлшектер мен электродтың шеттерін мұқият тазалау қажет. Зеңді жою үшін өндірілетін майсыздандыру және өңдеу процесінің басталуына 2-4 сағат қалғанда жасалуы керек. Алюминийді пісіру жылдамдығы өте жоғары, оны бір электродпен орындау ұсынылады.

Кері полярлықтың тұрақты тогын қолдану және алдын ала қыздыру бұйымды дұрыс балқытуды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Алюминий және оның қорытпалары екі негізгі топқа бөлінеді: Деформацияланатын және деформацияланбайтын материалдар.

Деформацияланатын материалдар илемделген, нығыздалған және соғылған күйде қолданылады. Олар термиялық беріктендірілмейтін (қалыпты және жоғары таза алюминий, марганецпен, магниймен алюминий қорытпалары) және термиялық беріктендірілетін (мыс пен мырышпен алюминий қорытпалары) болады.

Өзгермейтін (құймалық) материалдар құю түрінде қолданылады. Бұл топқа құрамында кремний мен мыс бар силумин түріндегі қорытпалар жатады.

Дәнекерленген құрылымдар негізінен күймеген түрінде деформацияланатын термиялық беріктендірілмейтін алюминий қорытпаларынан жасалады. Термиялық беріктендірілетін қорытпалар үшін балқытып пісіру тігіс маңы аймағы металының беріктігінің төмендеуі салдарынан кеңінен қолданылмайды.

Алюминийді дәнекерлеу кезіндегі негізгі қиындық дәнекерленетін жиектерде негізгі және дәнекерлеу ванналарында металдарды балқытуға кедергі келтіретін тығыз және баяу балқитын зеңнің болуы болып табылады. Тігіске түсіп, зең, сонымен қатар металл емес қосылыстар құрайды. Зең электродты жабын компоненттерінің және кері полярлы тұрақты токтың немесе айнымалы токтың көмегімен жойылады. Дәнекерлеу ваннасының бетін оң иондармен бомбардировкалау кезінде зең бұзылады және катодтық тозаңдаудың көмегімен дәнекерлеу орнынан жойылады.

Алюминийді және оның қорытпаларын дәнекерлеу кезінде үлкен қиындық металда жіктерде тесіктердің пайда болуына кедергі жасау болып табылады, оларды тудыратын негізгі себеп сутегі болып саналады. Алюминий табақтарды дайындау процесінде оларда техникалық май қалып қояды, оны табақтарды ыстық сумен немесе органикалық еріткіштермен жуып тастайды. Қалың табақты алюминийді қолмен доғалық дәнекерлеу кезінде 200-400^0 С-ге дейін алдын ала және ілеспе қызыдыру қолдануға болады. Алюминий-магнилі қорытпаларды 100-150^0 С-ге дейін ғана қыздыру керек, себебі шамадан тыс қыздыру кеуектікті күшейтеді. Қыздыру пісіру ваннасынан газ көпіршіктерін жоюды жеңілдетеді. Алюминийді және оның қорытпаларын дәнекерлеуде қосымша қиындықтар кристаллизациялық жарықтардың пайда болуына байланысты туындайды, АМц алюминий-марганец қорытпасында жарықтардың пайда болуы тігіс металлындағы темір мен кремнийдің болуына байланысты: кремний мөлшерінің 0,6% - ға дейін артуы беріктіктің төмендеуіне алып келеді, ал темір құрамының 0,7% - ға дейін артуымен кристалданған жарықтардың пайда болуына қарсы жік металының беріктігі артады. Деформацияланатын алюминий қорытпаларын 200-250^0 С дейін қыздыру жарықтардың пайда болуының алдын алмайды, себебі бұл ретте кристаллдардың өлшемдері едәуір артады. Алюминийдің

сызықтық кеңеюінің үлкен коэффициенті бар, сондықтан оны дәнекерлеу кезінде деформациялармен күрестің арнайы шараларын қолдану қажет (қыздырудың шоғырланған көздері, кондукторларда, айлабұйымдарда пісіру).

Алюминийді дәнекерлеу кезінде металл тігіс өзінің беріктілік сипаттамалары бойынша негізгі металға жапсырылған, АМц қорытпасын дәнекерлеу кезінде – негізгі металға жақындайды. Алюминий магнийлі қорытпаларды дәнекерлеу кезінде тең берік қосылысты алу қиын. Сондықтан беріктікті арттыру үшін негізгі металмен салыстырғанда магнийдің жоғары мөлшері бар сым қолданылады. Коррозиялық қасиеттері бойынша алюминийден және оның қорытпаларынан жасалған дәнекерленген қосылыстар негізгі металдан қалыспайды.

Инертті газдарда қолмен электр доғалық дәнекерлеу. Вольфрам электродымен қолмен дәнекерлеу үшін көп жағдайларда аргон қолданылады. Тек кейде аргон мен гелий қоспасы немесе тек қана жоғары тазалықтағы гелий пайдаланады. Қалыңдығы 4 мм-ге дейінгі бұйымдардың түйіскен жіктері жапсырма сымдары бар жиектерін өңдемей пісіріледі. Дәнекерлеу тогына салынатын сым диаметрі дәнекерленетін металдың қалыңдығына байланысты таңдалады.

Вольфрам электродымен қолмен дәнекерлеу дәнекерленетін бұйымның өте аз мөлшерде өзгеруін дәнекерлеу қосылысының жоғары сапасы кезінде қамтамасыз етеді, сондықтан оны жұқа табақты бұйымдар үшін тиімді пайдаланады.

Жабық электродтарты доғалық дәнекерлеу. Жабық электродты доғалық дәнекерлеу кері полярлы тұрақты токта орындалады және қалыңдығы 4 мм-ден асатын бұйымдар үшін қолданылады. Қалыңдығы 3-5 мм бұйымдарды қиғаш жиексіз, 5 мм-ден жоғары бір жақты қиғаш жиекті 60^0-пен өңдейді. Саңылаудың шамасы дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығына байланысты: 12 мм дейінгі қалыңдықтар үшін саңылау - 1 мм, қалыңдықтар үшін 13-20 мм және 20 мм астам саңылау сәйкесінше – 2 және 2,5 мм. Қалыңдығы 10 мм-ден асатын металлды $100\text{-}400^0$ С дейін алдын ала қыздырады. Бұйымның қалыңдығы неғұрлым үлкен болса, қыздыру температурасы соғұрлым жоғары болады. Дәнекерлеуді мүмкіндігінше электрод соңындағы көлденең тербеліссіз ең қысқа доғамен жүргізеді. Табақтардың қалыңдығы 16 мм-ге дейін болған жағдайда тігіс артқы жағынан тігіс түбірін кеспей дәнекерленеді. Бұрыштық тігістерді 6×6 мм кем емес тігіс катеттермен орындайды, себебі аз мөлшердегі катетті алу электродтың тез балқуы үшін іс жүзінде мүмкін емес. Қалыңдығы 14 мм-ге дейінгі бұйымдар 1-2 рет, қалыңдығы 14 мм – ден жоғары-2-3 рет пісіріледі. Қыздырылатын учаскенің ұзындығы 200 мм-ден кем болмауы тиіс. Қожды дәнекерлегеннен кейін ыстық сумен жуып, болат қылшақпен тазалайды. Құйма қорытпалардан жасалған бұйымдар дәнекерлегеннен кейін $300\text{-}350^0$ С баяу салқындатылатын термо өңдеуден өтеді, бұл ішкі кернеудің азаюына ықпал етеді. Металл тігісінің ұсақ түйіршікті құрылымын алу үшін

дәнекерлегеннен кейін бөлшектің сууы барлық жағдайларда баяу болуы тиіс, ал дәнекерленген тігістерді жеңіл соғу керек.

Магний қорытпаларын дәнекерлеу үшін құрамында негізгі металға сәйкес келетін сым өзегі бар, фторлы тұздармен қапталған немесе хлорлы тұздары бар электродтар қолданылады. Жабынды шихтасын суда араластырады және сым диаметрі 4 мм болған кезде 1-1,1 мм қабатпен және диаметрі 8 мм болған кезде 1,4-1,5 мм қабатпен өзекшеге жағады. Дәнекерлеу тік полярлы тұрақты токтағы төменгі күйде ғана жүргізіледі. Айнымалы токты да қолдануға болады, бірақ бос жүріс кернеуі 100-120 В төмен болмауы тиіс.

Майсыздандыру еріткіштердің, мысалы, авиациялық бензиннің немесе техникалық ацетонның көмегімен жүргізіледі. Келесі кезең-механикалық тазалау немесе химиялық өңдеу, ол тотықты пленканы жояды. Майсыздандыру және өңдеу пісіруден 2-4 сағат бұрын жүргізіледі.

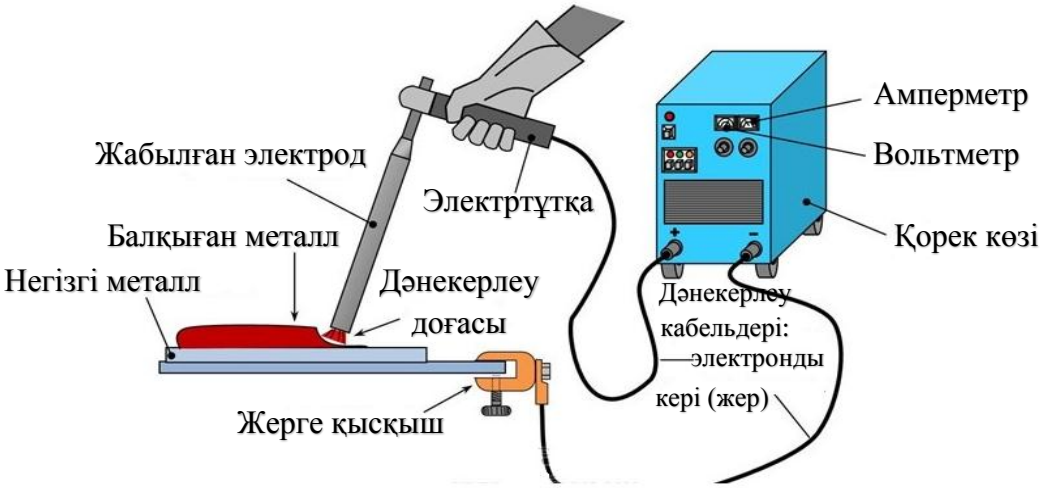
Маңыздылығы аз бұйымдар үшін тура полярлықтың тұрақты тогында көмір электродымен қолмен дәнекерлеу қолданылады. Егер металдың қалыңдығы 2 мм-ге дейін болса, онда дәнекерлеуді қоспасыз және жиектерін өңдемей жүргізеді; металдың қалыңдығы 2 мм-ден жоғары болған кезде дәнекерлеуді дәнекерленетін табақтардың қалыңдығы 0,5-0,7 тең саңылаумен немесе жиектерін өңдей отырып орындайды. Қолмен пісіру, электродтармен жапқыштар техникалық алюминийден, АМц және АМг және силумин қорытпаларынан жасалған құрылымдарды дайындау кезінде орындалады. Орташа токтар кезінде талап етілетін балқу алдын ала қыздыру арқылы тік полярлы тұрақты токты пайдалану арқылы қамтамасыз етіледі (орташа қалыңдықтар үшін – 250-300^0 С, үлкен қалыңдықтар үшін – 400^0 С дейін). Алюминийді дәнекерлеу жылдамдығы болатты дәнекерлеу жылдамдығына қарағанда жоғары болуы тиіс. Ол электродтың соңында кратердегі қож пленкасы доғаның қайталап оталуына кедергі жасауына байланысты үздіксіз бір электрод шегінде жүргізіледі.

Дәнекерлеу тогы электрод диаметрі 60 А 1 мм аспайтын есеппен қабылданады – бұл шашырату кезінде процестің орнықтылығын және ең аз шығынды қамтамасыз етеді. Электродтар алдын ала 150-200^0 С температурада 2 сағат бойы кептіріледі.

Балқымайтын электродпен қолмен доғалы дәнекерлеу бұйымның ең аз деформациясын және дәнекерленген тігістің жоғары сапасын қамтамасыз ететіндіктен, жұқа қабатты металдан жасалған бұйымдарды дәнекерлеу үшін ең жақсы әдіс болып табылады. Дәнекерлеуді осцилляторларды қолдана отырып, айнымалы токта жүргізеді. Айнымалы токтың көмегімен оксидті пленка бұзылады, бұл бұйым катод болған сәттерде катодтық шашыраумен алынады. Қолмен дәнекерлеуді қоспа металмен де, онсыз да барлық кеңістіктік жағдайларда орындауға болады. Ұзындығы 2,5 мм-ден аспайтын доға қосалқы графитті пластинкада жағылады, содан кейін бұйымға көшіріледі. Электродтың шығыңқы шетінен жанарғы ұштығының төменгі тілігіне дейінгі арақашықтық түйіспелі қосылыстарды дәнекерлеу кезінде 1-

1,5 мм, таңбалы қосылыстарды дәнекерлеу кезінде – 4-8 мм құрауы тиіс. Дәнекерлеуді көлденең тербеліссіз орындайды. Қосымша сым мен негізгі металдың химиялық құрамы жақын болуы тиіс. Аргонның жұмыс қысымы 0,01-0,05 МПа шегінде белгіленеді. Аргонды беру доға қозғанға дейін 3-5 с кейін басталады, ал тоқтату доға үзілгеннен кейін 5-7 с кейін басталады.

Жабық электродтармен доғалық дәнекерлеу (5.2-сурет) қалыңдығы 3 мм асатын металдан жасалған құрылымдарды дайындау кезінде қолданылады. Кемшілігі - дәнекерленген жіктердің ішкі кеуектілігі. Термиялық беріктендірілетін қорытпаларды дәнекерлеу кезінде дәнекерленген қосылыстардың беріктігі негізгі металдың беріктігінен аз. Түйіспелі қияксіксіз жіктер қалыңдығы 5 мм-ге дейінгі металл үшін ұсынылады, үлкен қалыңдықта 600 бұрышта және 1-2 мм-ге дейін нығыздалып өңделеді. Қосылатын бөлшектердің жиектері дәнекерлеу алдында қол немесе механикалық сым қылшақтарының көмегімен тазартылады, содан кейін майсыздандырылады. Жиектердің ең таза беті химиялық тазалау кезінде алынады. Қалыңдығы 4 мм – ге дейінгі бұйымды қыздырусыз, қалыңдығы 5-6 мм – тігіс бастауын 100^0 С-қа дейін қыздырумен, қалыңдығы 8-10 мм-160-200^0 С-қа дейін қыздырумен пісіреді, қалыңдығы үлкен болған кезде қыздыру температурасы одан да жоғары болуы тиіс. Дәнекерлеуді диаметрі 4-8 мм электродтар көлденең тербеліссіз тез қозғалғанда кері полярлықтың тұрақты тогында жүргізеді. Кратерді дәнекерлеу аяғында балқыту үшін доғаны біртіндеп жабу керек.

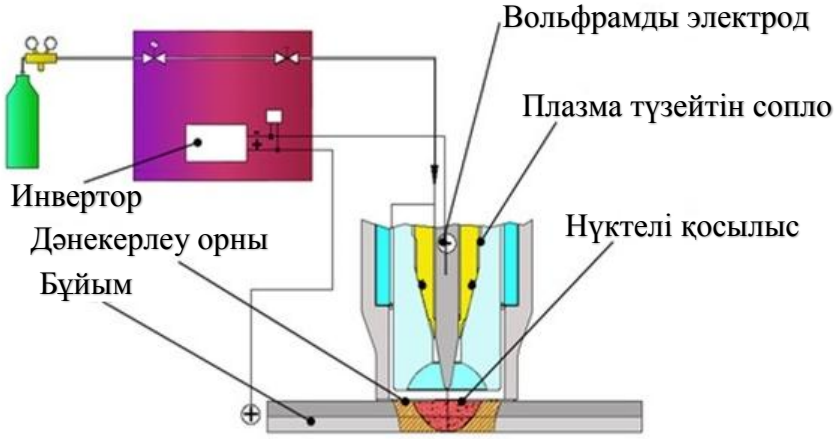


5.2-сурет. Электродтармен доғалық дәнекерлеу

Көмір электродымен пісіру шағын көлемді кездейсоқ жұмыс істегенде және жұқа қабатты алюминийді көмкергенде қолданылады. Пісірудің бұл жолы негізгі металға тең берік тығыз тігістерді алуға мүмкіндік береді. Дәнекерлеуге арналған бұйымдар электродтармен дәнекерлеуге арналған сияқты дайындалады. Дәнекерлеу тікелей полярлықтың тұрақты тогында тек төменгі жағдайда ғана жүргізіледі. Қосымша материалдар АО электродты сымы, А1 немесе АК қорытпасынан жасалған шыбықшалар болып табылады.

Дәнекерлеуді тігістің кері жағын қалыптау арқылы тігінен 10-20^0 электрод көлбеу бұрышында көлденең тербеліссіз орындайды. Электр доғасының шырағы қоспалауыш шыбықшаның соңына бағытталуы, ал доғаның өзі жиектер мен шыбықшалардың балқу жылдамдығына сәйкес өңделу бойымен қозғалуы тиіс. Қалыңдығы 0,8 мм-ге дейінгі бұйымдар қосынды сымсыз жиектерін көмкере отырып, қалыңдығы 0,8 мм-ден жоғары-қосынды сыммен дәнекерленеді. Металл қалыңдығы 2 мм артық болған кезде түйіспелі қосылыстар 0,5-0,7 мм саңылаумен немесе жиектерін өңдей отырып дәнекерленеді. Тотықты пленканы алып тастау үшін арнайы флюс қолданылады, оның шихтасын сумен араластырады, және паста тәрізді күйде флюс дәнекерленетін жиектерге тікелей пісірер алдында қылшақпен жағылады. Флюс қалдықтары мен қожды алюминийді қатты жейді, сондықтан оларды жік бетінен және оған жапсарлас негізгі металдан сумен немесе механикалық тәсілмен шайып мұқият алып тастау керек.

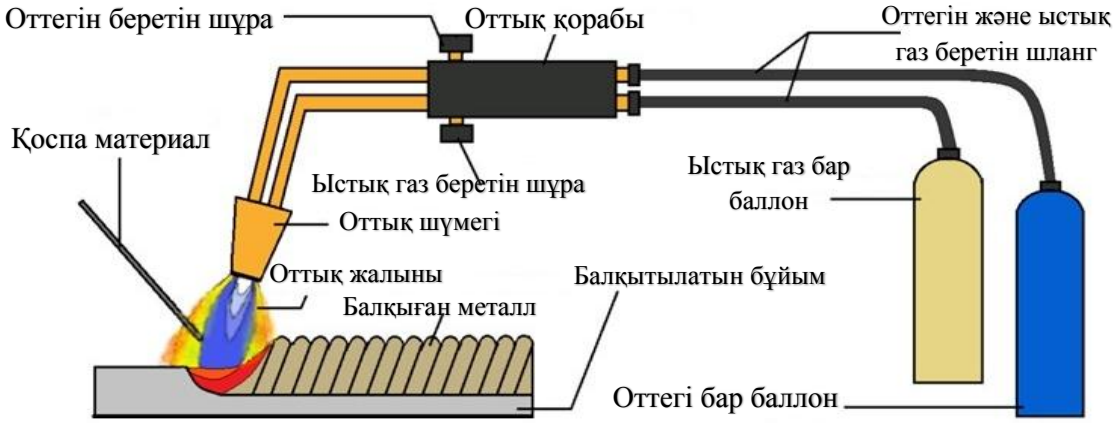
Плазмалық дәнекерлеу (5.3-сурет) жоғары жылдамдық, процесс тұрақтылығы және термиялық әсер ету аймағын едәуір қысқарту арқасында алюминий қорытпаларын біріктіру үшін пісірудің перспективалық тәсілі болып табылады. Алайда плазмалық дәнекерлеу бөлшектерді дәл құрастыру және жанарғыларды қатаң дәнекерленетін жікпен тура жүргізуді талап етеді. Негізінен дәнекерлеу айнымалы токпен жүргізіледі. Кері полярлықтың тұрақты тогында дәнекерлеу үшін вольфрам электродын мәжбүрлеп салқындататын арнайы күшейтілген жанарғылар қажет. Микроплазмалық дәнекерлеу кезінде қалыңдығы 0,2-1,5 мм алюминий қорытпаларын ток күші 10-100 А болған кезде диаметрі 0,8-1,5 мм лантандалған электродтарды қолдана отырып пісіруге болады.



5.3-сурет. Плазмалық дәнекерлеу

Газды дәнекерлеу (5.4-сурет) қалыпты жалынмен орындалады. Оттегі мен жанғыш газдың артық болуына жол берілмейді, өйткені еркін оттегі алюминийді тотықтыратындықтан, ал жанғыш газдың артық болуы жіктің қатты кеуектілігіне әкеп соғады. Жанарғы жалынының қуаты дәнекерленетін металдың 1 мм қалыңдығынан ацетилен 75 дм^3/сағ есебінен таңдалады.

Дәнекерлеуді жалынның қалпына келтіру аймағы жүргізеді, ядроның соңынан дәнекерленетін бетке дейінгі қашықтық 3-5 мм. Қосылыстардың негізгі түрі 0,5-3 мм саңылауы бар түйіспелі болып табылады, бұл 0,5-5 мм металдың қалыңдығына сәйкес келеді. 5 мм-ге дейінгі қалыңдықтарда жиектердің қиғаштарын жасалмайды, 12 мм-ге дейінгі қалыңдықтарда V-тәрізді өңдеуді, ал 12 мм-ден жоғары-Х тәрізді өңдеуді қолданады. Жиектер мен қоспалы сымдарды тазалағаннан кейін оларды сілтілі ерітіндіде, содан кейін суда жуады. Содан кейін жиектер мен сым ортофосфор немесе азот қышқылының ерітіндісінде 2 минут бойы өңделеді. Өңдегеннен кейін оларды ыстық суда, содан кейін суық суда жуады және шүберекпен сүртеді. Тотықты пленканы бұзуды жеңілдету және дәнекерлеу ваннасынан тотықтарды жою үшін сілтілі және сілтілі жер элементтерінен, хлорлы қосылыстардың жеңіл балқитын қоспаларынан және фторлы қосылыстардың аз мөлшерде флюстерді қолданады. Оларды ұнтақ немесе паста түрінде жиектерге немесе қыздырылған дәнекерлеу сымына жағады. Ілуді орындау кезінде флюс тек отырғызу металына жағылады. Дәнекерлеуді металдың қалыңдығы 5 мм-ге дейін сол тәсілмен жүргізеді, металдың қалыңдығы 5 мм-ден астам болғанда оң әдісті қолданады. Дәнекерлеудің басында жанарғының мундштугі дәнекерленетін бетке 90^0 бұрышпен, содан кейін металдың қалыңдығына байланысты $20\text{-}45^0$ бұрышпен бөлшектердің қызуына қарай орнатылады. Қосынды сымның еңіс бұрышы барлық процесс кезінде 40-60 С құрайды, қалыңдығы 3 мм дейін бұйымдарды дәнекерлеуді жанарғының көлденең тербелісінсіз, ал үлкен қалыңдықта – көлденең тербеліспен орындайды. 10 мм артық қалыңдықтағы бөлшектерді дәнекерлеу алдында $300\text{-}350^0$ С дейін қыздырады. Пісіру үзіліссіз жүзеге асырылуы тиіс, дәнекерлеу ванналарын жалыннан үзуге жол берілмейді. Табақ бұйымдарын пісіру шетінен 50-100 мм басталады. Қалдырылған учаскелерді кейін кері бағытта пісіреді.



5.4-сурет. Газды дәнекерлеу

Бақылау сұрақтары

1. Мыс және оның қорытпаларын дәнекерлеудің ерекшелігі неде?
2. Мысты дәнекерлеу кезінде қандай әдістер қолданылады?
3. Мыстың әртүрлі қорытпаларын пісіру кезінде қандай әдістер қолданылады?
4. Алюминий және оның қорытпаларын пісірудің ерекшелігі неде?
5. Алюминийді дәнекерлеукезінде қандай әдістер қолданылады?
6. Алюминий қорытпаларын дәнекерлеу кезінде қандай әдістер қолданылады?

5.7. Әртүрлі қалыңдықтағы бөлшектерді дәнекерлеу

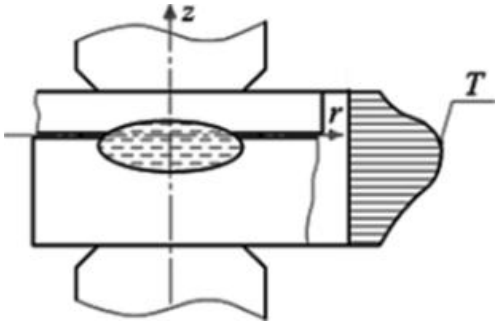
Әртүрлі металдарды бір-бірімен пісіру олардың әртүрлі физикалық және химиялық қасиеттерімен күрделенеді. Балқытылған металды құйма арқылы қарқынды араластыру нәтижесінде жаңа химиялық құрамды металл пайда болады. Егер дәнекерленетін металдарда жылу өткізгіштігі мен электр өткізгіштігі әртүрлі болса, онда құйылған ядро осы сипаттамалардың аз мәндерімен бөлшек жағына араласады. Мұндай жағдайларда электродтың жұмыс бетінің диаметрін өзгерту жолымен және электродтың материалын тиісті жылу өткізгіштігімен және электр өткізгіштігімен таңдай отырып, электродқа жылу беруді реттей отырып симметрияны қалпына келтіруге болады.

Әртүрлі металдардың жақсы дәнекерленуі әрдайым мүмкін бола бермейді, әсіресе олардың қасиеттерінің күрт айырмашылығы кезінде. Әдетте, бір негізде алынған немесе әртүрлі негізі бар, бірақ өзара қатты ерітінділердің үздіксіз қатарын құрайтын (мысалы, АМгб + Д16Т, 1420 -ь Д16, ОТ 4 + ВТ 5, СтЗ + 30ХГСА, сондай-ақ, Nb + Zr, Fe + V, Ti + V, Ti + Zr, Ni + болат және т.б.) қорытпалар химиялық үйлесімді. Көп жағдайларда әртүрлі негіздегі қорытпалар химиялық үйлеспейтін болып табылады, өйткені ядрода жағымсыз қасиеттері бар қорытпалар (сынғыш химиялық қосылыстар, механикалық қоспалар) түзеді. Мысалы, жақын физикалық-механикалық қасиеттері бар алюминий және магний қорытпаларын дәнекерлеу кезінде ядрода сынғыш интерметалдар пайда болады, нәтижесінде дәнекерленген қосылыстар бұзылады. Әртекті болаттардың дәнекерленуін жақсарту үшін кейде бөлшек пен электрод арасындағы байланысқа қосымша жылу көзі болып табылатын және электродқа жылуның кетуін азайтатын болат төсемдерді (экрандарды) енгізу тиімді болады.

Бірдей емес қалыңдықтағы бөлшектерді пісіру іс жүзінде жиі кездеседі. Бұл ретте, қалыңдығы бірдей бөлшектерді дәнекерлеумен салыстырғанда, жұқа бөлшектер жағынан электродқа жылу ағыны күшейтіледі. Түйісу периферияcында бөлшектер арасындағы ток тығыздығы артады. Оның барлығы құйма ядроның үлкен қалыңдықты бөлшегіне бөлшектердің қосылу жазықтығына қатысты ығысуына әкеледі (5.5-сурет). Жұқа бөлшекті еріту азаяды, бұл толық шалапісірілімге әкелуі мүмкін. Бұл болат бөлшектер үшін

1:3 және жоғары электр өткізгіш қорытпалардан жасалған бөлшектер үшін 1:2 артық қалыңдықтарға қатысты көрінеді.

Әркелкі қалыңдықтағы бөлшектерді дәнекерлеу кезінде бөлшектердің қимасы бойынша температураны бөлу 5.5-суретте көрсетілген.

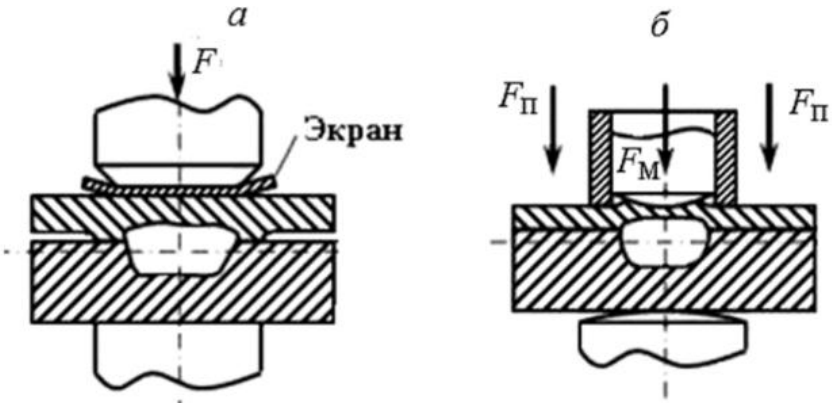


5.5-сурет. Қалыңдығы бірдей емес бөлшектерді дәнекерлеу кезінде бөлшектердің қимасы бойынша температураны бөлу

Құйма ядроның қалыңдығы үлкен бөлшекке ығысуының алдын алу үшін жұқа бөлшекті қыздыру температурасын арттырудың түрлі тәсілдерін қолдануға болады. Мұндай қосылыстарды дәнекерлеу үшін қатаң режим қолданылады. Жұқа бөлшектермен жанасатын электродтың диаметрі аз, ал электродты металл – жылу өткізгіштігі аз болуы тиіс. Нәтижесінде жұқа бөлшектен жылуды электродқа қарай бұру төмендейді. Кейде бөлшектер арасындағы контактідегі ток тығыздығын арттыратын және тұрақтандыратын рельефтерді орындайды.

Құйма ядроның орналасуын тұрақтандыруға жұқа бөлшектер мен электродтар арасында жылу экрандарын қолдану ықпал етеді (5.6, а-сурет). Олар электродқа жылуды бұру жолында бөгет болады. Экранның қалыңдығы мен металлын өзгерте отырып, балқу аймағын қажетті шектерде жылжытуға болады. Әдетте аз қалыңдықтағы жылу өткізгіш металдан жасалған (0,05-0,15 мм) ауыспалы экрандар пайдаланылады. Бұл металл негізгі металмен дәнекерленбеуі керек. Электрод айналасында жұқа бөлшекті қосымша сақиналы қысумен дәнекерлеуді жиі қолданады (5.6, б-сурет). Тығыздаушы белбеуді қысу термодеформациялық процестердің өту сипатын өзгертеді, түйіспелі кедергілердің мәндері төмендейді, жұқа бөлшектегі ток тығыздығы артады. Қарапайым дәнекерлеумен салыстырғанда орталық (дәнекерлеу) күштің күрт қысқаруы жолымен жұмсақ режимдерде дәнекерлеу кезінде жылуды жұқа бөлшектен электродқа бұру айтарлықтай төмендейді. Арнайы электродты құрылғымен FCB қысудың жалпы күші екі күшке бөлінеді: орталық және FN, нүктенің шеткі бөлігін қысатын. Бұл әдіс толығымен ыршықты болдырмайды және қатты және жұмсақ режимдерде дәнекерлеу кезінде қолданылады. Ол сондай-ақ азпластикалық материалдарды дәнекерлеу кезінде қолданылады.

Әр түрлі қалыңдықтағы бөлшектердің нүктелік қосылуы 5.6-суретте көрсетілген.



5.6-сурет. Түрлі қалыңдықтағы бөлшектерді нүктелі қосу:
а-экран көмегімен; б F-периферияльық аймақты қосымша реттелетін қысу, Fs

Қорғаныш жабыны бар материалдарды дәнекерлеу таңбалыап-дәнекерлеу құрылымдарда кеңінен қолданылады. Жабу үшін мырыш, қорғасын, қалайы, алюминий, хром және т. б. қолданылады. Жабынды дәнекерлеу орнында түйіспелі және жалпы кедергіні өзгертеді, демек, қыздыру шарттары да өзгереді. Егер жабылмаған болаттарды дәнекерлеу кезінде қысқа мерзімді құлдыраудан кейін кедергі бірнеше өссе және ядроның балқу сәтінде максимумға жетсе, онда салыстырмалы түрде жеңіл балқитын жабыны бар металды дәнекерлеу кезінде максималды кедергі кейінірек белгіленеді және аз мәнге ие болады. Бұл электрод-бөлшек, әсіресе, бөлшек-бөлшек байланысы алаңының үлкен өлшемімен түсіндіріледі. Мұндай материалдарды дәнекерлеу үшін дәнекерлеу режимінің параметрлерін тиісінше өзгерту қажет.

Дәнекерленетін бөлшектердің бетін коррозияға қарсы қасиеттер беру үшін жиі металл емес жабындар қолданылады: қорғаныш лактар, металл ұнтағы бар лактардың қоспалары, электр тұндыру әдісімен алынған фосфатты жабындар және әртүрлі желімдер. Мұндай типті жабындар электр тогын нашар жүргізеді немесе диэлектриктер болып табылады, сондықтан олар дәнекерлеу кезінде күштің әсерінен байланыс орнынан шығарылуы тиіс. Металл контактіні қамтамасыз ету үшін оларды сығу жабынның тұтқырлығына, беттің кедір-бұдырлығына және қысу күшінің өсу жылдамдығына байланысты. Осы жабындарды алдын ала жағу кезінде дәнекерлеуді олардың тұтқырлығы жеткілікті төмен болған кезде орындайды. Толтырғыш ретінде металл ұнтақтарды (мырыш немесе алюминий) қолданған кезде жабынның төмен тұтқырлығы кезінде металл контактіні жасауға болады. Жабынды жақсы сығу үшін дәнекерлеу күшін 10-20%-ға ұлғайтады және токты 10-15%-ға төмендетеді. Жабынды дәнекерлеу кезінде олардың ішінара булануы жүргізіледі, сондықтан жергілікті сору және жалпы желдетуді күшейту қажет.

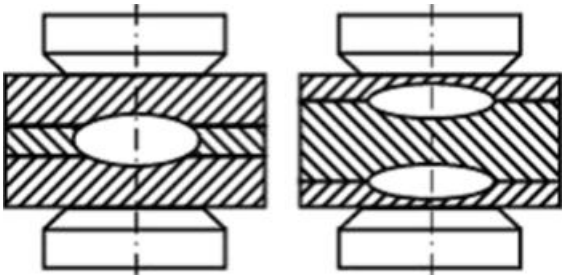
Таңбалау-дәнекерлеуші құрылымдарда желімдеп дәнекерлеу қосылыстары да қолданылады. Желім бір мезгілде коррозияға қарсы қасиеттерді арттырады, нүктелі қосылыстарға герметикалықты береді және

олардың беріктігін, әсіресе динамикалық жүктеме кезінде айтарлықтай арттырады. Дәнекерлеуді желім үстімен ол полимерленгенге дейін орындайды. Электродтармен қысылған кезде желім дәнекерлеу орнынан сығылады. Желімді арнайы шприцпен пісіргеннен кейін де қолдануға болады. Капиллярлы күштердің әсерінен жабын саңылауға енеді және оны берік бітейді.

Қалыңдығы аз бөлшектерді пісіру (0,01-0,6 мм) аз қысу күшімен және дәнекерлеу импульсінің салыстырмалы аз ұзақтығымен сипатталады. Қалыңдықтың азаюымен қысу күші төмендейді, ал түйіспелі кедергілер өседі, сондықтан процестің бөлшек беті жағдайына сезімталдығы артады. Электродтардың тұрақтылығы айтарлықтай төмендейді. Нүктелі дәнекерлеу қатаң режимдерде жүргізіледі. Электродтардың жұмыс беті сфералы.

Үлкен қалыңдықтағы (10 мм астам) бөлшектерді пісіру бөлшектердің едәуір қаттылығымен, электродтардың төмен тұрақтылығымен дәнекерлеу импульсінің үлкен ұзақтығымен қиындайды. Пісіру үшін қуатты үш фазалы машиналар қолданылады. Дәнекерлеу циклдары қысу мен соғу күшін арттыра отырып және қыздыру импульстерінің алдыңғы бағытынының модуляциясымен қолданылады. Электродтардың қыздыру температурасын төмендету үшін олардың беріктігін арттыру мақсатында көп импульсті дәнекерлеуді қолданады. Үзіліс кезінде электродтар олардың материалының жоғары жылу өткізгіштігінің салдарынан қарқынды салқындатылады.

Үш және одан да көп бөліктен тұратын пакетті дәнекерлеу. Пакетті дәнекерлеу кезінде қалыңдық арақатынасына қарамастан барлық бөлшектерді балқытуды қамтамасыз ететін құйма ядросы болуы қажет (5.7 сурет). Дәнекерлеудің қатты режимдері қолданылады. Режим параметрлерін электродтармен жанасатын қалыңдықта таңдайды. 1:3 қалыңдық арақатынасы шегінде дәнекерлеу сапасы өте қанағаттанарлық болып шығады, алайда тұрақты нәтижелер беттің жақсы дайындығымен және ең аз саңылаулармен құрастырумен анықталады.



5.7-сурет. Үш бөлшектен тұратын пакетті біріктіру

Бақылау сұрақтары

1. Әртүрлі материалдардың бір-бірімен дәнекерленуі неліктен қиындатылады?

2. Әртүрлі қалыңдықтағы металлдарды дәнекерлеу қиындығы неде?

3. Әртүрлі қалыңдықтағы металлдарды дәнекерлеудің қандай тәсілдері бар?

4. Дәнкерленетін бөлшектердің бетіне тоттануға қарсы қасиет беру үшін не қолданылады?

5. Нүктелі дәнекерлеудің мәні неде ?

Тест тапсырмалары

1. *Дәнекерлеу құрылымында қолданылатын жіктер:*

а. бұрыш, таврлық, айқас, тігіс

ә. бұрыш, таврлық, нүкте

б. тігіс, бұрыш, таврлық, айқас, соңы

д. бұрыш, нүкте, тігіс

2. *Дәнекерлеу трансформаторының негізгі бөліктерін ата*

а. қаңқа, магниттік тізбек, якорь, орама

ә. қаңқа, магниттік тізбек, 1 және 2 орама, терминалдар, ток реттегіші, көлік құралы

б. қаңқа, статор, якорь, щеткалар, реостат, терминалдар, көлік құралдары

3. *Қоршаған ортаның оң температурасында құбыр жігін еденде дәнекерлеу кезінде бөлшектерді қыздыру режиміне қойылатын талапты көрсет*

а. қажеттілік пен жылыту режімі дәнекерленген болаттың маркасы және құбыр қабырғасының қалыңдығына байланысты анықталады

ә. жылыту құбыр қабырғасының қалыңдығын ескере отырып жүзеге асырылады

б. қыздыру дәнекерленген болаттың маркасын ескере отырып жүзеге асырылады

4. Қабырғасының қалыңдығы 10 мм-ден асатын 15Х1М1F маркалы ыстыққа төзімді болаттан жасалған дәнекерленген құбыр қыздыру температурасын көрсет.

а. 150 ... 200 С

ә. 200 ... 250 С

б. 300 ... 350 С

5. *Жоғары қысымды бу құбыры қосылысын дәнекерлеуді жүзеге асыратын дәнекерлеушіге қойылатын талап:*

а. дәнекерлеуді осы буынды дәнекерлеу үшін бекітілген сертификатталған дәнекерлеуші жүргізуі керек

ә. дәнекерлеуді сертификатталған дәнекерлеуші орындауы керек

б. дәнекерлеуді қажетті біліктілігі мен жүзелік тәжірибесі бар сертификатталмаған дәнекерлеуші орындай алады

6. Дәнекерлеу үшін жиналған құбыр қосылысының қандай көрсеткіші дәнекерлеу алдында тексерілуі керек:

а. байлам саны тексеріледі

ә. тазарту мәні, жиектің жылжуы, қорғаныс жабын өсінің сынуы тексеріледі (егер қажет болса)

б. тартқыштың сапасы тексеріледі

7. Аталған ұйымда бірінші ретжұмысқа кіріскен және куәлігі жоқ дәнекерлеушіге қазан құбырын және құбыр өткізгішті дәнекерлеуде қойылатын талап:

а. тексерілетін жіктерді дәнекерлеу жолымен тексеруден өтеді

ә. дәнекерлеуге рұқсат беру туралы куәліктегі жазба тексеріледі

б. арнайы тексерулер жүргізілмейді

8. Диаметрі 219 мм дейінгі тік бекітілген түйіспелі құбырларды қай бағытта дәнекерлейді

а. төменнен жоғарыға, жіктің басқы жағынан бастап

ә. төменнен жоғарыға кері қадаммен, буын төбесінен бастап

б. төртіншіден бастап төменнен жоғары

9. МП-3 типті электроды бар құрылымдар мен құбырды дәнекерлеу кезінде рұқсат етілген ток түрі:

а. тұрақты

ә. айнымалы

б. тұрақты немесе айнымалы

10. «Тар» кесу арқылы құбырдың жалғанған жігінің бөлшектері жиегінің көлбеу бұрышын көрсет:

а. 5 градусқа дейін

ә. 6-8 градус.

б. 12 градустан аспайды.

Қорытынды

Оқу құралы 0901000 – «Электр станциялары мен желілерінің электр жабдықтары (түрлері бойынша)» мамандығы бойынша ТжКБ жүйесіне арналған өзектілендірілген типтік оқу жоспарлары мен бағдарламалары негізінде авторлардың ұжымымен әзірленген.

Оқу құралы 0901022 – «Электр станцияларының электр жабдықтарын жөндеу бойынша электр слесарі», 0901032 – «Күштік желілер және электр жабдықтары бойынша электр монтаждаушы», 0901043 – «Техник-электрик» біліктіліктіліктері бойынша КМ02 «Электр сұлбаларының электр жабдықтары функцияларын талдау және тексеру» кәсіби модулін меңгеру нәтижесінде білім алушылардың кәсіби қызметті орындауға дайындығын, құзыреттіліктердің қалыптасу деңгейін бағалауға арналған.

Кәсіби модуль оқыту нәтижелері мен бағалау критерийлері ескерілген келесі пәндерден тұрады: «Электртехниканың теориялық негіздері», «Электр машиналары мен трансформаторлары», «Электр станциялары мен қосалқы станциялардың электр жабдықтары».

Оқу құралында электр машиналары мен трансформаторлардың қызметін тексерудің және олардың электр сұлбаларын талдаудың жалпы мәселелері қарастырылған.

Кәсіптік модульді оқу нәтижесінде студенттер меңгереді:

- электр және магнит тізбектерінің заңдарын;
- тұрақты және айнымалы ток тізбектерін талдау әдістерін;
- желілі және желілі емес электр тізбектерін есептеу әдістерін;
- электр машиналарының мақсатын, жіктелуін, қолданылу саласын, құрылымын және жұмыс істеу принципін;
- электр машиналарының негізгі пайдалану көрсеткіштерін;
- кернеу шығыны бойынша электр желілерін есептеу әдістемесі;
- жерге қосу құрылғыларын есептеу әдістемесін және оларды орындауды.

Оқу құралын пайдалану күрделі, ғылымды қажет ететін техник-электрик мамандығын жүйелі, кәсіптік оқытуды қалпына келтіруге және дамытуға ықпал етеді.

Белгілер мен қысқартулар тізімі

АҚ	Акционерлік қоғам
АЭС	Атом электр станциясы
ӘЖ	Әуе желісі
БЖ	Бос жүріс
в.а.с.	вольт-амперлік сипаттама
ГАЭС	Гидроаккумуляциялық электр станциясы
ГТ	Гидрогенератор
ГТЭС	Газтурбинная электр станциясы
ЖелЭС	Жел электр станциясы
ЖШС	Жауапкершілігі шектеулі серіктестік
ЖЭО	Жылу (Жылыту) электр орталығы
ЖЭС	Жылу электр станциясы
КМ	Кәсіптік модуль
КС	Кешенді сандар
КТӘ	Контурлық токтар әдісі
КЭС	Конденсациялық электр станциясы
ҚР БЭЖ	Қазақстан Республикасының Бірыңғай электр энергетикалық жүйесі
ҚР ІІМ	Қазақстан Республикасы Ішкі істер министрі
ҚТ	Қысқа тұйықталу
МАЭС	Мемлекеттік аудандық электр станциясы
МемСТ	Мемлекеттік стандарт
ПӘК	Пайдалы әсер коэффициенті
СГ	Синхронды генератор
СИ	Халықаралық бірліктер жүйесі
СЭС	Су электр станциясы
ТГ	Турбогенератор
ЭБЖ	Электр беру желісі
ЭҚ	Электр қабылдағыштар
ЭҚК	Электрқозғаушы күші
ЭС	Электр станциясы

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии - М.: Физматлит, 2012. - 256 с.
2. Барсов И.Н. Теоретические основы электротехники. Москва - Энергоатомиздат. 1992. - 320с.
3. Бессонов Л.А. Электрические цепи. - 10-е изд. - М.: Гардарики, 2002.
4. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
5. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: учебное пособие. – Архангельск: САФУ имени М.В. Ломоносова, 2015. – 120 с.
6. Кацман М.М. Электрические машины. - М.: 2005.
7. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. - М.: КноРус, 2013. - 368с.
8. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники. ИД «Форум». 2009. 320 с.
9. Приказ Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 9 июня 2014 года № 276. Обучение работников организаций и требования к содержанию учебных программ по обучению мерам пожарной безопасности.
10. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций - 4-е изд., стер. М.: Академия, 2007. - 448 с.
11. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоиздат, 2001.
12. Рыбаков В.М. Сварка и резка металлов. - Москва: Высшая школа, 1979 - с.214 .
13. Федосов С.А., Оськин И.Э. Основы технологии сварки. - Издательство: Машиностроение, 2011.
14. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. - М.: Лань, 2012. - 480с.
15. Чернышова Г.Г., Шашина Д.М. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2013. - 464 с.
16. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. - М.: Форум, 2012. - 496с.
17. https://www.kegoc.kz/ru/elektroenergetika/elektroenergetika-kazahstana-klyuchevye-fakty