Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министірлігі

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

В. Н. Сажин, Н.А. Генбач, У.М. Матаев

ЭЛЕКТР ТОРАПТАРЫ ЖӘНЕ ЖҮЙЕЛЕРІ

Оқу құралы

Алматы
АЭжБУ
2015

ӘОЖ 537:1(075.8)
КБЖ 31.211я73
М 29

Пікір берушілер:
техника ғылымдарының докторы, ғылыми зерттеу институты бастығының орынбасары
Р.А. Омаров,
техника ғылымының кандидаты, ҚазҰАУ, «ЭҮжА» кафедрасының доценті
Е.К. Умбеткулов,
химия ғылымының кандидаты, АЭжБУ «Электротехниканың теориялық негіздері» кафедрасының доценті
Е.Ғ. Надиров
Алматы энергетика және байланыс университетінің Ғылыми кеңесі басуға ұсынды (17.03.2015 ж. №9 хаттама). АЭжБУ 2015 ж. ведомостік әдебиеттер басылымдарын шығарудың тақырыптық жоспары
Бойынша басылады, реті 7.

Матаев У.М., Сажин В.Н., Генбач Н.А.
М 29 Электр тораптары және жүйелері. Оқу құралы (жоғарғы оқу орындарының «Электр энергетикасы», «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» мамандықтарының студенттеріне және магистранттарына арналған) / В.Н. Сажин, Н.А. Генбач., У.М. Матаев – Алматы: АЭжБУ, 2015. – 84б.: без.-62, әдеб. көрсеткіші – 6 атау.

ISBN 978-601-7436-63-6

Ұсынылып отырған оқу құралында Электр жүйелері және электр тораптары туралы жалпы ұғымдар беріледі. Ауа және кабель желілерінің қиыстырмалары қарастырылған. Электр торабы элементтерінің сипаттамалары және параметрлері суреттелген. Тұйықталмаған және қарапайым тұйықталған электр тораптарының жұмыс режімдерінің есептері берілген.

Оқу құралы «Электр энергетикасы» мамандығы бойынша оқитын студенттер мен магистранттарға арналған.

ӘОЖ 537:1(075.8)
КБЖ 31.211я73

ISBN 978-601-7436-63-6

© АЭжБУ
СажинВ.Н.,
Генбач Н.А.,
Матаев У.М., 2015

Кіріспе

Электр энергиясы энергияның ең әмбебап түрі болып табылады. Ол өте қарапайым және тиімді энергияның басқа түрлеріне – жылу, механикалық, жарық және т.б. түрленуі мүмкін. Электр энергиясы автоматика, электроника және т.б. құрылғыларында едәуір қолданыс табады, оларсыз осы кездегі аппараттар және техникалық құрылымдар мүмкін емес. Сондықтан осы кезде электр энергиясы біздің республиканың шаруашылық тіршілігінің барлық салаларында кеңінен пайдаланылады.

Энергетикалық теңгерімді құрастыру, бөлек аудандардың даму перспективаларын және шикізат ресурстарын анықтау, электрстанциялардың қуаты және орналасуын таңдау, ірі энергия сыйымды кәсіпорындарды орналастыру, энергия жүйелерін біріктіру мәселелері электр тораптарын ескермей шешілуі мүмкін емес. Мұнда электрстанциялардың, электр тораптарының және т.б. ең тиімді параметрлерін бөлек таңдауға болмайды. Бұл мәселелерді бар энергетикалық ресурстарды ең тиімді және оңтайлы пайдалануды қамтамасыз етіп, өзара әсерді ескеріп, кешенді түрде шешу керек. Тек осыдан кейін электр жүйелерінің бөлек элементтерінің: электрстанциялардың, әртүрлі кернеудегі электр тораптарының, қорғаныс және автоматика құрылғыларының және т.б. жұмыстық жобалауын жүргізуге болады.

Электрберіліс желілері және электрстанциялар және қосалқы станциялар жабдығы олардың жұмыс атқару кезінде әртүрлі әрекеттердің әсерінен, мысалы атмосфералықтан, зақымдалуы мүмкін. Нәтижесінде тұтынушылардың электрмен жабдықталуы бұзылуы мүмкін. Электрстанцияларды қатарлас жұмысқа біріктіргенде осы желілермен жеткізілетін қуаттардың шектеулі мәндерін ескеру керек. Шектеулі мәндерден асқан жағдайда электрстанциялардың қатарлас жұмысының орнықтылығы бұзылуы мүмкін, бұл тұтынушылардың электрмен жабдықталуының бұзылуына алып келеді.

Сонымен, электр тораптарының жұмыс шарттарымен электр жүйелері және соның ішінде электрстанцияларға кіретін барлық нысандардың жұмыс шарттары байланысты. Тораптардың жұмыс шарттарымен барлық қорғаныс және автоматика құрылғыларына, және найзағайдан қорғаныс пен коммутациялық асқын кернеулерден қорғаныс құрылғыларына қойылатын талаптар анықталады.

1 Электрэнергетикалық жүйелер және электр тораптары туралы жалпы ұғымдар

1.1 Электр торабы электрэнергетикалық жүйенің бір бөлігі есебінде

Электрэнергетикалық, немесе *электр жүйесі* деп, әдетте энергетикалық жүйенің электрлік бөлігін түсінеді. Мұнда *энергетикалық жүйе* деп энергияның барлық түрлерін алу, түрлендіру, тарату және пайдалану тізбегінің барлық буындарының жиынтығын түсінеді. Сонымен, энергетикалық жүйе энергия ресурстарының көздерінен, қазандардан, турбиналардан, генераторлардан, бойлерлерден, электрберіліс желілерінен, трансформаторлардан және электрэнергияның тұтынушыларынан тұрады.

Электрэнергетикалық жүйе тек қана электрэнергиясын өндіреді, түрлендіреді, таратады және тұтынады. Электрстанцияларды өзара біріктіреді, олар электрберіліс желілерінің көмегімен электрэнергия тұтынушыларымен байланысады. Мұнда маңызды техникалық - экономикалық құндылықтар пайда болады:

- генераторлардың және электрстанциялардың бірлік қуатын көбейту мүмкіндігі. Бұл орнатылған қуаттың 1 кВт құнын төмендетеді;
- тұтынушылардың электрмен жабдықтау сенімділігінің едәуір өсуі;
- электрстанциялардың әртүрлі типтерінің жұмыс тиімділігінің өсуі. Мұнда ГЭС қуатын ең тиімді пайдалану және ЖЭС жұмысының ең тиімді режимдері қамтамасыз етіледі;
- электрстанцияларда қажетті резервтік қуаттың төмендеуі.

Электр тораптары – бұл электрэнергияны жеткізу және таратуға арналған электрэнергетикалық жүйенің элементтері. Олар электрберіліс желілерінен, қосалқы станциялардан, таратушы және ауыстырып қосқыш бекеттерден тұрады.

1.2 Электр тораптарын жіктеу

Электр тораптарын көрсеткіштердің бір қатарымен жіктеу тиімді, олардың негізгілері: қиыстырмалық жасалынуы, токтың тегі, номиналды кернеу, тораптың арналымы, торап сұлбасының түрі.

Қиыстырмалық жасалынуы бойынша ауа, кабель желілерін және ішкі тартылымдарды айырады. Ауа желісі деп тіректерде жердің үстінде оқшаулағыштардың көмегімен ілінген оқшауланбаған сымдармен жасалған желіні айтады.

Кабель деп өзара және қоршаған ортадан оқшауланған сымдардың жүйесін айтады. Кабельмен жасалған желілер, немесе кабель желілері, әдетте жердің астында төселеді. Бұның өз құндылықтары – қауіпсіздік, желіге бөлінетін аймақтың қысқаруы, сонымен қатар кемшіліктері де – үлкен құны, эксплуатация және зақымдарды жою қиындылықтары, жасау күрделілігі бар.

Ішкі тартылымдар ғимараттардың қабырғалары және төбесімен немесе қабырғалардың ішімен оқшаулағыштарда немесе құбырларда сонымен қатар арнаулы шина сымдарымен төселетін оқшауланған сымдармен жасалады.

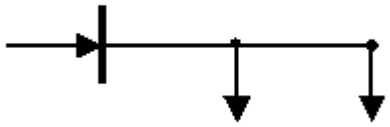
Ток тегі бойынша айнымалы және тұрақты ток тораптарын айырады. Айнымалы токтың негізгі тораптары үшфазалық болып жасалынады.

Тұрақты ток тораптары қазіргі уақытта салыстырмалы сирек жасалынады, өндірістік кәсіпорындардың тораптары үшін (мысалы, электролиз цехтарында, алюминий зауыттарында).

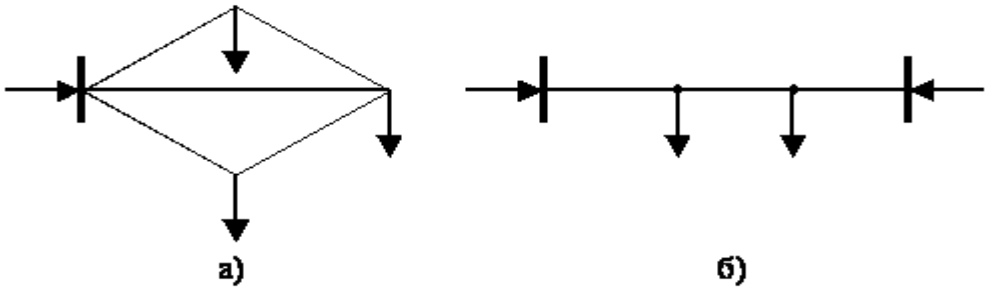
Кернеу бойынша электр тораптарын төменгі вольттікке (1000 В дейін) және жоғары вольттікке (1000 В жоғары) бөлуге болады.

Арналымы бойынша тораптар қоректендірушіге және таратушыға бөлінеді. Қоректендіруші желі деп таратушы бекетті немесе қосалқы станцияны қорек орталығынан электрэнергияны оның ұзындығы бойынша таратпай қоректендіретін желіні айтады. Таратушы желіге трансформаторлық қосалқы станциялардың қатарын немесе тұтынушылар электрқондырғыларының кірмелерін қоректендіретін желіні жатқызады.

Сұлбасының *түрі* бойынша тораптар тұйықталмаған және тұйықталғанға айырылады. Тұйықталмаған тораптарға жүктемелері электрэнергияны тек бір жақтан алатын желілерді жатқызады (1.1 сурет). Тұйықталған тораптар деп электрмен жабдықтауды кемінде екі жақтан жүргізуге болатын тораптарды айтады (1.2 а, б сурет).



1.1 сурет



1.2 сурет

1.3 Электр тораптарына қойылатын талаптар

Электр тораптары тұтынушылардың сенімді электрмен жабдықталуын және электрэнергияның талап етілген санын қамтамасыз ету керек. Мұнда тораптардың жұмысы ең үлкен үнемділік талаптарына сәйкес болу керек.

Бұның жобалау шарттарына да, эксплуатация шарттарына да қатынасы бар. Тораптарға байланысты бес негізгі талапты айтуға болады:

Жұмыс сенімділігі. Тұтынушылардың электрмен жабдықталуының сенімділігі туралы мәселенің пайда болуы іс жүзінде тораптың барлық элементтерінің уақыт өткен сайын зақымдалуымен байланысты. Зақымдар найзағай әсері өскенде, күшейген жел әсерлерінде, ауыр көк мұз түзілулерінде және т.б. пайда болуы мүмкін. Электрмен жабдықтау сенімділігінің көтерілуі тораптың зақымдалуы және оның элементтерінің резервтелуімен ғана емес, экономикалық тұрғыдан өзін ақтайтын басқа да тәсілдермен қамтамасыз етілуі мүмкін. Сенімді электрмен жабдықтауды іске асыру үшін, резервтеуден басқа, релелік қорғаныс және автоматиканың сенімді әсер жасайтын құрылғылары: АҚҚ (АПВ) – автоматты қайта қосу, РАҚ (АВР) – резервті автоматты қосу, АЖЖА (АЧР) – автоматты жиілікті жүктемені азайту және т.б. қажет.

Электрэнергияның сапасы. Әрбір тұтынушы сапалы электрэнергияны алу керек. Бұл энергия сапасының негізгі көрсеткіштерімен анықталады: кернеу деңгейімен; жиілік деңгейімен; үшфазалық кернеудің симметриясымен және кернеу қисығының формасымен.

Электрқабылдағыштар саны үлкен осы кездегі ұзақ электр тораптарындағы электрэнергияның сапасы торап жұмысының көп жағдайларынан тәуелді. Ол тораптың әртүрлі орындарында іс жүзінде әртүрлі болады, бірақ арнаулы құралдар қолданылса реттелуі мүмкін.

Үнемділік. Торап үнемді болу үшін торап сұлбаларының тиімді түрлерін, кернеулерін, сымдардың қималарын және т.б. таңдау керек. Сондықтан бірнеше нұсқалар белгіленеді, олар өзара «келтірілген шығындар» деп аталатын орнатылған критерий бойынша салыстырылады. Бұл критерий энергия шығындарын, күрделі қаржыларды және ысырапты ескереді. Келтірілген шығындары минималды нұсқа оңтайлы болып табылады.

Эксплуатацияның қауіпсіздігі және ыңғайлылығы. Персоналдың қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін Техникалық эксплуатация ережелеріне ТЭЕ (ПТЭ) сәйкес жерлендірулер, қоршаулар, сигнализация, арнаулы киім және басқа саймандар қолданылады.

Қауіпсіздікті қамтамасыз етуден басқа, эксплуатация ыңғайлылығы қарастырылу керек: әртүрлі ауыстырып қосулардың, жөнделетін жабдыққа жақындаудың ыңғайлылығы, бақылау жасаудың мүмкіндігі және т.б.

Одан әрі дамудың мүмкіндігі. Электр торабы жүктемелердің көбейуіне және жаңа тұтынушылардың үздіксіз пайда болуына байланысты барлық уақытта даму және қайта құру жағдайында болады. Желілер және трансформаторлық қосалқы станциялар ауыстырылады және қайта құрылады. Торапты түбегейлі қайта құрмай одан әрі кеңейту мүмкіндігі болатындай етіп электр торабын жобалау қажет.

1.4 Электр тораптарын есептеу мәселелері

Электр тораптарын эксплуатациялау процесінде және оларды жобалағанда бір қатар есептерді жасау қажет. Бұл есептердің мақсаттары шешілетін мәселелердің сипатымен анықталады. Бір қатар жағдайларда жұмыс атқарып тұрған торап үшін оның негізгі элементтеріне режим параметрлері анықталады. Мұнда тораптың түйінді нүктелерінде кернеу, желілерде және трансформаторларда токтар және қуаттар анықталады. Осыған ұқсас есептер электр торабын жобалағанда да жасалынады.

Тораптың электрлік сипаттамаларын анықтағанда жасалатын есептер, әдетте *электрлік*, ал механикалық қиыстырмалық сипаттамаларды анықтауға қажеттерді – *механикалық* деп аталады.

Одан да басқа, торап элементтерін қызуға тексеріп, қосымша есептерді жасауға тура келеді. Бұл қысқа тұйықтау токтарының есептері, режимдерді оңтайлау, статикалық және динамикалық орнықтылықты тексеру, және электр торабында пайда болуы мүмкін асқын кернеулердің есептері.

Кез келген типті электр торабының жұмысын зерттегенде тораптарда болатын электр процестерін қарастырып қоймай, барлық электрэнергетикалық жүйедегі процестерді де қамту керек.

Жүйенің (тораптың) кез келген уақыттағы немесе іс жүзінде уақыттың бір аралығындағы жағдайы *жүйенің (тораптың) режимі* деп аталады. Режим режимнің *параметрлері* деп аталатын көрсеткіштермен анықталады. Олардың қатарына жатады: жиілік, жүйе элементтеріндегі активтік және реактивтік қуаттар және тұтынушылардағы және тораптың әртүрлі нүктелеріндегі кернеулер, токтардың және э.қ.к. мен кернеу векторларының ығысу бұрыштарының шамалары.

Электр жүйелері режимдерінің үш негізгі түрлерін айырады:

- қалыпты орныққан режим, оған байланысты электр торабы жобаланады және оның техникалық-экономикалық сипаттамалары анықталады;
- тораптың бір немесе бір қатар элементтері апатты ағытылғаннан кейін пайда болатын апаттан кейінгі орныққан режим (бұл режимде жүйе және соған сәйкес торап біршама нашарлаған техникалық-экономикалық сипаттамалармен жұмыс істеуі мүмкін);
- өтпелі режим, оның тұсында жүйе бір жағдайдан басқаға көшеді.

2 Электр тораптарының қиыстырмасы туралы жалпы мәліметтер

2.1 Электрберіліс ауа желілерінің қиыстырмалық элементтері

Электрберілістің ауа желілері (АЖ) электрэнергияны сымдармен қашықтыққа жеткізуге арналған. Негізгі қиыстырмалық элементтері болатын сымдар, найзағайдан қорғайтын тростар, тіректер, оқшаулағыштар және

желілік арматура. *Сымдар* электрэнергияны жеткізуге арналған. АЖ найзағайдың асқын кернеулерінен қорғау үшін тіректердің жоғары жағында сымдардың үстінде найзағайдан қорғайтын тростарды монтаждайды.

Тіректер сымдар мен тростарды жер мен судың деңгейінен белгілі биіктікте ұстайды. *Оқшаулағыштар* сымды тіректен оқшаулауға арналған. *Желілік арматура* сымды оқшаулағыштарға және оқшаулағыштарды тіректерге бекітуге арналған.

Бір – және екітізбекті АЖ ең көп тараған. Үшфазалық АЖ бір тізбегі әртүрлі фазалардың сымдарынан тұрады. Екі тізбек бір тіректе орналасуы мүмкін.

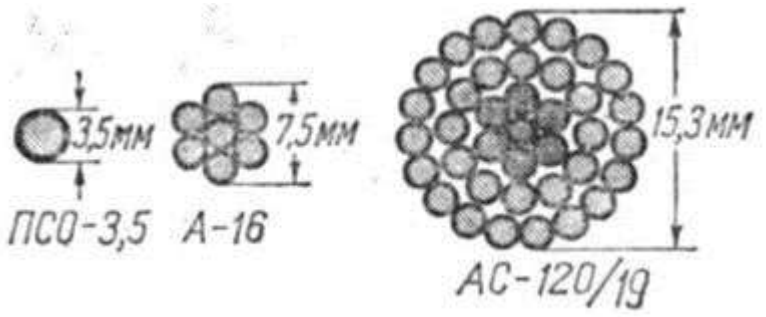
2.1.1 АЖ сымдары және найзағайдан қорғайтын тростар.

Ауа желілерінде оқшауланбаған сымдар қолданылады. Ең көп тарағандар алюминий, болаталюминий сымдары, сонымен қатар алюминий қорытпаларынан – АН, АЖ. Найзағайдан қорғайтын тростар, әдетте, болаттан жасалынады. АЖ найзағайдың асқын кернеулерінен қорғаудан басқа тростар байланыстың жоғары жиілікті арналарын ұйымдастыру үшін пайдаланылады. Мұндай тростар болаталюминийден жасалынады.

2.1 суретінде АЖ сымдарының қиыстырмалары берілген. Бірсымды өткізгіш бір жұмыр сымнан тұрады. Мұндай сымдар көпсымдыдан арзан, бірақ олардың механикалық беріктілігі аз. Бір металдан жасалған көпсымды өткізгіштер (2.1, б сурет) бірнеше өзара оралған сымдардан тұрады. Қима көбейгенде сымдардың саны өседі. Екі металдан тұратын көпсымды өткізгіштерде – болаталюминий сымдарында (2.1, в сурет) – ішкі сымдар (сымның өзекшесі) болаттан, ал сыртқысы алюминийден жасалынады.

Болат өзекше механикалық беріктілікті көбейтуге арналған. Алюминий сымның ток өткізетін бөлігі болады.

Алюминий бірсымды өткізгіштер олардың төменгі беріктілігіне байланысты жалпы шығарылмайды. Көпсымды алюминий өткізгіштері әдетте евые 35 кВ дейінгі таратушы тораптарда қолданылады, ал кернеуі одан жоғарылау тораптарда болаталюминий сымдары қолданылады. Алюминий сымдарының А және АКП маркалары шығарылады.



а) б) в)

2.1 сурет - Ауа желілері сымдарының қиыстырмалары

Болаталюминий сымдары кеңінен АЖ қолданылады. Болат өзекшенің өткізгіштігі ескерілмейді, ал электр кедергісіне алюминий бөлігінің кедергісі қабылданады. Болаталюминий сымдарының АС, АСКС, АСКП, АСК маркалары шығарылады.

Сым маркасының белгілеуіне сымның алюминий бөлігінің қимасы және болат өзекшенің қимасы ендіріледі, мысалы АС 120/19 немесе АСКС 150/34.

2.1.2 АЖ тіректері.

АЖ тіректері анкерліктерге және аралықтарға бөлінеді. Бұл тіректердің сымдарды ілу тәсілімен айырмашылықтары бар. Аралық тіректер оқшаулағыштардың сүйемелдейтін гирляндаларының көмегімен сымдарды ұстауға арналған. Анкерлік тіректер сымдарды керуге арналған. Аралық тіректер арасындағы қашықтық аралық өткін немесе өткін деп, ал анкерлік тіректер арасындағы қашықтық анкерлік өткін деп аталады.

Анкерлік тіректер АЖ ерекше жауапты нүктелерінде сымдарды қатаң бекітуге арналған: маңызды инженерлік құрылымдардың қиылыстарында (мысалы, темір және автомобиль жолдарының), АЖ соңдарында және оның түзу айналмаларының соңдарында. Анкерлік тіректер аралықтардан едәуір күрделі және қымбат және сондықтан әр желідегі олардың саны минималды болу керек.

Желінің бұрылатын нүктелерінде бұрыштық тіректерді орнатады. Олар анкерлік немесе аралық типті болуы мүмкін.

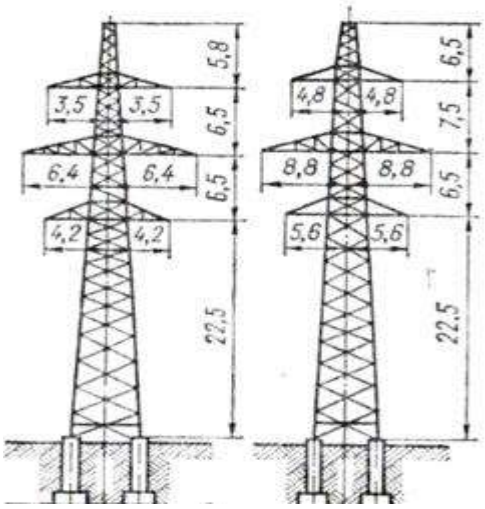
АЖ типтері келесі арнаулы тіректер қолданылады: транспозициялық – тіректерде сымдардың орналасу тәртібін өзгерту үшін; тармақтық – негізгі желіден тармақтар жасау үшін; өтпелі – өзендерді, сайларды және т.б. өту үшін.

Материалы бойынша тіректер ағаш, метал және темірбетон тіректерге бөлінеді.

Ағаш тіректер 110 кВ дейінгі АЖ негізінде орман ресурстарымен бай аудандарда қолданылады. Ағаш тіректердің кемшілігі – ағаштың шіруге ықпалдылығы және соған байланысты оның қызмет мерзімінің аздығы.

Метал тіректері (болат) 35 кВ және жоғары АЖ қолданылады, механикалық беріктілігі жоғары және қызмет мерзімі үлкен (2.2 сурет). Бірақ оларға көп метал қажет және оларды уақытылы сырлап тұру керек.

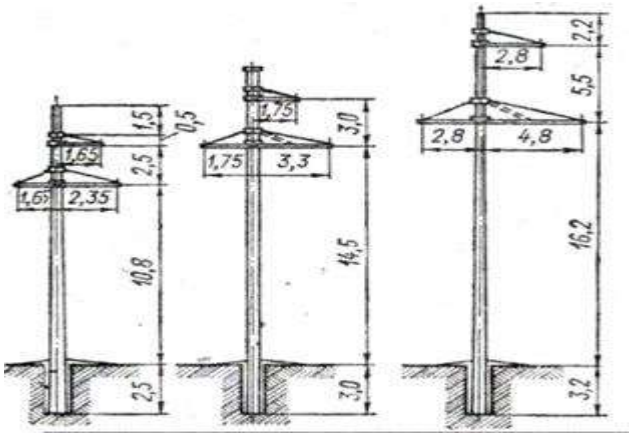
Темірбетон тіректер (2.3 сурет) 500 кВ дейінгі кернеулердің барлық кластары үшін қолданылады, ағаш тіректерден ұзақ қолданылады, бөлшектер даттанбайды, эксплуатацияда қарапайым және сондықтан кеңінен тараған. Олардың құны төмен, бірақ массасы үлкен және бетонның беті салыстырмалы омырылғыш, көлденең майысуға беріктілігі аз.



а) б)

а – кернеуі 220 кВ; б - 330 кВ (мөлшерлері метрмен).

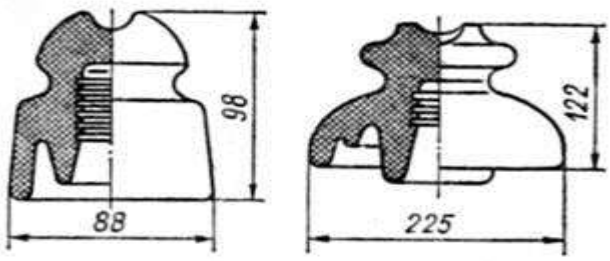
2.2 сурет – Екітізбекті желілердің аралық метал тіректері



а) б) в)

а - кернеуі 35 кВ; б – 110 кВ; в – 220 кВ (мөлшерлері метрмен).

2.3 сурет - Біртізбекті желілердің аралық темірбетон тіректері



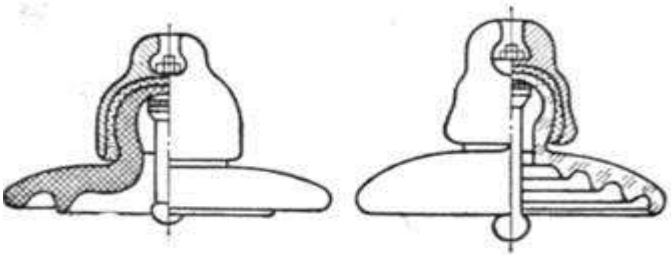
а) б)

а - кернеуі 1 кВ дейін; б - кернеуі 10 кВ.

2.4 сурет - Ұшты фарфор оқшаулағыштар

Ілінетін гирляндаларда сым тек қысқыштардың көмегімен сүйемелденеді, керілетіндерде – қатаң бекітіледі. Керілетін гирляндалар

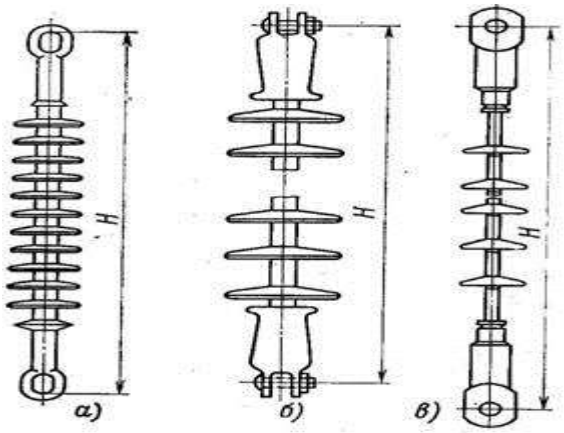
сүйемелдейтіндерге қарағанда ауыр жағдайда болады. Сондықтан 110 кВ дейінгі желілерде оқшаулағыштар саны біреуге артық қабылданады.



а) б)

2. 5 сурет – Ілінетін оқшаулағыштар ПФ (а) және ПС (б)

Соңғы кезде эксплуатацияда полимерлік қорғаныс қаптамасы бар шыны пластигінен жасалған жоғары берік сырықтар негізіндегі ұзынсырықты оқшаулағыштар кеңінен қолданылады (2.6 сурет).



а) – этиленпропилен мономерлерінен жасалған тарелкаларымен; б – кремнийорганикалық резинадан жасалған дамыған бетімен; в) – сырықтың фторопласт қорғаныс қаптамасымен және фторопласт тарелкаларымен.

2.6 суреті – Полимерлік оқшаулағыштар

Осы кездегі полимерлік оқшаулағыш бөшектері өзінің белгілі функцияларын орындайтын құрамалы қиыстырма болып келеді. Оқшаулағыштың көтеретін құрамы ретінде бір бағытты шыныпластик сырық қолданылады. Ол полимерлік біріктіріп байланыстыратын құраммен жалғанған және жоғары механикалық беріктілігі бар он мыңдаған жіңішке шыны талшықтарынан тұрады. Оқшаулағыштың бетімен ақыба ток жолының ұзындығын көбейту үшін ластанған атмосфера жағдайларында оның сенімді жұмысын қамтамасыз ету мақсатымен шыныпластик сырығына оқшаулайтын тарелкалар бекітіледі. Тарелкалар даттың барлық түрлерінен, атмосфералық және химиялық әсерлерден көтеруші шыныпластик сырықты қорғайтын қаптамада бекітіледі. Оқшауламаның көтеруші сырығының ұштарындағы метал ұштықтар (оконцеватели) оқшаулағыштың қажетті беріктілігін және

сенімділігін қамтамасыз етеді. Мұндай оқшаулағыштар кернеудің тиісті клас АЖ түгел гирляндаларын ауыстыруға мүмкіндік береді, сонымен АЖ сенімділігін қамтамасыз етеді. Полимерлік оқшаулағыштардың массасы тарелкалы оқшаулағыштардың тиісті гирляндаларының массасынан 5 – 20 есе аз. Бұл ондай оқшаулағыштардың құндылығын тасымалдағанда, АЖ монтаждап, эксплуатация жасағанда қамтамасыз етеді.

2.2 Кабельдердің қиыстырмасы туралы жалпы мәліметтер

Күштік кабельдер бір – бірінен және жерден оқшауламамен бөлінген, бір немесе бірнеше ток өткізетін талсымдардан тұрады. Оқшауламаның сыртынан оны ылғалдан, қышқылдардан және механикалық зақымдардан сақтандыру үшін қорғаныс қаптамасын және қорғаныс қабаты бар болат таспа сауытын салады. Ток өткізетін талсымдар әдетте бірсымды (қимасы 16 мм^2 дейін) және көпсымды етіліп алюминийден жасалынады.

Оқшаулама ток өткізетін талсымдарға таспа түрінде салынатын арнайы минералды маймен қанықкан кабель қағазынан жасалынады. Кабельдерді тік және күрт көлбеу трассаларда төсегенде қанықтыратын құрамның кабель бойында жылжуы мүмкін. Сондықтан мұндай трассалар үшін оқшауламасы жеткіліксіз қанықкан және ақпайтын қанықкан құрамы бар кабельдер жасалынады. Сонымен қатар резина және полиэтилен оқшауламасы бар кабельдер жасалынады.

Ылғал және ауадан сақтандыру үшін оқшауламаға салынатын қорғасын, алюминий немесе поливинилхлорид *қорғаныс қаптамалары* болады. Алюминий қаптамасындағы кабельдерді кеңінен қолдану ұсынылады. Қорғасын қаптамасындағы кабельдер судың астында, көмір және тақта тас шахталарында, ерекше қауіпті датқа белсенді орталарда төселеді. Қалған жағдайларда қорғасын қаптамасы бар кабельдерді таңдағанда арнайы техникалық негіз қажет.

Қорғасын, алюминий және поливинилхлорид қаптамаларды механикалық зақымдардан қорғау қажет. Ол үшін қаптаманың сыртынан болат таспалардан немесе сымдардан сауыт кигізеді. Алюминий қаптаманы және болат сауытты өз кезегінде даттан және химиялық әсерден қорғау керек. Ол үшін қаптама мен сауыттың және сауыттың сыртынан ішкі және сыртқы қорғаныс қабатын салады. Ішкі қорғаныс қабаты (немесе сауыт астындағы жастық) – бұл қанықкан мақтақағаздан иірген жіптен немесе кабельдік сульфат қағазынан жасалған кендір қабатша. Бұл қағаздың сыртынан тағы екі поливинилхлорид таспасын салады. Сыртқы қорғаныс қабаты датқа қарсы құраммен қанықкан кендірден жасалған. Отқа қауіпті туннельдерде және басқа орындарда төсеу үшін жанбайтын қорғаныс қабаттары бар арнайы кабельдер қолданылады.

2.7 суретінде оқшауламасы қағаз 1 – 10 кВ үшфазалық кабель көрсетілген.

Кабельдердің маркалары олардың қиыстырмаларын сипаттайтын сөздердің бастапқы әріптерінен тұрады. Бірінші А әрпі алюминий талсымдарына сәйкес келеді. Кабельдердің қаптамалары әріптермен белгіленеді: А – алюминий, С – қорғасын, В – поливинилхлорид, Н – резина, наирит; П – полиэтилен; талсымдары бөлек қорғасындалған кабельдер О әрпімен маркаланады. Әртүрлі сауытталған қорғаныс қабаты бар кабельдердің маркалары келесі әріптермен белгіленеді: Б – болат таспалар, П – жазық болат мырышталған сымдар, К - сондай сымдар, бірақ жұмыр.

Кабель маркасымен қатар әдетте кабельдің ток өткізетін талсымдарының саны мен қимасын көрсетеді. Мысалы, ААБ 3х120 мәнісі: талсымы алюминий, алюминий қаптамасындағы, болат таспалармен сауытталған, қимасы 120 мм^2 үш талсымы бар кабель.

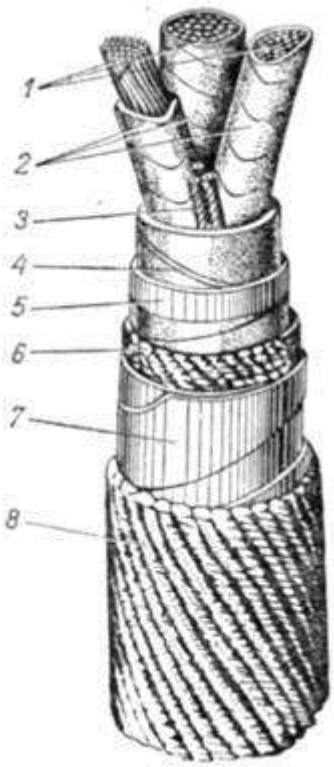
Соңғы кезде эксплуатацияда оқшауламасы тігілген полиэтиленнен жасалған кабельдер кеңінен қолданылып жүр (2.8 сурет).

Осы кезде Еуропа және Американың өндірісі дамыған елдерінде күштік кабельдер нарқының іс жүзінде 100% тігілген полиэтиленнен жасалған кабельдер алып тұр. Оқшауламасы қанықкан қағаз кабельдерден оқшауламасы тігілген полиэтилен кабельдеріне көшу эксплуатация жасайтын ұйымдардың кабельдердің техникалық параметрлеріне қоятын талаптарының өсуіне байланысты. Бұл жағынан қарағанда осы кабельдердің құндылығы айқын.

Олардың кейбіреулерін қарастырайық:

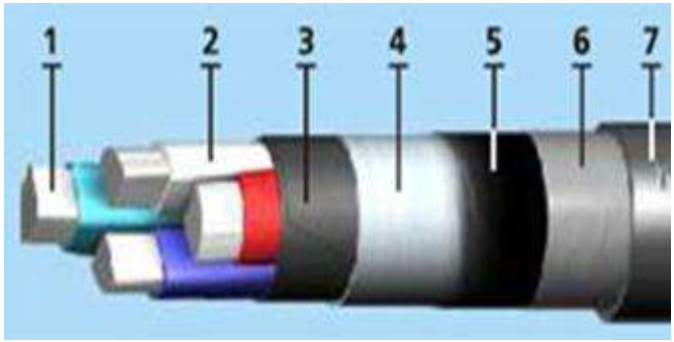
- жоғары өткізгіш қабілеті;
- салмағы аз, диаметрі және майысу радиусы аз;
- зақымдалуы төмен;
- полиэтилен оқшауламасының тығыздығы аз, салыстырмалы диэлектрлік өтімділігінің және диэлектрлік шығындар коэффициентінің мәндері аз;
- күрделі трассаларда төсеу;
- арнайы жабдықты пайдаланбай монтаждау;
- төсеудің өзіндік құнының едәуір төмендеуі.

Тігілген полиэтиленнен жасалған оқшауламасы бар кабельдердің осындай ерекше қасиеттері қолданылатын оқшаулама материалына байланысты. Полиэтилен осы кезде кабельдерді өндіргенде ең көп қолданылатын оқшаулама материалы болып табылып тұр. Бірақ басында термопластикалық полиэтиленнің едәуір кемшіліктері болды, олардың бастысы балқу температурасына жақын температураларда оның механикалық қасиеттерінің күрт нашарлап кетуі. Бұл мәселенің шешілуі тігілген полиэтиленді пайдалану болды.



1 – алюминий ток өткізетін талсымдар; 2 – маймен қанықкан қағаз (фазалық оқшаулама); 3- кендір толтырғыштар; 4 – маймен қанықкан қағаз (белдік оқшаулама); 5 – қорғасын немесе алюминий қаптама; 6 – кендір қабатша; 7 – болат таспа сауыт; 8 - кендір қабат.

2.7 сурет – Талсымдары секторлы кернеуі 1-10 кВ үшталсымды кабельдің құрылысы



1 – ток өткізетін талсым; 2 – тігілген полиэтиленнен жасалған оқшаулама; 3 – белдік оқшаулама; 4 – тоқылмаған матадан жасалған бекітетін таспа; 5 –полиэтиленнен жасалған белдік оқшаулама; 6 – екі болат таспадан жасалған сауыт; 7 – битум; 8 – полиэтилентерефталатты үлпектен жасалған орам; 9 –полиэтиленнен жасалған қаптама.

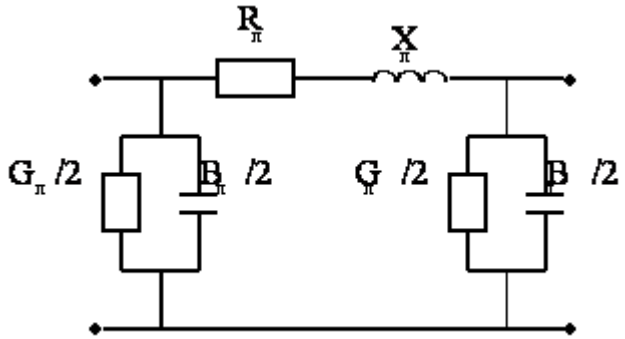
2.8 сурет – Оқшауламасы тігілген полиэтиленнен жасалған кабельдің қиыстырмасы

3 Электр торабы элементтерінің сипаттамалары және параметрлері

3.1 Ауа және кабель желілерінің орын ауыстыру сұлбалары, параметрлері

Көп жағдайларда электрберіліс желісінің параметрлері (активтік және реактивтік кедергі, активтік және сыйымдылық өткізгіштіктер) оның ұзындығы бойынша бірқалыпты таралған деп есептеуге болады. Ұзындығы салыстырмалы үлкен емес желілер үшін параметрлердің таралғанын ескермей шоғырланған параметрлерді қарастырады: желінің активтік және реактивтік кедергісін $R_л$ және $X_л$, және реактивтік өткізгіштіктер $G_л$ және $B_л$.

Кернеуі 110 кВ және жоғары ұзындығы 300 - 400 км дейінгі электрберілістің ауа желілері әдетте П – тәрізді орын ауыстыру сұлбасымен беріледі.



3.1 сурет

Сымдар мен кабельдердің *активтік кедергісі* ток өткізетін талсымдардың материалымен және олардың қималарымен анықталады. Ұзындыққа шағылған активтік кедергі (1 км ұзындыққа) жалаңаш сымдар мен кабельдер үшін $+20^o$ С температурасында анықталады:

$$r_o=\rho/F, \qquad (3.1)$$

мұнда ρ - өткізгіш материалының меншікті кедергісі (Ом·мм^2/км);

F – сымның қимасы, мм^2.

Ұзындығы *l* желінің активтік кедергісі анықталады:

$$R_л=r_o \cdot l.$$

Сымдар мен кабельдердің активтік кедергісі 50 Гц жиілікте шамамен омдық кедергіге тең. Мұнда беттік құбылыстың әсері ескерілмейді. Өткізгіш температурасы тербелістерінің активтік кедергінің шамасына әсерін ескермейді, және есептерде орта температуралардағы ($+20^oC$) осы кедергілердің шамаларын пайдаланады.

Реактивтік кедергі. Желіден өткенде айнымалы ток өткізгіштердің айналасында айнымалы магнит өрісін тудырады, ол өткізгіште кері бағыттағы электрқозғаушы күшті – өзіндік индукция э.қ.к. жасайды. Бұл токта сымда активтік кедергінің жоғында өзіндік индукция э.қ.к. толық келіп тұрған кернеуге теңеседі:

$$I \cdot \omega \cdot L = U_{ф},$$

мұнда L – сымның өзіндік индукция коэффициенті.

Өзіндік индукция э.қ.к. арқылы токқа қарсы пайда болатын кедергі индуктивтік кедергі деп аталады. Қарастырылып отырған сымның тогы үшін кері сымдар болатын үшфазалық желінің көрші сымдары өз кезегінде онда бағыттың негізгі тогына сәйкес э.қ.к. тудырады, ол өзіндік индукция э.қ.к. және соған сәйкес реактивтік кедергіні азайтады. Сондықтан, желінің фазалық сымдары неғұрлым бір – бірінен қашық орналасса, соншама көрші сымдардың әсері аз болады, ал сымдар арасындағы сейілу ағыны, және сонымен бірге желінің индуктивтік кедергісі көбейеді.

Индуктивтік кедергіге өзінің әсерін сымның диаметрі, сымның магнит өтімділігі және айнымалы токтың жиілігі жасайды.

Желінің ұзындыққа шағылған индуктивтік кедергісінің шамасы анықталады:

$$X_0 = \omega \cdot \left[4{,}6 \cdot \lg\left(\frac{D_{op}}{r_{П}} \right) + 0{,}5\mu \right] \cdot 10^{-4}, \qquad (3.2)$$

мұнда ω=314 - 50 Гц бұрыштық жиілік;

D_{op} - сымдырдың арасындағы ортагеометриялық қашықтық;

$r_{п}$ - сымның радиусы.

Түрлі – түсті металдардың сымдары үшін (μ = 1) 50 Гц өндірістік жиілікте (4.2) формуласы болады:

$$X_0 = 0{,}144 \cdot \lg\left(\frac{D_{op}}{r_{П}} \right) + 0{,}016. \qquad (3.2)$$

Біртізбекті үшфазалық желінің сымдары арасындағы ортагеометриялық қашықтық:

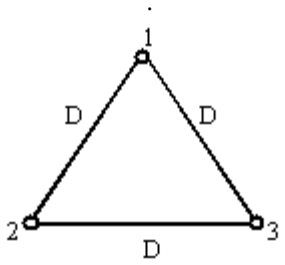
$$D_{op} = \sqrt[3]{D_{12} D_{13} D_{23}},$$

мұнда D_{12}, D_{13}, D_{23} - бөлек фазалардың сымдары арасындағы қашықтық.

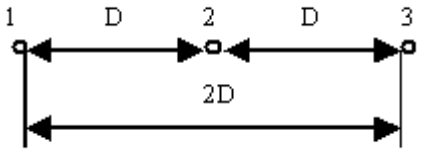
Сымдардың теңқабырғалы үшбұрыш нұсқасы бойынша орналасқанда барлық сымдар бір – бірінен бірдей қашықтықта орналасады және ортагеометриялық қашықтық тең $D_{op} = D$ (3.2 сурет).

Сымдардың жатық орналасқанында (3.3 сурет).

$$D_{op} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = D\sqrt[3]{2} = 1{,}26D$$



3.2 сурет



3.3 сурет

330 кВ және жоғары желілерінде ыдыратылған сымдар қолданылады. Мұндай желілерде әр фазада бір емес, бірнеше сым болады. Бұл өрнекпен анықталатын фаза радиусының көбейуіне алып келеді

$$r_э = \sqrt[n]{r_n \cdot a^{n-1}}, \qquad (3.4)$$

мұнда - r_n желінің ыдыраған фазасына кіретін бөлек сымдардың радиусы;

n – бір фазадағы сымдардың саны;

a - фазадағы сымдар арасындағы қашықтық.

Сымдары ыдыраған желінің индуктивтік кедергісі:

$$x_0 = 0{,}144 \cdot \lg \frac{D_{op}}{r_э} + \frac{0{,}016}{n}.$$

Ұзындығы *l* желінің индуктивтік кедергісі:

$$x = x_0 \cdot l.$$

Желілердің а*ктивтік өткізгіштіктігі* оқшаулама арқылы өтетін ақыба токтардың және сымдардағы электр тәжден болатын активтік қуаттың шығындарымен байланысты.

Оқшаулама арқылы өтетін ақыба токтардан болатын электрэнергия шығындары электрберіліс желісін кернеуге қосқанда пайда болады. Бұл шығындар кабельдерде мәнді емес және ауа желілерінде өте аз, олай болса активтік өткізгіштікте аз.

Тәждің шығындары одан зор. Олар сымдардың жанындағы ауаның иондалуымен байланысты және сымның бетіндегі электр өрісінің кернеулігі ауаның электр беріктілігінен артық болғанда пайда болады. Мұнда сымның бетінде электр разрядтары пайда болады. Көпсымды өткізгіштердің иірілуіне байланысты бетінің тегіс еместігінен, ластанудан және қылтанақтардан басында тек сымның кейбір нүктелерінде разрядтар пайда болады. Бұл сымның жергілікті деп аталатын тәжі. Кернеу өскен сайын тәж сымның үлкен бетіне таралады және ақырында сымды барлық ұзындығы бойынша қамтиды, яғни жалпы тәж пайда болады.

Электрэнергия шығындарынан басқа тәж сымдарын, оқшаулағыштардың гирлянда арматураларын даттайды, электрберіліс желілерінің жоғарыжиілікті арналарының жұмысына теріс әсерін тигізеді және байланыстың өткізгіш желілерінде жоғарыжиілікті бөгеуілдер мен радиобөгеуілдер жасайды.

Егер желілердегі ақыбаны ескермесе, онда тәжге байланысты активтік өткізгіштік анықталады

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\text{КОР}}}{U_{ном}^2}, \qquad (3.5)$$

мұнда $\Delta P_{кор}$ - қуаттың тәжге кететін шығындары, кВт/км;

$U_{ном}$ - номиналды кернеу.

Қуаттың тәжге кететін шығындарын төмендетудің негізгі шараларына сымдардың қималарын көбейту, ыдырату немесе іші қуыс сымдарды қолдану жатады.

Реактивтік өткізгіштік сымдар мен жердің арасында сыйымдылық болуымен байланысты және оның сыйымдылық сипаты бар. Ол белгілі өрнекпен анықталады:

$$b_o = \omega C_o,$$

мұнда C_0 - желінің жұмыс сыйымдылығы, Ф/км.

Желінің жұмыс сыйымдылығы сымдардың диаметрінен, олардың өзара жайғасуынан, олардың арасындағы қашықтықтан және ортаның диэлектрлік өтімділігінен тәуелді.

Электр тораптарының іс жүзіндегі есептерінде фазада бір сымы бар үшфазалық ауа желісінің жұмыс сыйымдылығын анықтайды:

$$C_0 = \frac{0{,}024}{\lg \frac{D_{ср}}{r_{\text{П}}}} \cdot 10^6. \qquad (3.6)$$

Айнымалы токтың 50 Гц жиілігінде

$$b_0 = \frac{7{,}58}{\lg \frac{D_{ср}}{r_{П}}} \cdot 10^6. \qquad (3.7)$$

Барлық желінің сыйымдылық өткізгіштігі

$$B = b_o \cdot l.$$

Желінің зарядтық тогы. Желіге берілген айнымалы кернеудің әсерінен желінің сыйымдылығында айнымалы электр өрісі және реактивтік ток пайда болады. Бұл ток желінің сыйымдылық немесе зарядтық тогы деп аталады.

$$I \cdot b_0 = U_{Ф} \cdot b_0 = \frac{U_{Н}}{\sqrt{3}} \cdot b_0 \qquad (3.8)$$

Желінің сыйымдылық тогын біле отыра, желінің сыйымдылық немесе *зарядтық қуатын* анықтау жеңіл

$$Q_b = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot b_0 = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot b_0 = U_2 \cdot b_0, \qquad (3.9)$$

мұнда U – жұмыстық желілік кернеуі, кВ.

Электрберілістің кабель желілері ауа желілері сияқты П – тәрізді орын ауыстыру сұлбасымен көрсетіледі. Ұзындыққа шағылған активтік және реактивтік кедергілері r_o және x_o ауа желілеріндегідей анықтамалық кестелер бойынша анықталады. (3.3) және (3.7) өрнектерінен белгілі, фаза сымдары жақындағанда x_o азаяды, b_o өседі. Кабель желілері үшін ауа желілеріне қарағанда фазалар арасындағы қашықтық едәуір аз және x_o өте аз. Кернеуі 10 кВ және төмен кабель тораптарының режимдері үшін тек активтік кедергіні ескеруге болады. Сыйымдылық ток және зарядтық қуат кабель желілерінде ауа желілеріне қарағанда көп. Жоғары кернеу кабель желілерінде Q_b ескереді. Активтік G өткізгіштігін 110 кВ және жоғары кабельдер үшін ескереді.

3.2 Электр тораптары элементтерінің номиналды кернеулері

Әрбір электр торабы оның жабдығы есептелетін тораптың номиналды кернеуімен сипатталады $U_{\text{ном}}$. Номиналды кернеу электртұтынушылардың (ЭП) қалыпты жұмысын қамтамасыз етеді, ең үлкен экономикалық тиімділік

беру керек және жеткізілетін активтік қуатпен және электрберіліс желісінің ұзындығымен анықталады.

ГОСТ 21128–75 бойынша айнымалы токтың электр тораптары және 1000 В дейінгі қабылдағыштардың номиналды фазааралық кернеулерінің шкаласы ендірілген: 220, 380, 660 В.

ГОСТ 721–77 бойынша 1000 В жоғары айнымалы токтың электр тораптарының номиналды фазааралық кернеулерінің шкаласы ендірілген:

3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750, 1150.

3.1 кестесінде электр тораптарының жіктелуі берілген, мұнда төменгі (ТК), орта (ОК), жоғары (ЖК), асқын жоғары (АЖК) тораптарға бөлу көрсетілген.

3.1 кесте – Электр тораптарын жіктеу

	<1	3 - 35	110 - 220	330 - 750
	НН	СН	ВН	СВН
Аймақты қамту	Жергілікті Аудандық			Региондық
Арналымы	Таратушы			Жүйе құраушы
Тұтынушылардың сипаты	Коммуналды - тұрмыстық			-
	Өндірістік			-
	Ауылшаруашылық			-

Электртұтынушылардың (электрқабылдағыштардың) қалыпты жұмыс істеуі үшін шарт орындалу керек:

$$U_{ном}^{эп} = U_{ном}^{сети}.$$

ЭП жүктемесі тұрақты қалмайды, ол жұмыс режимінің өзгеруінен тәуелді өзгереді (мысалы, өндірістің технологиялық процесінің барысына сәйкес), сондықтан тораптың түйіндерінде кернеу номиналды мәннен тұрақты ауытқиды, бұл электрэнергияның сапасын төмендетеді және шығындарды тудырады. Электрқабылдағыштардың көбісі үшін орнықты аймақ кернеу ауытқуларының δU=±5% мәндерімен шектелетінін зерттеулер көрсетті.

Әдетте, желінің басындағы кернеу соңындағыдан көп және кернеу шығындарының шамасына айырмашылығы бар:

$$\Delta U = U_1 - U_2.$$

U_1 тұтынушы кернеуін электр торабының номиналды кернеуіне жуықтату және сапалы энергиямен қамтамасыз ету үшін ГОСТ

генераторлардың номиналды кернеулерін $U^{Г}_{ном}$ тораптың номиналды кернеуінен 5 % артық орнатады:

$$U^{Г}_{ном} = 1{,}05U^{сети}_{ном}.$$

Жоғарылатқыш трансформаторлардың біріншіреттік орамдары тікелей генераторлардың қысқыштарына қосылуына байланысты олардың номиналды кернеулері $U_{1ном}$ бірдей болу керек:

$$U^{Г}_{ном} = U_{1ном} = 1{,}05U^{сети}_{ном}.$$

Төмендеткіш трансформаторлардың біріншіреттік орамдары олар қоректенетін тораптарға қарағанда тұтынушы болып келеді, сондықтан шарт орындалу керек:

$$U_{1ном} = U^{сети}_{ном}.$$

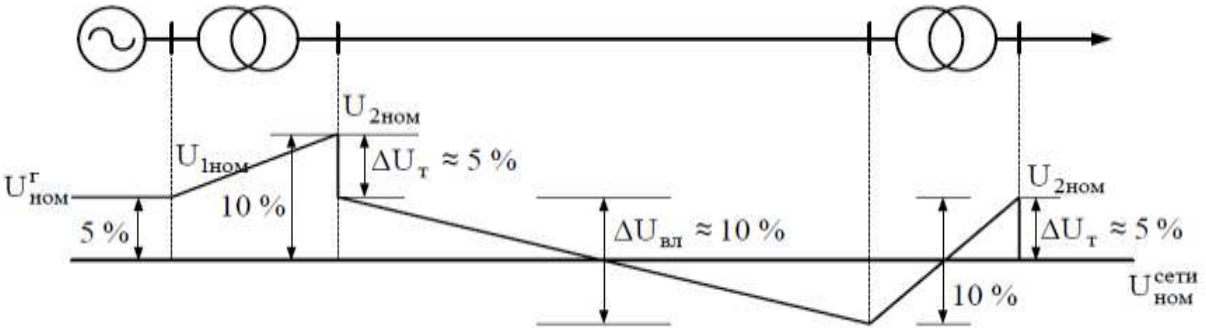
Соңғы кезде өндіріс біріншіреттік орамның кернеуі тораптың номиналды кернеуінен 5 % артық кернеуі 110 – 220 кВ төмендеткіш трансформаторларды шығарады:

$$U_{1ном} = 1{,}05U^{сети}_{ном}.$$

Төмендеткіш және жоғарылатқыш трансформаторлардың екіншіреттік орамдары олар қоректендіретін торапқа қарағанда көз болып табылады. Екіншіреттік орамдардың номиналды кернеулерінің $U_{2ном}$ мәндері осы тораптың номиналды кернеуінен 5–10 % артық:

$$U_{1ном} = (1{,}05 - 1{,}1)U^{сети}_{ном}.$$

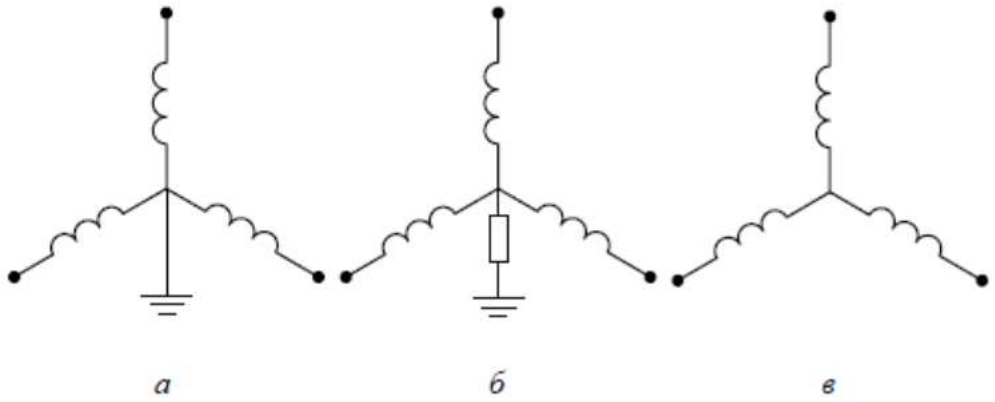
Бұл қоректенетін торапта кернеудің құлауын өтемдеу үшін жасалынады. 3.4 суретінде жоғарыда айтылғанды айқын сипайттайтын кернеу эпюрасы берілген.



3.4 сурет – Кернеу эпюрасы

3.3 Электр тораптары бейтараптарының режимдері

Үшфазалық электр тораптарының нөлдік нүктесі (бейтарап) қатаң жерлендірілуі (2.2, *а* сурет), жоғарыомды кедергі арқылы жерлендірілуі (2.2, *б* сурет) немесе жерден оқшауланууы мүмкін (2.2, *в* сурет).



а – қатаң жерлендірілген; *б* – жоғарыомды кедергі арқылы жерлендірілген;
в – жерден оқшауландырылған.

3.5 сурет – Үшфазалық электр тораптарының нөлдік нүктесі

1000 В дейінгі электр тораптарында бейтарап режимі тораптарға қызмет көрсетудің қауіпсіздігімен, ал 1000 В жоғары тораптарда электрмен жабдықтаудың үзіліссіздігімен, электрқондырғылар жұмысының үнемділігі және сенімділігімен анықталады. Электрқондырғылар құрылымының Ережелері бойынша ЭҚҚЕ (ПУЭ) кернеуі 1000 В дейінгі электрқондырғылардың жұмысы қатаң жерлендірілген және оқшауланған бейтараппен рұқсат етіледі.

Бейтарабы қатаң жерлендірілген 1000 В дейінгі тораптарының бейтарап режимі.

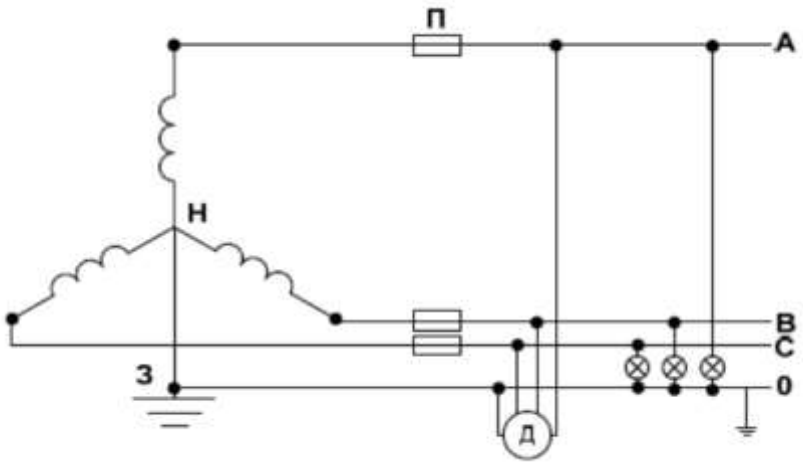
Ең кеңінен тарағандар – кернеуі 380/220, 220/127, 660/380 (3.6 сурет) үшфазалық токтың төртсымды тораптары (алымы желілік кернеуге, ал бөлімі фазалық кернеуге сәйкес келеді). Адамдардың көбісіне осындай тораптармен жұмыс істеуге тура келеді, осыған байланысты ЭҚҚЕ (ПУЭ) бейтараптың қатаң жерлендіруін талап етеді.

Қыздыру шамдары фазалық кернеуге қосылады (фазалық және нөлдік сымның арасына). Қозғалтқыштар А, В және С үш фазасына бірдей қосылады. Қозғалтқыштың тұрқысы және басқа барлық метал бөлшектері қауіпсіздік мақсатымен жерлендіріледі немесе нөлдік сымға қосылады.

Кез – келген фазаның жерге тұйықталуы қысқа тұйықтауға алып келеді (ҚТ). Бірфазалық ҚТ тогы жерлендіруші құрылғының кедергісімен шектеледі, өйткені бұл кедергі үлкен емес. Фазалық кернеуде ток едәуір мәндерге жетеді

және фазаның қорғаныс құрылғысы сақтандырғышқа әсер жасайды (жылу немесе магниттік ағытқышы бар автомат болуы мүмкін). Құрылғы іске қосылып, (сақтандырғыш күйіп кетеді) зақымдалған фазаны ағытып тастайды. Торап толық фазалық емес режимде жұмыс істей береді. Жұмыс істеп тұрған екі фазаның кернеуі фазалық мәннен аспайды.

Мұндай тұтынушыларға жатады: жарықтандыру, қыздырғыш аспаптар, пісіргіш құрылғылар және басқалар.



3.6 сурет – Үшфазалық токтың төртсымды торабы

Жабдық оқшауламасының тұрқыға зақымдалуы ҚТ алып келеді және зақымдалған орын ағытылады.

Бірфазалық ҚТ үшфазалық тұтынушылар кернеудің бейсимметриялы жүйесіне қосылып қалады, бұл әсіресе қозғалтқыштар үшін қауіпті. Электрмагниттік өріс өзінің қасиеттерінен айырылып толықси бастайды. Қозғалтқыштың айналдыру иінкүші азаяды, қозғалтқыш тоқтайды, кедергі азаяды, бұл олардың тұтынатын токтарының күрт көбейуіне алып келеді. Бұл машина орамдарын қыздырады. Оларды қорғаныспен жылдам ағыту қажет. Қатаң жерлендірілген бейтарап тармақталған тораптарда қолданылады. Қатаң жерлендірілген бейтараптардың кемшілігі – зақымдалған айлан тез ағытылуына тиісті бірфазалық ҚТ едәуір тогы және оның салдары – электрэнергияны кем жіберуден келетін шығындар.

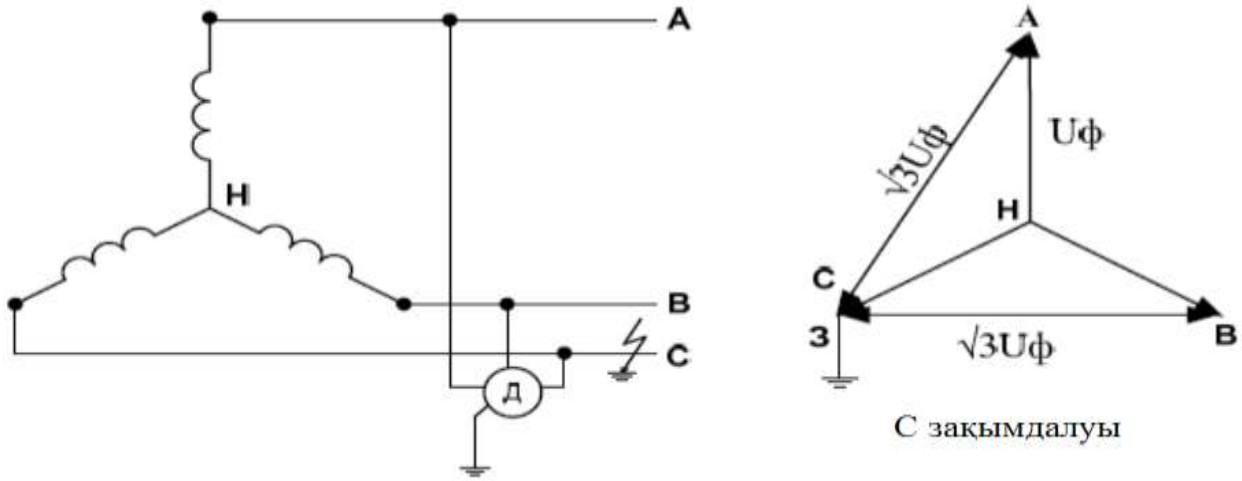
Бейтарабы оқшауланған төменгівольттік тораптар.

Бұл фазалық оқшауламаны бақылауды тораптарда қамтамасыз еткенде тораптардың аз тармақталғанында ерекше жауапты тұтынушыларды қоректендіру үшін қолданыс тапқан үшсымды тораптар. Бұл тораптар, көмір шахталары, тау карьерлері, желдеткіш қондырғылары, улы газдарды бөлудің жоғары қаупі бар цехтар.

Мұндай тораптарда жерге тұйықталу ҚТ алып келмейді, үлкен токтардың ағуымен ілеспейді және қауіпті емес. Мұндай тұйықталу

қарапайым деп аталады және зақымдалған фазаның ағытылуына алып келмейді (3.7, *а* сурет).

Екі зақымдалмаған фазаларда кернеу желілік мәнге дейін $\sqrt{3}$ есе көбейеді (3.7, *б* сурет). Фазааралық (желілік) кернеулер өзгермейді және, олай болса, желілік кернеуге қосылған электртұтынушылардың жұмыс жағдайлары өзгермейді, бұл электрмен жабдықтаудың үзіліссіздігін қамтамасыз етеді. Зақымдалмаған фазалардың жоғары кернеуде болу уақыты екі сағатпен шектеледі. Фазасы жерге тұйықталған қондырғылардың ұзақ жұмысы рұқсат етілмейді, өйткені ол тағы бір қарапайым тұйықтауға алып келуі мүмкін, және бұл екі тұйықтау ҚТ үлкен тогымен ілесетін екіфазалық жерге тұйықтау болады, одан кейін жабдық істен шығуы мүмкін.



а – сұлба; *б* – фазаның жерге тұйықталғанындағы кернеулердің векторлық диаграммасы.

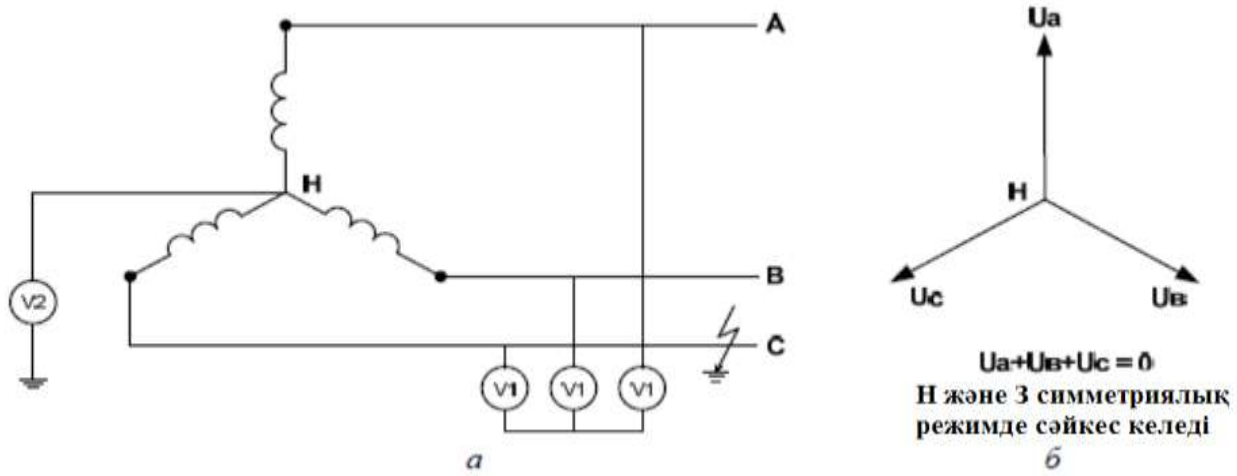
3.7 сурет – Бейтарабы оқшауланған торап

Бейтарабы оқшауланған тораптарда оқшауламаны жүйелі түрде бақылап, зақымды жылдам жойып немесе зақымдалған фазаны автоматты ағыту керек. Оқшаулама фаза және жер арасындағы кернеуге шыдау керек ($U_ф$).

Оқшауламаның бұзылуы баяу жүреді және тесілумен аяқталады. Сондықтан қызметкерлердің міндеті оқшауламаның ақауларын уақытында тауып, оларды жою.

Ол үшін фазалық кернеулердің симметриялық жүйесінің қасиеті пайдаланылады. Жерге тұйықталу жоқ кезде V_1 вольтметрлері фазалық кернеулердің шамамен бірдей мәндерін көрсетеді. Айырмашылығы аз болуы мүмкін, ол фазалардың қалыпсыз жүктелуімен түсіндіріледі. V_2 вольтметрі үшфазалық векторлар жүйесінің геометриялық қосындысын өлшейді, және оның көрсетулері нөлге жақын. С фазасы жерге тұйықталғанда А және В фазалары вольтметрлерінің көрсетулері желілік мәндерге жақындайды.

$U_A \rightarrow U_Л$; $U_B \rightarrow U_Л$; $U_C \approx 0$.



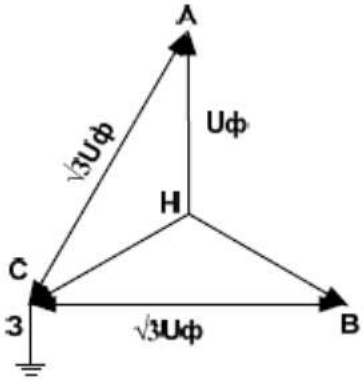
а

б

а – оқшаулама жағдайын бақылау сұлбасы;
б – тұйықтаулар жоқ кездегі кернеулердің векторлық диаграммасы.

3.8 сурет – Бейтарабы оқшауланған торап

V_2 вольтметрі көрсетуінің нөлден едәуір айырмашылығы болады (жер С нүктесіне ауысқандай болады), ал А немесе В фазасы және жер арасындағы кернеу желілікке дейін өседі (3.9 сурет). $\sqrt{3}$ есе үлкен кернеуге шыдау үшін оқшаулам күшейтілу керек.



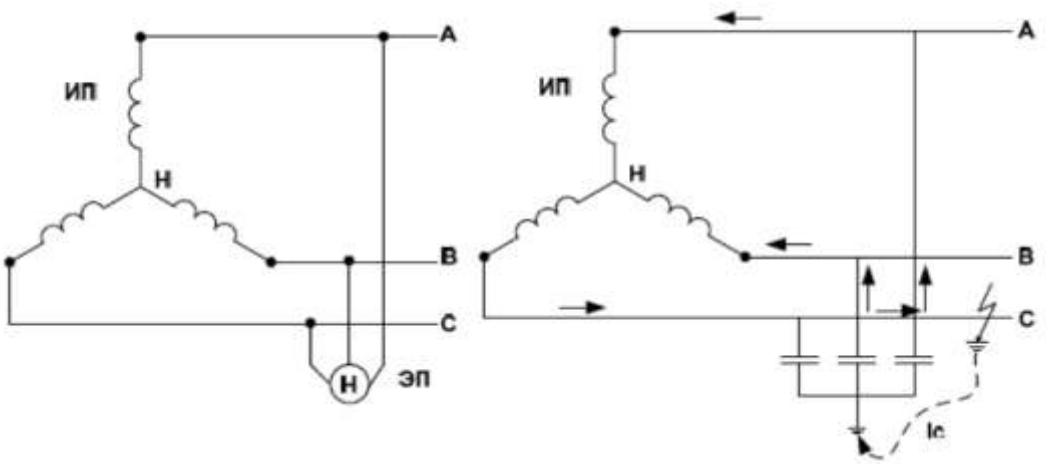
3.9 сурет – С фазасы жерге тұйықталғандағы кернеулердің векторлық диаграммасы

Кернеуі 1000 В жоғары электр тораптары бейтарап режимі бойынша жерге тұйықталу токтары аз тораптарға (≤500 А және 3÷35 кВ) және жерге тұйықталу токтары үлкен тораптарға (>500 А және U ≥ 110 кВ) бөлінеді.

Жерге тұйықталу токтары аз тораптар оқшауланған немесе өтемделген бейтараптармен жұмыс істейді.

Бейтарабы оқшауланған жоғарывольттік тораптар.

Тұтынушы желілік кернеуге қосылған, бейтарап және жер симметриялық режимде сәйкес келеді. Оқшаулама шыдайтын кернеу – бұл фаза мен жер арасындағы кернеу.



а – оқшаулама жағдайын бақылау сұлбасы;
б – тұйықтаулар жоқ кездегі кернеулердің векторлық диаграммасы.

3.10 сурет - Бейтарабы оқшауланған жоғарывольттік торап

С фазасы жерге тұйықталды. Ток тұйықталған орыннан зақымдалмаған А және В фазаларының сыйымдылығында, сосын желілермен бейтарап арқылы зақымдалған орынға ағады (3.10 сурет). Тұтынушының кернеуі өзгерген жоқ, ол желілік болып қалды. Фазалардың кернеуі $\sqrt{3}$ есе өсті ($\sqrt{3}$ $U_Ф$).

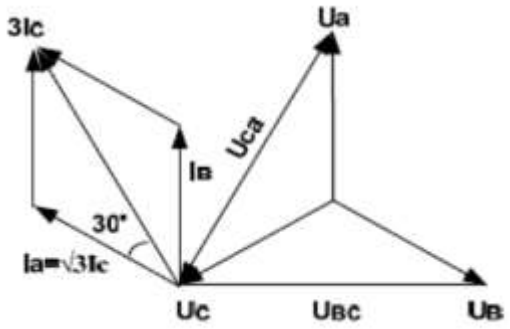
Зақымдалған фазаның жерге тұйықталған сыйымдылық тогы нөлге тең, ал екі зақымдалмаған фазалардың әрқайсысының сыйымдылық тогы $\sqrt{3}$ есе көбейеді (кернеудің өсуіне пропорционалды). Мұнда

$$U_0=U_ф;\ 3I_{CA}+3I_{CB}=3I_C;\ I_{NN}=0\ .$$

Жерге тұйықталудың қосынды тогы зақымдалмаған фазалар токтарының қосындысына тең және қорек көзі арқылы тұйықталып, фазаның жерге зақымдалған орны арқылы ағады (3.11 сурет).

Екіфазалық ҚТ өткізбеу мақсатымен жерге тұйықтауды жою үшін шаралар қолдану керек.

Фазаның жерге тұйықталуы кезектесетін доғаның пайда болуына алып келеді (яғни доға еріксіз сөнеді және қайтадан жанады), бұл зақымдалмаған фазалардағы асқын кернеулерге алып келеді. Доғалық асқын кернеулердің амплитудасы (2,5÷3,2)*U* дейін жетеді. Бұл фазалар оқшауламасын бұзады.

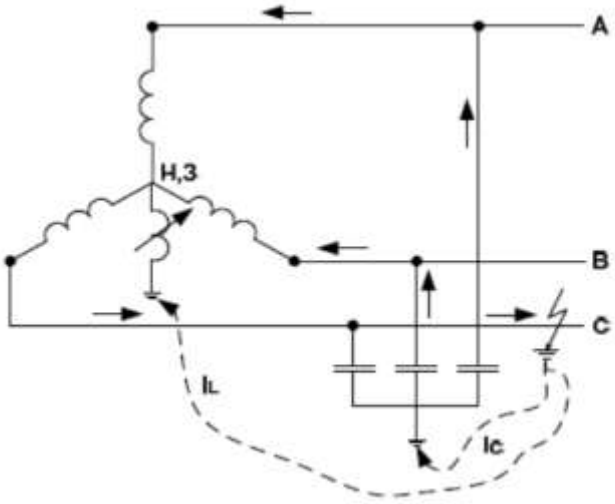


3.11 сурет – Кернеулер мен сыйымдылық токтарының векторлық диаграммасы

Доғалық асқын кернеулерді төмендету мақсатымен сыйымдылық тогын өтемдеу қолданылады.

Бейтарабы өтемделген жоғарывольттік тораптар.

Бұл тораптарды да жерге тұйықталу токтары аз тораптарға жатқызады (3.12 сурет).



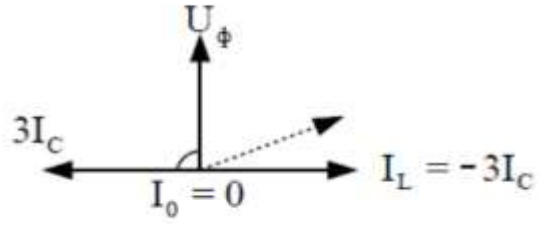
3.12 сурет – Фаза жерге тұйықталғанда бейтарабы өтемделген тораптағы токтардың таралуы

Симметриялы жүйеде бейтарап пен жердің потенциалы бірдей болғасын, қалыпты режимде шарғыға ток ақпайды. Доғасөндіргіш шарғы сыйымдылық токтарын өтемдеу үшін бейтарапта орнатылады.

Бейтарабы оқшауланған тораптағыдай, С фазасы жерге тұйықталғанда, А және В фазаларының кернеуі $\sqrt{3}$ есе өседі (желілік мәнге дейін), ал бейтарап пен жер арасындағы кернеу фазалық кернеуге тең болады. Кернеулердің осы айырмашылығының әсерінен зақымдалған орыннан

шарғыға (I_L) және сонымен бірге А және В фазаларының сыйымдылығында (I_C) ток аға бастайды. Жерге тұйықталу орнындағы ток I_L + I_C токтарының қосындысына тең. Шарғының кедергісін шарғыдан өтетін I_L индуктивтік тогының шамасы тораптың фазалық сыйымдылықтарынан өтетін $3I_C$ қосынды сыйымдылық тогына тең болатындай етіп таңдайды.

Индуктивтік және сыйымдылық токтар қарама – қарсы бағытталғасын, олар бір – бірін өтемдейді, және доға сөнеді (3.13 сурет).



3.13 сурет – Сыйымдылық токты өтемдегендегі токтар мен кернеулердің векторлық диаграммасы

Шарғыны осылай баптауды резонанстық дейді. Іс жүзінде толық өтемдеуге жету қиын, сондықтан зақымдалған орында барлық уақытта қалдық ток бар (шарғы және тораптың активтік кедергісінің болуынан және шарғыны дәл баптай алмаудың себебінен):

$$\Delta I = I_L - I_{C\Sigma}.$$

Мұндай токта доға пайда болмайды және асқын кернеу жоқ. Бейтарабы өтемделген тораптарда асқын кернеулердің ықтималдығы бейтарабы оқшауланған тораптарға қарағанда аз. Негізгі кемшілігі – оқшауламаны күшейту және доғасөндіргіш шарғыны орнату қажет. Құндылықтары – бейтарабы оқшауланған тораптардағыдай: фазалардың біреуінің жерге тұйықталғанында тұтынушы ағытылмайды.

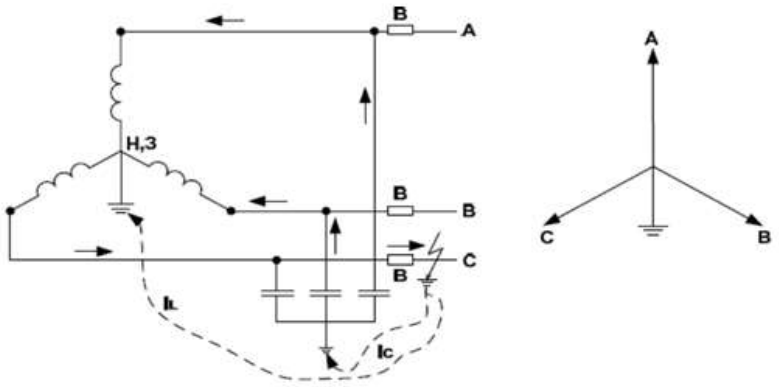
Бейтарабы қатаң жерлендірілген жоғарывольттік тораптар.

Мұндай тораптарға номиналды кернеуі 110 кВ және жоғары және жерге тұйықталу токтары үлкен ($I_з$ > 500 А) тораптар жатады. Трансформаторлардың бейтарап нүктесі жерлендіргіш құрылғымен аз кедергі арқылы жалғанады (< 1 Ом). Қалыпты режимде торапта, жұмыс токтарынан басқа, сыйымдылық токтар I_C өтеді. Үшфазалық жүйенің симметриясында ΣI_C = 0 бейтарапқа ток ақпайды. I_C сыйымдылық тогы I_L индуктивтікпен салыстырғанда аз.

Жерге тұйықталғанда жерлендіргіш құрылғының, жердің және тұйықталған нүктеден нөл нүктесіне дейінгі желі айланының кедергілерінен

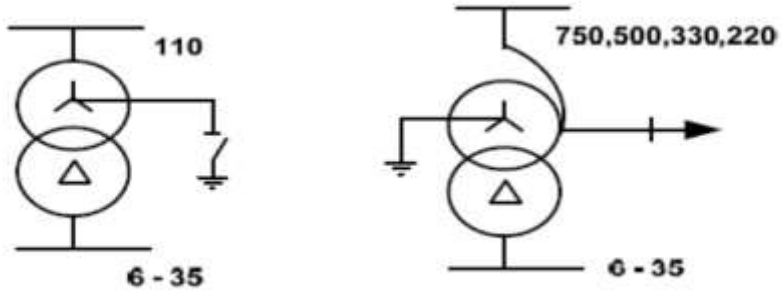
тұратын қысқа тұйықталған контур пайда болады (фаза ЭҚК қосылған) (3.14 сурет).

Тұйықталған контурдың аталған айландары кедергілерінің аздығына байланысты жерге тұйықталу қысқа болады және РҚ құрылғылары ағытып тастайтын үлкен токтармен ілеседі (секундтың ондық үлестері).



а – сұлба;
б – қалыпты режимдегі кернеулердің векторлық диаграммасы.

3.14 сурет – Жоғары кернеу торабы



а – сұлба; *б* – қалыпты режимдегі кернеулердің векторлық диаграммасы.

3.15 сурет - Трансформаторлар бейтарабының жағдайы

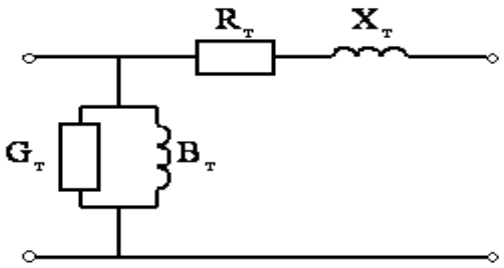
Қатаң жерлендірілген бейтарап өтемделгенмен қатар асқын кернеулерді төмендетудің тиімді шараларының бірі болып табылады. Бұл қажетті оқшауламаны азайтуға мүмкіндік береді, олай болса, торапқа салынатын күрделі қаржыларды да азайтады.

Кемшіліктері:

- ҚТ ағыту электрмен жабдықтаудың үзілісіне алып келеді;
- ҚТ үлкен токтарын қабылдау үшін металды көп қажет ететін жерлендіруші құрылғылардың күрделі жүйесіне күрделі қаржылар қажет;
- бір қатар жағдайларда бірфазалық ҚТ тогы үшфазалық ҚТ тогынан асып кетеді және трансформаторлар бейтараптарының бір бөлігін жерден ажыратады (3.15 сурет).

3.4 Трансформаторлар және автотрансформаторлардың орын ауыстыру сұлбалары, параметрлері

Екіорамды трансформаторлардың әдетте Г- тәрізді орын ауыстыру сұлбалары бар (3.16 сурет).



3.16 сурет

Трансформаторлардың негізгі параметрлерінің санына жатады: қысқа тұйықтау шығындары $\Delta P_к$, бос жүріс шығындары $\Delta P_{хх}$, қысқа тұйықтау кернеуі $U_{к\%}$ және бос жүріс тогы $i_{хх\%}$. Бұл деректер трансформатордың орын ауыстыру сұлбасының барлық кедергілері мен өткізгіштерін анықтауға мүмкіндік береді.

Трансформатордың бір фазасының активтік және индуктивтік кедергілерін қысқа тұйықтау тәжірибесінен анықтауға болады. Бұл тәжірибеде трансформатордың екіншіреттік орамы қысқа тұйықталады, ал біріншіреттік орамға трансформатордың екі орамында номиналды токтар орнайтындай кернеу беріледі. Бұл кернеуді қысқа тұйықтау кернеуі деп атайды.

Қысқа тұйықтау тәжірибесіндегі трансформатордың тұтынатын активтік қуаты іс жүзінде түгелдей оның орамдарының қызуына жұмсалады. Мұнда болаттағы шығындар берілген аз кернеуге байланысты төмен. Сондықтан қысқа тұйықтау тәжірибесінде:

$$\Delta P_{КЗ} = 3 \cdot I_{н}^2 \cdot R_T = \frac{S_H^2}{U_H^2} \cdot R_T,$$

одан

$$R_T = \frac{\Delta P_{КЗ} \cdot U_H^2}{S_H^2}. \qquad (3.10)$$

Қысқа тұйықтау кернеуі $U_к$ екі құраушыдан тұрады: қысқа тұйықтау режимінде ағатын токтан пайда болатын активтік және индуктивтік кедергілердегі кернеудің құлаулары. Және осы кездегі ірі трансформаторларда бірінші құраушы екіншіден көп аз, өйткені $R_т << X_т$. Трансформатордың активтік кедергісіндегі кернеудің құлауын ескермей, есептеуге болады:

$$U_{K\%} \approx U_{r\%} = \frac{I_H \cdot X_T}{U_K} \cdot 100, \tag{3.11}$$

одан

$$X_T = \frac{U_{K\%} \cdot U_K}{I_{\text{Н}} \cdot 100} = \frac{U_{K\%} \cdot U_{\text{Н}}^2}{100 \cdot S_{\text{Н}}}. \tag{3.12}$$

Трансформатордың орын ауыстыру сұлбасының $G_{\text{т}}$ және $B_{\text{т}}$ өткізгіштіктері бос жүріс тәжірибесінің нәтижелері бойынша анықталады, мұнда ағытулы тұрған екіншіреттік орамда біріншіреттік орамға номиналды кернеу беріледі. Трансформатордың орын ауыстыру сұлбасынан байқалатыны, бұл режимдегі трансформатор тұтынатын ток және тиісті қуат магниттеу тізбегінің параметрлерімен анықталады. Онда,

$$\Delta P_{XX} \approx U_{н}^2 \cdot G_T,$$

$$\Delta Q_{xx} \approx U_{н}^2 \cdot B_T,$$

одан

$$G_T = \frac{\Delta P_{xx}}{U_{н}^2}, \tag{3.13}$$

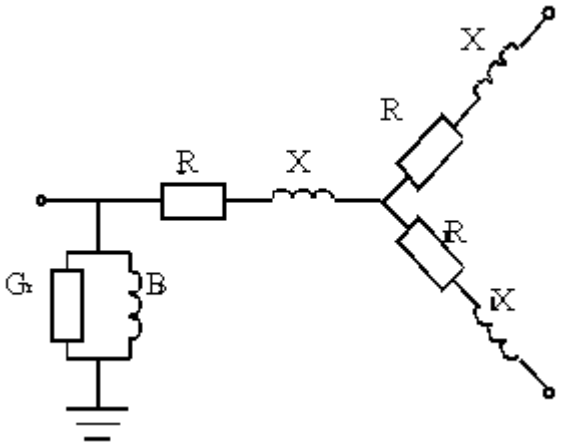
$$B_T = \frac{\Delta Q_{xx}}{U_{н}^2}. \tag{3.14}$$

Магниттеуші қуат ΔQ_{xx} әдетте трансформатордың бос жүрісінің толық қуатына тең қабылданады $S_{\text{х}}$, өйткені активтік қуаттың шығындары ΔP_{xx} ΔQ_{xx} салыстырғанда аз.

Салыстырмалы бірліктердегі қуат S_{xx} пайызбен берілген бос жүріс тогына тең, ол трансформаторлардың паспорттық мәліметтерінде көрсетіледі:

$$I_{XX\%} = \frac{I_{XX}}{I_K} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{XX} \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H \cdot U_H} \cdot 100 = S_{XX\%}.$$

Үшорамды трансформаторлар үш сәулелі жұлдыз түрінде орын ауыстыру сұлбасымен көрсетіледі (3.17 сурет).



3.17 сурет

Осы кездегі үшорамды трансформаторлардың орамдары қуаттарының қатынасы 100/100/100% жасалынады, яғни орамдардың әрқайсысы барлық қуатты беруге есептелген.

Үшорамды трансформатордың орын ауыстыру сұлбасындағы жұлдыз сәулелерінің активтік кедергілерін трансформатордың жалпы кедергісі бойынша анықтайды.

Орамдар қуатының теңдігінде:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 0{,}5R_{жал}.$$

Трансформатордың жалпы кедергісін $R_{жал}$ (3.10) формуласымен анықтайды, бұған трансформатордың паспорттық мәліметтерінде көрсетілген ТК орамының номиналды жүктемесіндегі қысқа тұйықтау қуатының $\Delta P_к$ максималды шығындарын қояды.

Үшорамды трансформаторлар үшін қысқа тұйықтау кернеулерін зауыттар орамдардың әр жұбы үшін номиналдыдан пайызбен $U_{к1\text{-}2\%}$, $U_{к1\text{-}3\%}$, $U_{к2\text{-}3\%}$ береді.

Трансформатор сәулелерінің орын ауыстыруының балама сұлбасына сәйкес бір орам тұйықталмағанда жазуға болады:

$$\left.\begin{aligned} U_{K1-2} &= U_{K1} + U_{K2} \\ U_{K1-3} &= U_{K1} + U_{K3} \\ U_{K2-3} &= U_{K2} + U_{K3} \end{aligned}\right\}. \qquad (3.15)$$

Бұл теңдеулерді $U_{к1}$, $U_{к2}$,$U_{к3}$ байланысты бірге шешіп, табады

$$\left.\begin{aligned} U_{K1} &= 0{,}5(U_{K1-2} + U_{K2-3} - U_{K2-3}) \\ U_{K2} &= 0{,}5(U_{K1-2} + U_{K2-3} - U_{K1-3}) \\ U_{K3} &= 0{,}5(U_{K1-3} + U_{K2-3} - U_{K1-2}) \end{aligned}\right\} \qquad (3.16)$$

Бұл шамаларды (3.12) өрнегіне қойып, трансформатордың әр орамының индуктивтік кедергісін алады.

Өткізгіштіктер трансформатордағы орамдар санынан тәуелді емес және екіорамдыдағыдай анықталады.

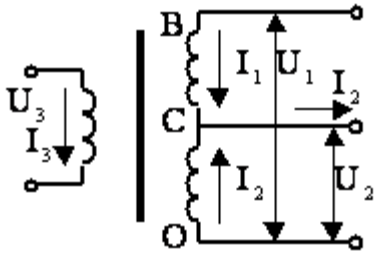
Орамдары ыдыраған трансформаторлар. Бір трансформаторға қабылдайтын қосалқы станцияларда бір немесе әртүрлі кернеулердің екі немесе одан да көп генераторларын немесе тәуелсіз жүктемелерін қосу үшін осы кездегі жоғары кернеудің трансформаторларын екі (немесе одан да көп) тармақтарға ыдыраған төменгі кернеу орамдарымен жасайды.

ТК орамдарынан таратушы құрылғы орамдарының секцияларын бөлек қоректендіру үшін орамдары ыдыраған трансформаторларды қолдану секциялар шиналарындағы қысқа тұйықтау қуатын екі есеге жуық қосарлы ток шектейтін реакторларды орнатпай төмендетуге болады.

Автотрансформаторлар трансформаторлар сияқты номиналды кернеулермен және номиналды қуатпен сипатталады. Автотрансформатордың номиналды қуаты деп жоғары кернеу жағында автотрансформатор арқылы берілетін шектеулі қуат түсініледі:

$$S_{ном} = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1.$$

3.18 суретінде автотрансформатордың бір фазасы орамдарының жалғау сұлбасы келтірілген.



3.18 сурет

Сұлбадан байқалатыны, С және О нүктелері арасында жатқан ВСО жоғары кернеу орамының бөлігі орта кернеудің орамы болып табылады U_2 және ортақ орам деп, ал оның басқа бөлігі ВС – тізбектелген орам деп аталады. Сонымен, автотрансформаторларда орта кернеудің орамы жоғары кернеу орамының бөлігі болып табылады, яғни бұл орамдар өзара электрлік байланысқан, ал төменгі кернеу орамының U_3 олармен магниттік байланысы бар.

Автотрансформаторларды сипаттау үшін типтік қуаттың ұғымы ендірілген, оған тізбектелген орам есептеледі.

$$S_T = \sqrt{3} \cdot I_1 (U_1 - U_2). \qquad (3.17)$$

Осы өрнекті U_1 көбейтіп, бөліп, алады

$$S_T = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1 (1 - \frac{U_2}{U_1}) = S_{ном} \cdot \alpha, \qquad (3.18)$$

мұнда $\alpha = 1 - \frac{U_2}{U_1}$ - автотрансформатордың тиімділік коэффициенті.

Төмендеткіш автотрансформаторда ортақ орамдағы ток жоғары және орта кернеулер орамдарының токтар айырмашылығына тең, яғни

$$I_0 = I_2 - I_1.$$

Сондықтан бұл орам жоғары орамда ағатын автотрансформатордың номиналды тогынан аз токқа есептеледі. Бұл орамның есептік қуаты автотрансформатордың номиналды қуатынан аз және оның типтік қуатына тең. Төменгі кернеу орамы да типтік қуатты беруге есептеледі.

Сонымен, автотрансформаторлардың қиыстырмасы автотрансформатор арқылы оның орамдары есептелген қуаттан артық беруге мүмкіндік жасайды. Осыған байланысты, төмендеткіш автотрансформаторлар номиналды қуаттары бірдей үшорамды трансформаторлардан арзан болады, оларды жасауға активтік материалдардың аз жұмсалатынымен және осының нәтижесі активтік қуаттың аз шығындарымен сипатталады.

Автотрансформатордың орын ауыстыру сұлбасы үшорамдыкіндей үшсәулелі жұлдыз түрінде. Автотрансформатор орамдарының қуаттары 100/100/50% қатынасында сәулелердің активтік кедергілері анықталады

$$R_1 = R_2,\ R_3 = 2R_1 = 2R_2.$$

Индуктивтік кедергілер үшорамдылардікіндей анықталады.

3.5 Желілердегі қуат және энергияның шығындарын анықтау

Электрэнергиясын жеткізгенде электр тораптарының барлық буындарында активтік қуат пен энергияның шығындары болады. Бұл шығындар ауа және кабель желілерінде сонымен қатар төмендеткіш және жоғарылатқыш қосалқы станциялардың трансформаторларында пайда болады.

Активтік кедергісі R үшфазалық желінің айланында активтік қуаттың шығындарын құрайды:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \qquad (3.19)$$

мұнда I – жүктеме тогы.

Егер токты қуат арқылы өрнектесе алады

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}.$$

Токтың мәнін (3.19) қойып, алады

$$\Delta P = 3\left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}\right)^2 \cdot R = \frac{S^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R. \qquad (3.20)$$

Осыған ұқсас реактивтік қуаттың шығындарын алады

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X. \qquad (3.21)$$

Тораптағы активтік энергияның шығындарын активтік қуаттың шығындарын торапта осы жүктememен істеген уақытына көбейтіп, анықтауға болады. Бірақ тұтынушылардың жүктемесі тәулік және жыл уақытында өзгереді, сондықтан қуат шығындары шамасының мөлшері де өзгереді.

Сонымен, әр желі үшін энергия шығындарын анықтау уақыттың шексіз аз элементтерінде қуат шығындарының мәндерін қосу (интегралдау) жолымен жүру керек, яғни

$$\Delta A = \int_0^t \Delta P dt,$$

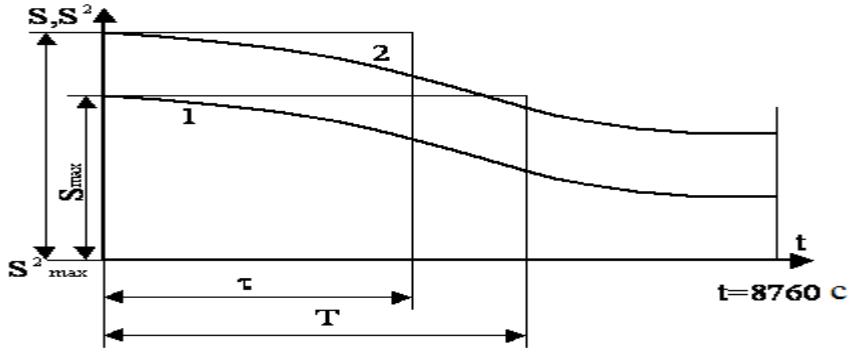
немесе, (3.2) формуласынан ΔР мәнін қойып, алады

$$\Delta A = \int_0^t \frac{S^2}{U^2} \cdot R \cdot dt = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 \cdot dt,$$

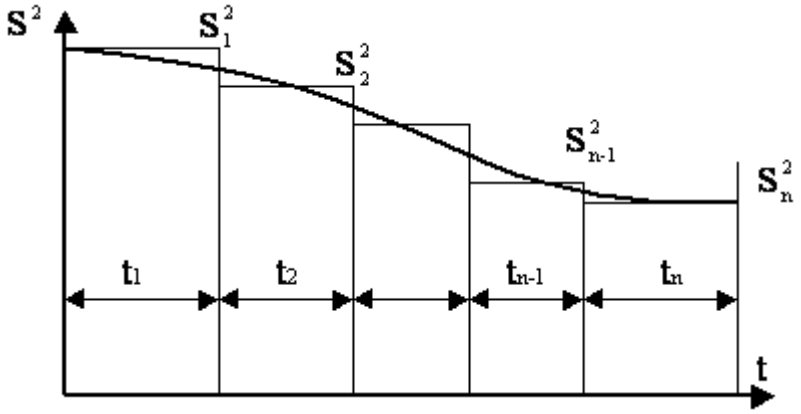
мұнда S – желімен жеткізілетін және t уақытының функциясы болатын толық қуат.

Бұл функцияны әдетте ұзақтық бойынша график түрінде бейнелейді (3.20 сурет). Бұл график тораптың осы жүктememен жұмыс істеу ұзақтығын көрсетеді (1 қисық). Жүктеме қуатының өзгермейтін қуат коэффициентінде осы қисықпен шектелген аудан кейбір масштабта жыл бойында тораппен жеткізілетін энергияның санын көрсетеді және формуламен өрнектеледі

$$A = \int_0^t P dt = \cos\varphi_{op} \int_0^{t=8760} S dt,$$



3.19 сурет – Ұзақтық бойынша жүктеменің жылдық графигі



3.20 сурет - Ұзақтық бойынша жүктеменің сатылық графигі

мұнда $\cos\varphi_{op}$ - қуаттың орташа коэффициенті, жыл бойында шамамен тұрақты етіп қабылданады.

Графиктің (3.7 сурет) 1 қисығын $S^2 = f(t)$ функциясын өрнектейтін 2 квадраттық қисығына қайта құрса, онда шығындар осы қисықпен шектелген аудан бойынша кейбір масштабта жеңіл анықталады:

$$\Delta A = \frac{R}{U^2}\int_0^t S^2 dt.$$

Осыдан байқалатыны, электрэнергия шығындарын анықтау үшін 2 қисықпен шектелген ауданды өлшеу жеткілікті. Іс жүзінде мұны ұзақтық бойынша жүктеме графигін уақыттың жеткілікті аз қиындылары t_1, t_1, … t_n және жүктемелердің тиісті мәндері бар S_1, S_2, … S_n сатылы графикпен ауыстырып, жуықтап жасауға болады (3.20 сурет). Онда энергияның шығындары шамаларды қосумен анықталады:

$$\Delta A = \frac{R}{U^2}\left(S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 + ... + S_{n-1}^2 \cdot t_{n-1} + S_n^2 \cdot t_{n-1} + S_n^2 \cdot t_n\right).$$

(3.22)

Бұл өрнекке шаманы енгізуге болады

$$S_{срқр} = \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + ... + S_n^2 \cdot t_n}{8760}},$$

онда

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} \cdot S_{орқр}^2 \cdot 8760. \qquad (3.23)$$

$S_{ор\ кв}$ шамасының ортаквадраттық деген аты бар, ал қуатты (3.23) формуласымен анықтау әдісін *шығындарды ортаквадраттық қуат бойынша анықтау әдісі* дейді.

Бұл шығындарды жуықтап анықтау әдісінің бір қатар ыңғайсыздығы бар және жүктеме графигі барда қолданылады. Сондықтан шығындарды *максималдық шығындар уақытымен анықтау әдісі* кеңінен тараған, бұл есептерді едәуір қарапайымдатады.

Ұзақтық бойынша жүктеменің жылдық графигі үшін (3.19 сурет, 1 қисық) $S_{мах}$ максималды жүктememен жұмыс істейтін желіде Т уақытында жеткізілетін энергия саны $S=f(t)$ өзгеретін жүктемеде жыл бойында шын мәнінде желімен берілетін энергияның санына тең. Қуаттың өзгермейтін коэффициентінде бұл шартты келесі түрде жазуға болады

$$A = P_{\max} \cdot T = S_{\max} \cdot \cos\varphi_{op} \int_0^{t=8760} Sdt, \qquad (3.24)$$

осыдан

$$T = \frac{\int_0^{t=8760} Sdt}{S_{\max}}. \qquad (3.25)$$

Т шамасы *максималды жүктемені пайдалану уақыты* деп аталады.

Желімен жеткізілетін жылдық энергия санын А және максималды активтік жүктемені $P_{мах}$ біле отыра, (3.24) формуласынан максималды жүктемені пайдалану уақытын анықтауға болады:

$$T = \frac{A}{P_{\max}} = \frac{A}{S_{\max} \cos\varphi_{op}}. \qquad (3.26)$$

Әр тұтынушы үшін өзінің максималды жүктемені пайдалану уақыты бар. Есептерде бұл шаманы статистикалық және анықтамалық мәліметтер негізінде қабылдайды.

Максималды жүктемені пайдалану уақытының шамасын электрэнергия шығындарын анықтау үшін білу керек. Ол үшін τ - *максималды шығындар*

уақытын пайдаланады, яғни бұл уақытта өзгермейтін максималды жүктемемен жұмыс істейтін желінің электрэнергия шығындары жүктеменің жылдық графигімен жұмыс атқарғандағы шын мәніндегі электрэнергияның жылдық шығындарына тең. 2 қисықпен шектелген (3.19 сурет) ауданды қапталдары τ және $S_{\max}^2$ тікбұрыштың ауданымен ауыстырып, алады:

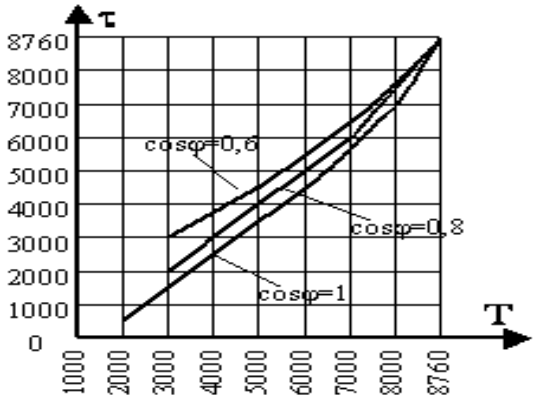
$$\Delta A = \frac{R}{U^2}\int_0^t S^2 dt = \frac{R}{U^2} S_{\max}^2 \tau \qquad (3.27)$$

Осыдан максималды шығындар уақытын алады:

$$\tau = \frac{\int_0^t S^2 dt}{S_{\max}^2}. \qquad (3.28)$$

Іс жүзінде τ шамасын Т уақытынан алады, өйткені олардың арасында белгілі тәуелділік бар.

(3.25) және (3.28) формулаларынан байқалатыны, τ және Т жүктеме графигінің өзгеру сипатынан тәуелді, яғни бұл формулаларда интеграл таңбасында тұрған S=*f*(t) функциясынан. t Т тәуелділігін табу үшін әртүрлі тұтынушылар үшін Т әртүрлі шамалары бар жүктеменің бір қатар графиктерін интегралдауға болады, соны осы графиктердің квадраттық қисықтарымен S^2= *f* (t) жасап, сосын (3.25) және (3.28) формулаларын пайдаланып, cosφ әртүрлі мәндері үшін τ және Т тәуелділіктерін орнатуға болады. Максималды шығындар уақыты тәсілімен энергия шығындарын анықтау нәтижелері 3.21 суретінде қисықтар тобы түрінде берілген.



3.21 сурет

Есептің тәртібі келесі. Қарастырылатын желінің активтік кедергісін R, максималды жүктемесін $S_{мах}$, $cos\varphi_{ор}$ және тұтынушылардың осы категориясы үшін максималды жүктемені пайдалану уақытын біле отыра (3.21 сурет),

тапсырылған $\cos\varphi_{op}$ және белгілі Т үшін максималды шығындар уақытын τ табады. Сосын электрэнергия шығындарын анықтайды.

$$\Delta A = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \cdot \tau.. \tag{3.29}$$

Егер желінің қарастырылатын айланы бойынша қуат әртүрлі тұтынушыларға берілетін болса $P_{мах}$, $P_{2мах}$, $P_{3мах}$ және т.б., онда шығындарды анықтағанда жеткізілетін энергияның қосынды шамасын ескеріп анықтайтын максималды жүктемені пайдалану уақытының орташа шамасын қабылдау керек:

$$T_{ср} = \frac{A}{P_{\max}} = \frac{P_{1\max} \cdot T_1 + P_{2\max} \cdot T_2 + ... + P_{r\max} \cdot T_n}{P_{1\max} + P_{2\max} + ... + P_{r\max}} = \frac{\sum_1^n P_{i\max} \cdot T_i}{\sum_1^n P_{i\max}}. \tag{3.30}$$

Шың формалы графиктер үшін τ шамасы формуламен анықталады:

$$\tau = \left(0{,}124 + \frac{T}{10000}\right)^2 \cdot 8760. \tag{3.31}$$

3.6 Трансформаторлардағы қуат пен энергияның шығындары

Трансформатор арқылы қуаттың шығындары барлық уақытта оның орамдарының активтік және реактивтік кедергілеріндегі қуаттың шығындарымен және болаттың магниттелуімен байланысты. Орамдарда пайда болатын шығындар оларда өтетін токтан тәуелді. Магниттеуге кететін шығындар берілген кернеумен анықталады және тұрақты деп қабылданып, бос жүріс шығындарына теңеледі.

Екіорамды трансформаторларда қуаттың шығындары анықталады:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + 3 \cdot I^2 \cdot R_T = \Delta P_{xx} + \frac{S^2}{U^2} R_T, \tag{3.32}$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + 3 \cdot I^2 \cdot X_T = \Delta Q_{xx} + \frac{S^2}{U^2} X_T.. \tag{3.33}$$

U кернеуі белгісіз жағдайларда оны трансформатордың номиналды кернеуіне теңейді, трансформатордың $R_т$ және $X_т$ кедергілері осы кернеуге келтірілген.

n бірдей трансформаторлар қатар жұмыс істегенде олардың балама кедергісі n есе азаяды, ал магниттеуге кететін шығындар n есе көбейеді:

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \frac{S^2}{U_H^2} R_T, \tag{3.34}$$

$$\Delta Q_T = n \cdot \Delta Q_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \frac{S^2}{U_H^2} X_T, \tag{3.35}$$

Қуат шығындары $r_т$ және $x_т$ кедергілерін алдын ала есептемей, трансформаторлардың каталогтағы параметрлері бойынша табылуы мүмкін. Қысқа тұйықтау шығындары $\Delta P_{кз}$ трансформатордың номиналды тогында анықталатын болғасын:

$$\Delta P_{K3} = 3 \cdot I^2 \cdot R_T,$$

ал кез - келген басқа токта орамдардағы активтік қуаттың шығындары:

$$\Delta P_M = 3 \cdot I_{ном}^2 \cdot R_T,$$

онда келесі тәуелділік әділ:

$$\frac{\Delta P_{K3}}{\Delta P_M} = \frac{I_{ном}^2}{I^2} = \frac{S_{ном}^2}{S^2}.$$

Онда бір трансформаторда:

$$\Delta P_M = \Delta P_{K3} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}^2}, \tag{3.36}$$

ал *n* бірдей трансформаторлардың қатар жұмысында:

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{K3}}{n} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}^2}. \tag{3.37}$$

Реактивтік кедергінің мәнін қойып, (3.12) - ні (3.35) - ке, алады:

$$\Delta Q_T = n \cdot \Delta Q_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}^2}. \tag{3.38}$$

(3.38) – ден байқалатыны, $S=S_{ном}$ болса, қысқа тұйықтау кернеуі $U_к$ трансформатордың орамдарындағы реактивтік қуаттың шығынына тең, ол трансформатордың номиналды қуатының үлесімен өрнектелген.

Үшорамды трансформаторларда және автотрансформаторларда активтік қуаттың шығындары әр орамда қуаттың шығындарын қосумен анықталады

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n}\left(\frac{S_1^2}{U_K^2} \cdot R_1 + \frac{S_2^2}{U_K^2} \cdot R_2 + \frac{S_3^2}{U_K^2} \cdot R_3 \right), \quad (3.39)$$

мұнда S_1, S_2, S_3 - жоғары, орта және төменгі кернеу орамдарынан өтетін қуаттар.

Реактивтік қуаттың шығындары анықталады

$$\Delta Q_T = n \cdot Q_{xx} + \frac{1}{n}\left(\frac{S_1^2}{U_K^2} \cdot X_1 + \frac{S_2^2}{U_K^2} \cdot X_2 + \frac{S_3^2}{U_K^2} \cdot X_3 \right). \quad (3.40)$$

Трансформаторлардағы энергия шығындары анықталады:

$$\Delta A_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{S^2}{U_K^2} R_T \right) \cdot \tau, \quad (3.41)$$

үшорамды автотрансформаторлар үшін

$$\Delta A_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{S_1^2}{U_K^2} \cdot R_1 + \frac{S_2^2}{U_K^2} \cdot R_2 + \frac{S_3^2}{U_K^2} \cdot R_3 \right) \cdot \tau. \quad (3.42)$$

4 Тұйықталмаған және қарапайым тұйықталған электр тораптарының жұмыс режимдерін есептеу

4.1 Торап режимін есептеу мәселесі, негізгі долбарлар

Торап режимін есептеудің негізгі мәселесін режим параметрлерін анықтау құрайды. Бұрында айтылғандай, мұндай параметрлерге жатады: торап айландарындағы токтар, активтік және реактивтік қуаттар, торап түйіндеріндегі кернеулер, жиілік және басқалар.

Есепке алғашқы деректер болады: жүктемелердің есептік қуаттары, бөлек нүктелердегі кернеудің тапсырылған шамалары, торап элементтерінің өзара байланысын және басқа шамаларды сипаттайтын электр жалғауларының сұлбасы.

Тораптың электр есебінің негізгі әдісі тізбектелген жуықтаулар әдісі (итерациялар) болады, онда қойылған мәселеге шала – шарпы жауаптардан дәл шешімдерге көшу қарастырылады. Бірінші жуықтау (нөл итерациясы) мұнда алғашқы шамалардың мүмкін мәндері туралы әртүрлі көзқарастар негізінде алынуы мүмкін. Электр тораптарына байланысты бірінші жуықтау

ретінде тораптың барлық нүктелеріндегі кернеулердің номиналды кернеуге теңдігін алады. Бұл жүктеме токтарын және торап режимінің басқа параметрлерін, соның ішінде жүктеме қысқыштарындағы кернеулерді анықтауға мүмкіндік береді. Табылған кернеулер айқын шешімге екінші жуықтау болып табылады. Осының негізінде қайтадан токтарды тауып, келесі жуықтаулардың нәтижелері берілген дәлдікпен алдындағы нәтижелерден айырмашылығы болғанша есепті жүргізе беруге болады.

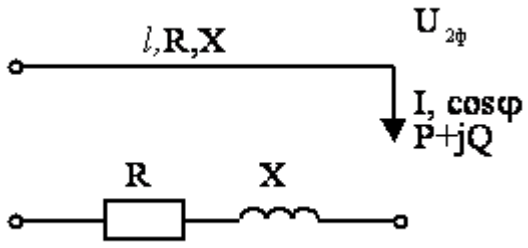
Іс жүзінде электр тораптарының есебін жүргізгенде екінші және бірінші итерациялармен шектелуге болады. Мұндай есептердің қатарына 35 кВ және төмен тораптардың есебі, ал бір қатар жағдайларда – кернеуі 110 және 220 кВ тораптардың жобалау есептері жатады. 35 кВ және төмен тораптардың режимдерін талдағанда бірінші жуықтаумен шектеледі. Бұл тұтынушылардың талабын кернеудің сапасына бірінші жуықтаудың есебінде қабылданған номиналдыдан айырмашылығы аз кернеулерді мұндай тораптардың барлық нүктелері үшін қамтамасыз ету қажеттілігі анықтайды. Мұндағы қате есептің дәлдік шектерінде жатыр. 110 және 220 кВ тораптарының есебін екінші жуықтаумен шектегендегі қате де есептің дәлдік шектерінен аспайды.

4.2 Кернеу шығыны бойынша жүктемесі соңындағы желінің есебі

Симметриялы жүктемесі соңындағы үшфазалық токтың қарапайым желісін қарастырайық (4.1 сурет).

Жүктеме желінің соңындағы $U_{2ф}$ фазалық кернеуде I тогы және cosφ немесе S=P+jQ қуатымен тапсырылған.

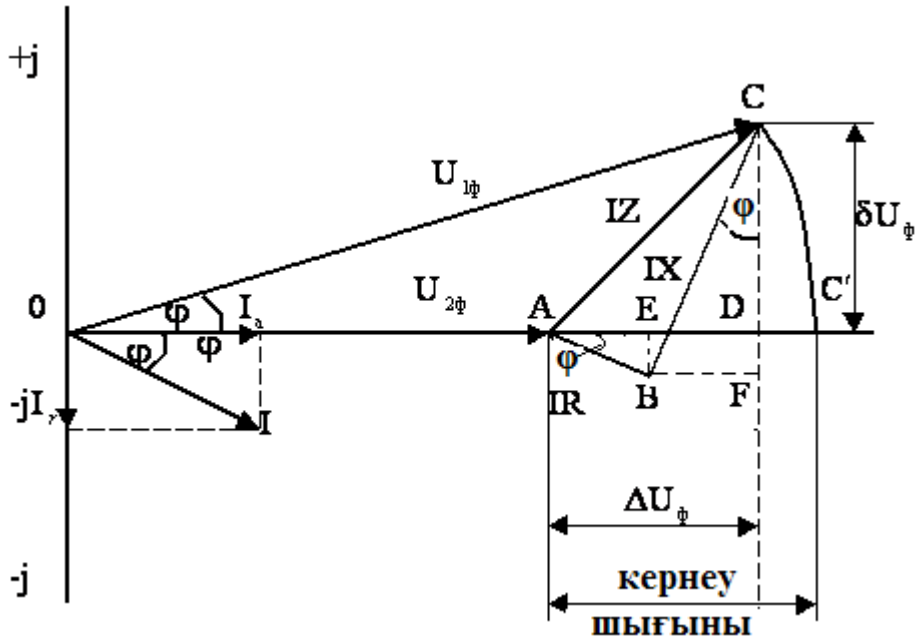
Есеп желінің бір фазасы үшін токтардың және кернеулердің векторлық диаграммасының көмегімен жасалады, бұл рұқсат етіледі, өйткені жүктеме барлық фазаларда симметриялы.



4.1 сурет

Жүктеме тогы I, cosφ және кернеу $U_{2ф}$ белгілі. $U_{1ф}$ анықтау қажет. Айғақты өспен желінің соңындағы тапсырылған кернеудің $U_{2ф}$ (OA) салады. Координат басынан I ток векторын φ бұрышымен салады. Оның активтік құраушысы айғақты өспен I_a, ал реактивтік құраушысы $-jI_r$ - теріс бағытпен жорылған өспен бағытталған. Сонымен, ток пен кернеу векторларының

қабылданған жайғасуында векторлық диаграммадағы ток кешенінің жорылған бөлігінің минус таңбасы тұтынушы жүктемесінің индуктивтік (қалатын) тогын сипаттайды.



4.2 сурет – Жүктемесі соңындағы желінің векторлық диаграммасы

Сосын А нүктесінен I тогының векторына қатар желінің активтік кедергісіндегі кернеудің құлау векторын IR (АВ) және оған 90^0 бұрышпен озу жағына реактивтік кедергідегі кернеудің құлау векторын IX (ВС) салады. А нүктесін С нүктесімен қосып, қарастырылатын желідегі кернеудің толық құлауының векторын алады IZ (АС). $U_{1ф}$ кернеуін табу үшін С нүктесін координат басымен жалғайды, желі басындағы фазалық кернеудің векторын алады $U_{1ф}$ (ОС).

Желідегі кернеудің құлауы:

$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2},$$

құраушыларға бөлінуі мүмкін:
а) бойлық $\Delta U_ф$=АD;
б) көлденең $\delta U_ф$=DC,
яғни $IZ=\Delta U_ф + j\delta U_ф$.

Осы құраушыларды анықтайды. Ол үшін В және С нүктелерінен екі өске перпендикулярлар түсіреді. Нәтижесінде қиындыларды алады:

$$AE = IR\cos\varphi; \quad ED = BF = IX\sin\varphi;$$

$$CF = IX\cos\varphi;\ \ BE = DF = IR\sin\varphi.$$

Осыдан бойлық құраушы:

$$\Delta U_\phi = AD = AE + ED = IR\cos\varphi + IX\sin\varphi = I_a R + I_r X, \qquad (4.1)$$

$$\delta U_\phi = DS = CF - DF = IX\cos\varphi - IR\sin\varphi = I_a X + I_r R. \qquad (4.2)$$

Желінің басындағы кернеу:

$$U_{1ф}=U_{2ф}+\Delta U_ф+j\delta U_ф,$$

ал кернеудің модулі:

$$U_{1\Phi} = \sqrt{(U_{\phi 2} + \Delta U_\phi)^2 + \delta U_\phi^2}. \qquad (4.3)$$

Диаграмманы құрудың нәтижесінде жоғарыда желідегі кернеудің толық құлауының векторы алынды. Кернеудің құлауы деп желінің басы мен соңындағы потенциалдардың геометриялық айырмашылығын түсінетінін айту керек.

35 кВ және төмен тораптарды есептегенде әдетте желінің басындағы кернеуді кернеудің құлауы емес *кернеудің шығыны* бойынша анықтайтын жеңілдіктер енгізіледі. Кернеудің шығыны деп желінің басы мен соңындағы кернеулердің абсолюттік мәндерінің алгебралық айырмашылығын түсінеді.

Кернеудің шығынын анықтау үшін диаграммада ОС қиындысын айғақты өспен біріктіреді ($ОС^1$ қиындысы).

$АС^1 = ОС^1 - ОА = U_{1ф} – U_{2ф}$ қиындысы кернеу шығынын көрсетеді.

35 кВ және төмен тораптар үшін $U_{1ф}$ және $U_{2ф}$ арасындағы бұрыштар өте аз болғанда DC^1 қиындысы да аз, онда кернеудің шығыны шамамен кернеу құлауының бойлық құраушысына тең деп санауға болады:

$$AD \approx AC^1 \approx \Delta U_\phi = \sqrt{3}(R\cos\varphi + IX\sin\varphi.) \qquad (4.4)$$

Желілік кернеудің шығыны:

$$\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_\phi = \sqrt{3}I(R\cos\varphi + X\sin\varphi). \qquad (4.5)$$

Желілік кернеулердің векторлық диаграммасы фазалық кернеулердің диаграммасына ұқсас болады.

Жүктемені активтік және реактивтік қуатпен P+jQ көрсеткенде кернеу шығынының шамасы анықталады:

$$I_a = I\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U}$$

және

$$I_r = I\sin\varphi = \frac{Q}{\left(\sqrt{3}U'\right)},$$

онда, осы мәндерді (4.5) қойып, алады

$$\Delta U = \sqrt{3}\left(IR\cos\varphi + IX\sin\varphi\right) = \sqrt{3}\left(\frac{PR}{\sqrt{3}} + \frac{QX}{\sqrt{3}U}\right),$$

немесе

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}. \qquad (4.6)$$

Жиі есептерде тұтынушылардың кернеуі белгісіз болады, онда желінің соңында іс жүзіндегінің орнына номиналды кернеуді қабылдауға болады:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_H}. \qquad (4.7)$$

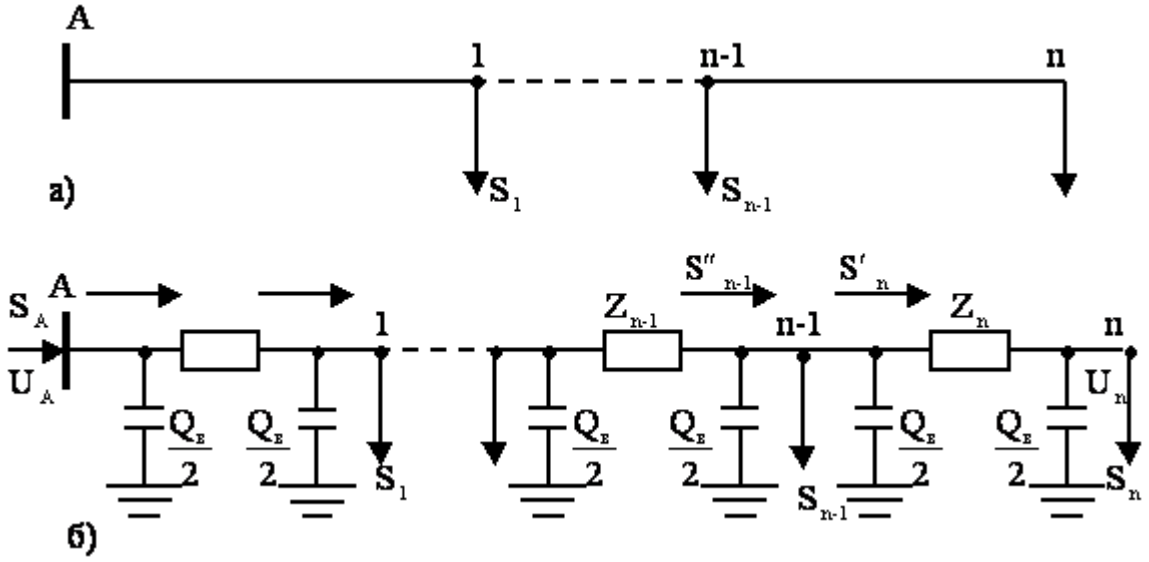
Жүктемесі бірнеше торапты есептегенде кернеу шығынының шамасы тораптың барлық айланындағы кернеу шығындарының қосындысы болып анықталады:

$$\Delta U = \sum_1^n \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U}. \qquad (4.8)$$

4.3 Тұйықталмаған электр тораптарының режимін есептеу

110 – 220 кВ тораптарының режимін есептегенде екі есептік жағдайды айтуға болады: желі соңында тапсырылған кернеу бойынша торапты есептеу (немесе соңының деректері бойынша есептеу) және желінің басында кернеу берілген есеп (басының деректері бойынша есеп).

4.3 суретінде n жүктемесі бар (а) тұйықталмаған тораптың есептік сұлбасы және оның орын ауыстыру сұлбасы (б) көрсетілген.



4.3 сурет

Соңының деректері бойынша есепті қарастырады. Алғашқы мәліметтер болады: желінің соңындағы кернеу U_n, жүктемелердің есептік қуаттары және тораптың параметрлері. Есеп желінің соңынан жүргізіледі. Белгілі кернеу бойынша U_n желінің n соңғы айланында қуаттың шығындары анықталады:

$$\left.\begin{aligned}\Delta P_n &= \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} R_n \\ \Delta Q_n &= \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} X_n\end{aligned}\right\}. \tag{4.9}$$

n айланның басында қуатты табады

$$S_{n-1}^{'} = P_n^{'} + jQ_n^{'} = P_n + \Delta P_n + j(Q_n + \Delta Q_n \cdot Q_m) \tag{4.10}$$

мұнда $Q_{зn}$ - n айланындағы зарядтық қуат.

(n-1) түйініндегі қуаттың теңгерімі бойынша (n-1) айланының соңындағы қуат анықталады

$$S_{n-1}^{''} = P_{n-1}^{''} + jQ_{n-1}^{''} = P_n^{'} + P_{n-1} + j(Q_n^{'} + Q_{n-1}). \tag{4.11}$$

n соңғы айланындағы кернеудің құлауы анықталады

$$\Delta U_n = \Delta U_n + j\delta U_n = \frac{P_n R_n + Q_n X_n}{U_n} + j\frac{P_n X_n - Q_n R_n}{U_n}. \tag{4.12}$$

n айланындағы белгілі кернеу U_n және кернеудің құлауы бойынша n-1 түйініндегі кернеу U_{n-1} анықталады:

$$\dot{U}_{n-1} = \dot{U}_n + \Delta\dot{U}_n = U_n + \Delta U_n + j\delta U_n \qquad (4.13)$$

немесе кернеудің модулі

$$U_{n-1} = \sqrt{(U_n + \Delta U_n)^2 + \delta U_n^2}. \qquad (4.14)$$

U_{n-1} - кернеуін анықтаумен тораптың соңғы айланының режимін есептеу аяқталады. Мұнда келесі айланды есептеу үшін барлық қажет мәліметтер белгілі болады. n-1 айланының есебі n айланындағы формулалармен жасалады. Осыған ұқсас барлық қалған айландар үшін есеп жүргізіледі. $\dot{S}_A$ - қуатын және $\dot{U}_A$ - кернеуін анықтау есептің соңы болады.

Қорек нүктесінде $\dot{U}_A$ - кернеуі белгілі болатын басының деректері бойынша тораптың есептерінде тізбектелген жуықтаулар әдісі пайдаланылады, мұнда есептер екі кезеңде жасалынады.

Бірінші жуықтау ретінде (есептің бірінші кезеңінде) барлық түйіндердегі кернеулер тораптың номиналды кернеуіне тең деп қабылданады. Осы шартта тораптағы қуаттардың таралуы табылады. 4.3 суретіндегі белгілеулерге сәйкес есеп келесі реттілікпен жүргізіледі. Тораптың соңғы айланындағы қуаттың шығындары анықталады:

$$\Delta P_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{} R_n,$$

$$\Delta Q_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{ном}^2} X_n \qquad (4.15)$$

Сосын (4.10) сәйкес осы айланның басындағы $\dot{S}_n$ қуат анықталады. (n-1) түйініндегі қуаттың теңгерімі бойынша n-1 айланының соңындағы қуат (4.11) бойынша анықталады. Осыған ұқсас тораптың барлық қалған айландары үшін есеп жүргізіледі. $\dot{S}_A$ анықталғанша есеп жүргізіледі.

Есептің келесі кезеңінде екінші жуықтауда жүктеме түйіндеріндегі кернеулер анықталады. Есептің алғашқы деректері болады: U_A кернеуі және есептің алдыңғы кезеңінде табылған әр айланның соңындағы қуаттар. Тораптың бас айланы үшін

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_A - \Delta\dot{U}_1, \qquad (4.16)$$

мұнда $\Delta \dot{U}_1$ - тораптың бас айланындағы кернеудің құлауы.

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_A - \Delta \dot{U}_1 - j\delta U \tag{4.17}$$

немесе ашық түрінде

$$\Delta \dot{U}_1 = U_A - \frac{P_1 R_1 + Q_1 X_1}{U_A} - j\frac{P_1 X_1 - Q_1 R_1}{U_A}. \tag{4.18}$$

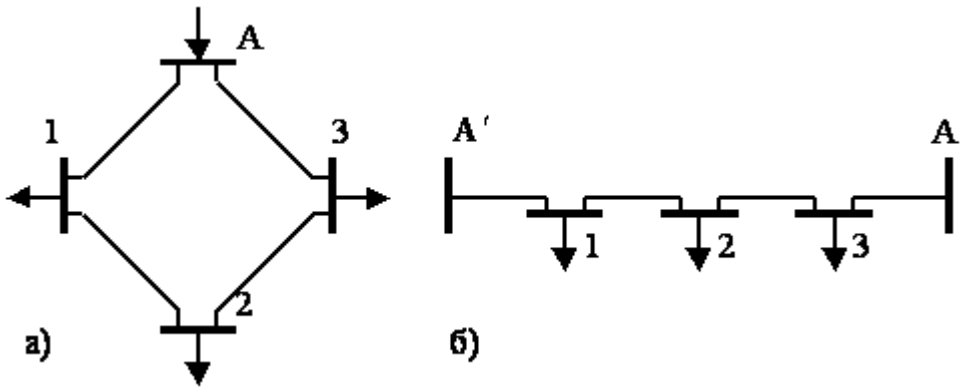
1 нүктедегі кернеудің модулі

$$U_1 = \sqrt{(U_A - \Delta U_1)^2 + \delta U_1^2}. \tag{4.19}$$

Осыған ұқсас тораптың басқа түйін нүктелеріндегі кернеулер анықталады.

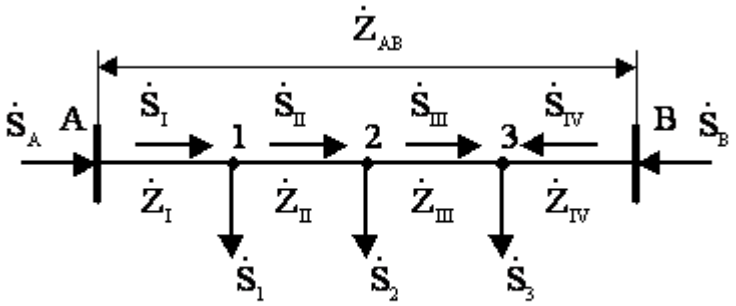
4.4 Сақиналы тораптардың режимдерін есептеу

Ең қарапайым тұйықталған торап сақиналы торап болады. Оның бір тұйықталған контуры бар (4.4, а сурет). Қоректендіруші пункт ретінде электрстанция немесе жүйе қосалқы станциясының шиналары бола алады. Егер осындай торапты қорек көзінен кесіп жазса, онда оның түрі екі жақтан қоректенетін желінікіндей болады, оның соңындағы кернеуінің шамасы мен фазасы тең (4.4, б сурет).



4.4 сурет

Торапты есептеу үшін 4.5 суретінде келтірілген сұлбаны алады. Мұнда $\dot{S}_1$, $\dot{S}_2$, $\dot{S}_3$ қуаттары – қосалқы станциялардың есептік жүктемелері. Тораптың айландарындағы қуат ағындарының бағыты шартты түрде қабылданған. Іс жүзіндегі бағыты есептің нәтижесінде анықталады.



4.5 сурет

Торапты есептеу үшін алғашқы деректер болатындар қорек ортасындағы кернеу, жүктемелердің қуаттары, тораптың параметрлері.

Жүктеме түйіндеріндегі кернеулер белгісіз болғасын, есеп тізбектелген жуықтаулар әдісімен жүргізілу керек.

Тұйықталмаған тораптардың есебіндегідей желі бойынша кернеулердің теңдік шартын қабылдайды. Бұл кернеуді номиналдыға тең қабылдайды. Мұндай долбарларда тораптың айландарында анықталады:

$$\dot{I} = \frac{\dot{S}_n}{\sqrt{3}U_{ном}}.$$

Желінің соңдарындағы кернеулердің теңдік шарты сұлбадағы кернеу құлауының нөлге тең екенін көрсетеді (4.5 сурет).

Кирхгофтың екінші заңының негізінде жазады

$$\frac{\dot{S}_I}{\sqrt{3}U_{ном}}\dot{Z}_I + \frac{\dot{S}_{II}}{\sqrt{3}U_{ном}}\dot{Z}_{II} + \frac{\dot{S}_{III}}{\sqrt{3}U_{ном}}\dot{Z}_{III} - \frac{\dot{S}_{IV}}{\sqrt{3}U_{ном}}\dot{Z}_{IV} = 0$$

Немесе

$$\dot{S}_I \dot{Z}_I + \dot{S}_{II} \dot{Z}_{II} + \dot{S}_{III} \dot{Z}_{III} - \dot{S}_{VI} \dot{Z}_{VI} = 0. \qquad (4.20)$$

2,3 және 4 айландарының осы теңдеуге кіретін қуаттарын $\dot{S}_I$ қуаты және жүктемелердің белгілі қуаттары $\dot{S}_1$, $\dot{S}_2$, $\dot{S}_3$ арқылы өрнектейді.

Қуат шығындарын ескермегенде жазуға болады:

$$\dot{S}_I + \dot{S}_{IV} = \dot{S}_I + \dot{S}_2 + \dot{S}_3,$$

осыдан

$$\dot{S}_I + \dot{S}_{IV} = \dot{S}_I + \dot{S}_2 - \dot{S}_3, \qquad (4.21)$$

Кирхгофтың бірінші заңының негізінде:

$$\dot{S}_{II} = \dot{S}_I - \dot{S}_1; \tag{4.22}$$

$$\dot{S}_{III} = \dot{S}_I - \dot{S}_1 - \dot{S}_2^2. \tag{4.23}$$

(4.21 – 4.23) қатынастарын (4.20) теңдеуіне қойып, түрлендіріп алады:

$$\dot{S}_I = (\dot{Z}_I + \dot{Z}_{II} + \dot{Z}_{III} + \dot{Z}_{IV}) - \dot{S}_1(\dot{Z}_{II} + \dot{Z}_{III} + \dot{Z}_{IV}) - \dot{S}_2(\dot{Z}_{III} + \dot{Z}_{IV}) - \dot{S}_3\dot{Z}_{IV} = 0,$$

Одан сұлбадағы белгілеулерді ескеріп:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_A = \frac{S_1 Z_{1B} + S_2 Z_{2B} + S_1 Z_{3B}}{Z_{AB}}. \tag{4.24}$$

Осыған ұқсас алуға болады:

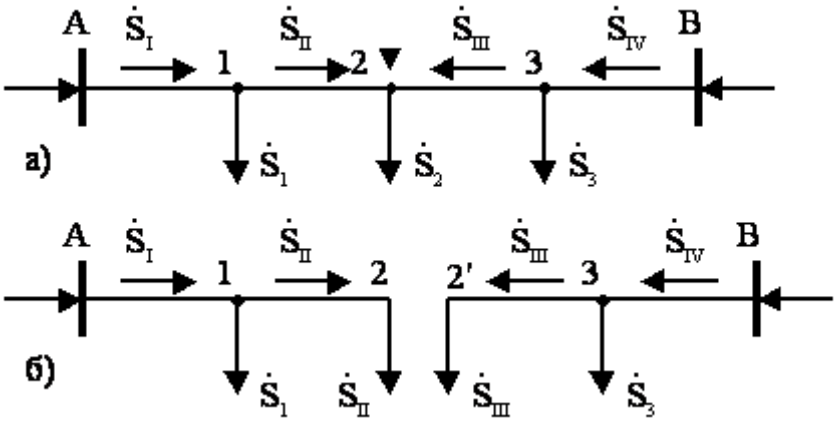
$$\dot{S}_{1V} = \dot{S}_B = \frac{S_1 Z_{1-A} + S_2 Z_{2-A} + S_1 Z_{3-A}}{Z_{AB}}. \tag{4.25}$$

Жалпы жағдайда n жүктемелерде сақиналы торапта

$$\left.\begin{aligned} \dot{S}_{IV} &= \frac{\sum_{m-1}^{n} S_m \dot{Z}_{mB}}{\dot{Z}_{AB}} \\ \dot{S}_{\mathbf{B}} &= \frac{\sum_{m-1}^{n} S_m \dot{Z}_{mA}}{\dot{Z}_{AB}} \end{aligned}\right\}, \tag{4.26}$$

мұнда $\dot{Z}_{mA}$ және $\dot{Z}_{mB}$ - кейбір аралық жүктеме $\dot{S}_m$ қосылған m нүктесінен А және В қорек нүктелеріне дейінгі кедергілер.

Тораптың бас айландарынан өтетін қуаттарды анықтағаннан кейін Кирхгоф заңының көмегімен қалған айландардағы қуаттар анықталады. Осымен бұл желінің режимін есептеудің бірінші кезеңі аяқталады. Екінші кезеңде тораптың түйінді нүктелеріндегі қуат және кернеудің шығындары анықталады. 4.6, а суретінде көрсетілгендей қуаттардың таралуы есептің бірінші кезеңінің нәтижесінде табылды деп есептелсін.



4.6 сурет

2 нүктеге қуат екі жақтан келеді. Бұл нүктені токтың бөліну нүктесі дейді және ол суретте қарайтылған үшбұрышпен белгіленген.

Түйінді нүктелерде кернеулерді есептеу үшін шартты түрде сұлбаны (4.6, а сурет) ағын бөлінетін нүктеден кеседі (4.6, б сурет).

Екі тәуелсіз бөліктен тұратын сұлба алынды, олардың әрқайсысы тарсырылған жүктемелері және жалпы қорек көзінің шиналарындағы $U_A = U_B$ кернеулері бар тұйықталмаған тораптыны сипаттайды. Онда, сақиналы тораптың одан әрі жасалатын есебі тұйықталмаған тораптардікіндей басының деректері бойынша жасалу керек. 110 - 220 кВ тораптар үшін қуаттың щығындары ескеріледі және түйінді нүктелердегі кернеулер анықталады. 35 кВ және төмен тораптар үшін кернеулер қуат шығындарын ескермей есептеледі.

Бір қатар жағдайларда есептің бірінші кезеңінен кейін ағын бөлінуінің екі нүктесі болуы мүмкін: біреуі активтік, басқасы реактивтік қуатпен (4.7, а сурет).

2 нүктесі – активтік қуат үшін ағын бөліну нүктесі, ал 3 нүкте – реактивтік қуат үшін. Бұл жағдайда сақиналы торап ағын бөліну нүктелерінде кесіледі және екі тұйықталмаған желі болып көрсетіледі (4.7, б сурет).

Бұл жағдайда ағын бөліну нүктелерінің арасындағы айланда қуаттың шығындары анықталады:

$$\Delta P_{III} = \frac{P_{III}^2 + Q_{III}^2}{U_{ном}^2} R_{III};$$

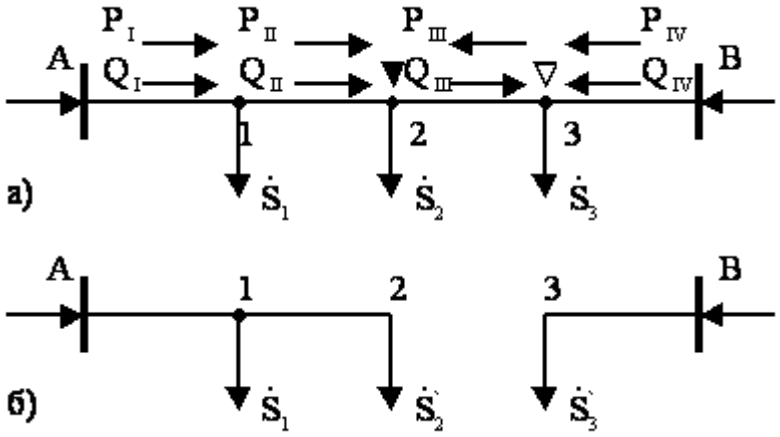
$$\Delta Q_{III} = \frac{P_{III}^2 + Q_{III}^2}{U_{ном}^2} X_{III}.$$

2 нүктедегі жүктемені қабылдайды:

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = P_{II} + j(Q_{II} + \Delta Q_{III});$$

3 нүктеде:

$$\dot{S}_3 = P_3 + jQ_3 = P_{II} + \Delta P_{III} + jQ_{VI}.$$



4.7 сурет

Одан әрі есепті екі тұйықталмаған тораптардікіндей жүргізеді. Алдын ала есептерді жүргізгенде, яғни сымдардың қималары белгісіз болғанда, тораптың барлық айландарындағы сымдар қималарының теңдік шартын қабылдайды. Бұл жағдайда:

$$\frac{X_0}{r_0} = \cos t$$

қатынасы және есепті айландар ұзындығы бойынша жүргізуге болады. Мұнда (4.26) формулалары болады:

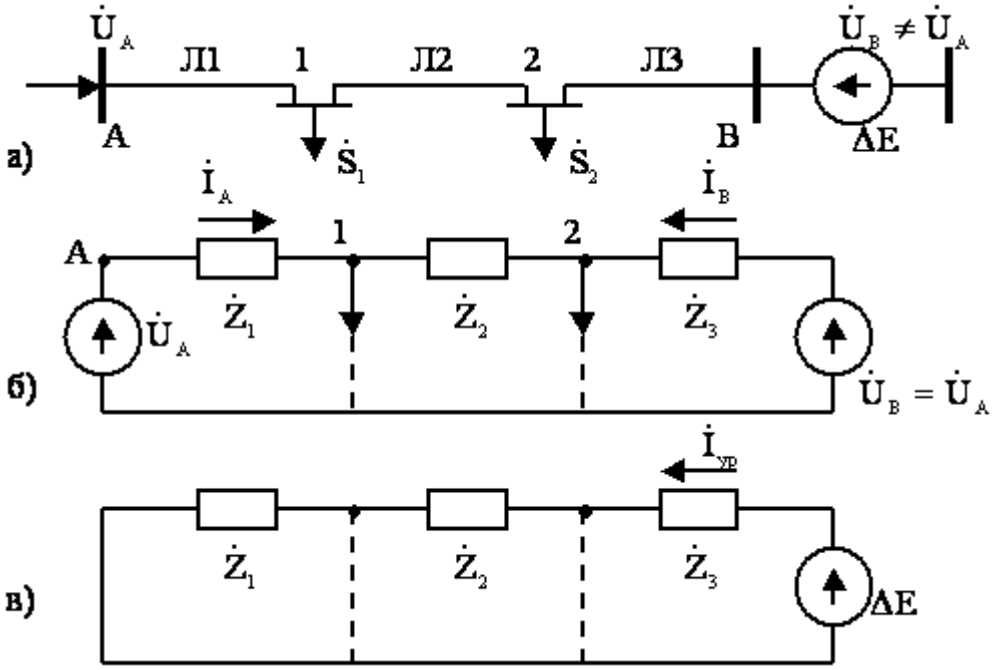
$$\left.\begin{aligned} \dot{S}_A &= \frac{\sum_{m-1}^{n} \dot{S}_m L_{mB}}{L_{AB}} \\ \dot{S}_B &= \frac{\sum_{m-1}^{n} \dot{S}_m L_{mA}}{L_{AB}} \end{aligned}\right\}. \qquad (4.27)$$

4.5 Қорек көздерінің айырмашылығы бар кернеулерінде екі жақтан қоректенетін желілердің режимін есептеу

Соңдарында кернеулері әртүрлі екі жақтан қоректенетін желі қуаттың тәуелсіз көздері бар электр тізбектерінің санына жатады. Мұндай желілерді есептеу үшін беттестіру қағидасы пайдаланылады.

4.8 суретінде (а) $U_A = U_B$ болғанда екі жақтан қоректенетін желінің бастапқы сұлбасы және беттестіру қағидасына сәйкес алынған екі сұлба (б, в) келтірілген. Мұнда В шиналарында кернеудің екі құраушысы көрсетілген, олардың біреуі А шиналарындағы кернеуге тең, яғни

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A + \Delta \dot{E} \qquad (4.28)$$



4.8 сурет

Бастапқы сұлбада токтар токтардың екі жүйе қосындысының нәтижесі ретінде қарастырылады, олардың біреуі ΔЕ = 0 болғанда $\dot{U}_A = U_B$ кернеулерінің әсерімен анықталады (4.8, б сурет), ал басқасы $\dot{U}_A = U_B = 0$ болғанда қосымша э.қ.к. ΔЕ әсерінен пайда болады (4.8, в сурет). Келтірілген сұлбалар бастапқы сұлбаның режимін дәл есептеуге мүмкіндік береді.

Егер 4.8, б суретіндегі сұлба үшін 1 және 2 нүктелеріндегі кернеу номиналдыға тең десек, онда осы сұлбаны есептеу үшін сақиналы сұлба үшін алынған формулаларды пайдалануға болады. 4.8, в суретіндегі сұлбаны есептегенде 1 және 2 түйінді нүктелердің жүктемелерін сұлбадан шығарып тастауға болады (токтар тармақтарда ақпайды), ал желіде ΔЕ қосылған әсерінен пайда болған тек *теңестіруші ток* ағады:

$$I_{ур} = \frac{\Delta E_ф}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{U_{Bф} - U_{Aф}}{Z_{AB}} \cdot . \qquad (4.29)$$

Екі есепті беттестіру нәтижесінде желінің бас айландарындағы қуаттарды алады:

$$\dot{S}_A = \frac{S_1(Z_2 + Z_3) + \dot{S}_2 Z_3}{Z_{AB}} - \sqrt{3}\dot{U}_A \cdot \dot{I}_{ур};$$

$$\dot{S}_B = \frac{S_1 Z_1 + \dot{S}_2(Z_1 + Z_2}{Z_{AB}} - \sqrt{3}\dot{U}_B \cdot \dot{I}_{ур}.$$

Жалпы жағдайда n жүктемелерде (4.29) ескергенде бұл формулалар жазылуы мүмкін:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_1^n \dot{S}_m \dot{Z}_{mB}}{\dot{Z}_{AB}} + \frac{\dot{U}_B - \dot{U}_B}{\dot{Z}_{AB}} \cdot U_A; \qquad (4.30)$$

$$\dot{S}_B = \frac{\sum_1^n \dot{S}_m \dot{Z}_{mA}}{\dot{Z}_{AB}} + \frac{\dot{U}_B - \dot{U}_B}{\dot{Z}_{AB}} \cdot U_B.. \qquad (4.31)$$

Одан әрі есеп ағын бөліну нүктесін және сақиналы тораптардағыдай түйінді нүктелердегі кернеулерді анықтаумен аяқталады.

4.6 Күрделі тұйықталған тораптарды торапты түрлендіру әдісімен есептеу

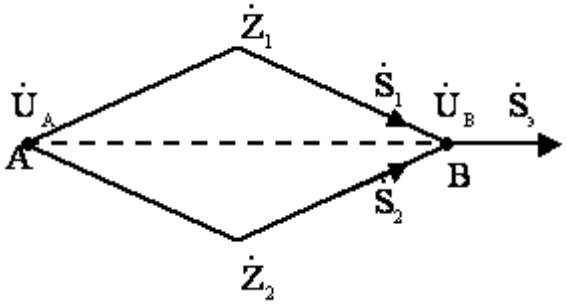
Бір қатар жағдайларда жобалағанда және күрделі емес тораптарды эксплуатация жасағанда ДЭЕМ қолданбай қолмен есептеудің көпке тараған тәсілі – торапты түрлендіру әдісімен күрделі тораптың сұлбасын біртіндеп қарапайымдатумен бірмәртелік есепті жүргізу қажеттілігі пайда болады.

Түрлендіру әдісінің мәнісі берілген күрделі торапты біртіндеп түрлендіру жолымен екі жақтан қоректенетін желіге келтіреді, онда қуаттардың таралуын белгілі әдіспен табады. Сосын, түрлендірілген сұлбаның әр айланында желілік қуаттарды анықтағаннан кейін біртіндеген кері түрлендірулердің көмегімен тораптың бастапқы сұлбасындағы қуаттардың іс жүзіндегі таралуын табады.

Тұйықталған тораптың кез – келген айландарында қатар желілерді баламалау (эквивалентирование) тек сол жағдайда мүмкін, егер осы желілерде қосылған жүктемелер болмаса. Екі желісі қатар тұйықталған тораптың айланы үшін (4.9 сурет):

$$\dot{S}_Э = \dot{S}_1 + \dot{S}_2;$$

$$\dot{Z}_Э = \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}.$$



4.9 сурет

Егер сұлбада аралық жүктемелер болса, онда баламалау мүмкін емес. Ол үшін жүктемелерді тораптың басқа нүктелеріне көшіреді. Мұнда тораптың режимі көшіргенге дейін және кейін өзгеріссіз қалу керек.

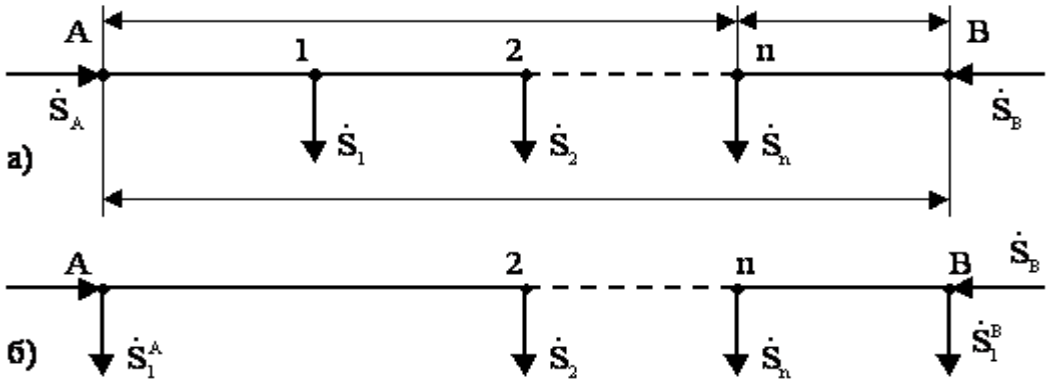
Айнымалы жүктемелердің шамаларын анықтайтын тәуелділіктерін шығаруды жүктемені көшіруге қажет тораптың нүктелері арасында энергия тұтынушыларының бірнешесі болғанда жалпы жағдайға жасауға болады (4.10 сурет).

Торапты екі жақтан қоректенетін желі ретінде қарастырып және (4.26) сәйкес барлық түйіндерде кернеулерді шамасы және фазасы бойынша бірдей деп қабылдап, А және В нүктелерінен шығатын қуаттарды анықтайды:

$$\dot{S}_A = \frac{S_1 Z_{1B} + S_2 Z_{2B} + ... S_n Z_{nB}}{Z_{AB}}, \qquad (4.32)$$

$$\dot{S}_B = \frac{S_1 Z_{1A} + S_2 Z_{2A} + ... S_n Z_{nA}}{Z_{AB}}, \qquad (4.33)$$

Егер S_1 жүктемесін А және В нүктелеріне көшірсе, онда торап айланының сұлбасы келесі түрді қабылдайды (4.10, б сурет), ал $\dot{S}_A$ және $\dot{S}_B$ қуаттары анықталады:



4.10 сурет

$$\dot{S}_A = \frac{S_{A1}Z_{AB} + S_2 Z_{2B} + ...S_n Z_{nB} + S_{B1}Z_{BA}}{Z_{AB}}, \tag{4.34}$$

$$\dot{S}_B = \frac{S_{A1}Z_{AA} + S_2 Z_{2A} + ...S_n Z_{nA} + S_1 Z_{BA}}{Z_{AB}}, \tag{4.35}$$

мұнда $Z_{AA} = Z_{BB} = 0.$

Жүктемелерді қолдану қарастырылатын айланның шекараларынан тыс орналасқан тораптың режимін бұзбау керек, онда $\dot{S}_A = \dot{S}_A$ және $\dot{S}_B = \dot{S}_B$ (4.32) және (4.34) теңдеулерін және (4.33) және (4.35) теңестіріп, алады

$$\dot{S}_n^A = S_1 \frac{Z_{1B}}{Z_{AB}},$$

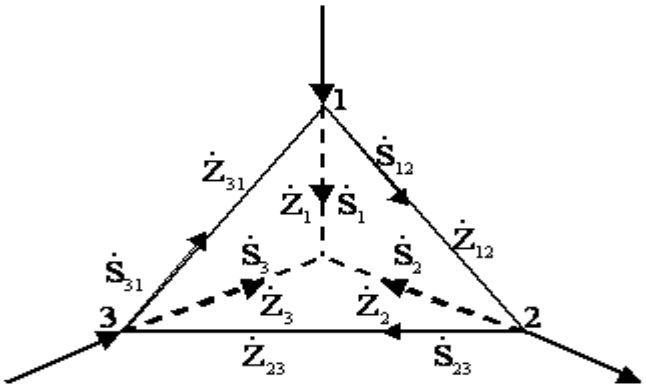
және

$$\dot{S}_n^B = S_1 \frac{Z_{1A}}{Z_{AB}}.$$

Осыған ұқсас жалпы жағдайда кез – келген аралық жүктеме үшін табуға болады:

$$\left.\begin{aligned} \dot{S}_n^A &= \dot{S}_n \frac{\dot{Z}_{nB}}{\dot{Z}_{AB}} \\ \dot{S}_n^B &= \dot{S}_n \frac{\dot{Z}_{nA}}{\dot{Z}_{AB}} \end{aligned}\right\}. \tag{4.36}$$

Кейде тораптың есептегенде үшбұрышты балама жұлдызға және кері түрлендіру қажет болады (4.11 сурет).



4.11 сурет

Балама жұлдыз сәулелерінің кедергілері анықталады

$$\dot{Z}_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}};\ \dot{Z}_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}};\ \dot{Z}_3 = \frac{Z_{13} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}; \qquad (4.37)$$

Кері түрлендірулер

$$\left.\begin{aligned} \dot{Z}_{12} &= \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{\dot{Z}_3}, \\ \dot{Z}_{13} &= \dot{Z}_1 + \dot{Z}_3 + \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2}, \\ \dot{Z}_{23} &= \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_1}. \end{aligned}\right\} \qquad (4.38)$$

Түрлендірген сұлбаны бастапқы халіне қайтарғанда балама жұлдыздың сәулелеріндегі қуаттардың алынған бөлінуі бойынша үшбұрыштың қапталдарындағы қуаттардың таралуын табу керек.

Жұлдыздың сәулелерінде қуаттардың таралуы 4.11 суретіне сәйкес болсын. Үшбұрыштың кез – келген қапталында және оған іргелес жұлдыздың сәулелерінде кернеу құлаулары векторларының теңдігінен үшбұрыш қапталдарындағы қуаттарды алады.

Үшбұрыш қапталдарында қуаттардың бағытын беріп және тораптың номиналды кернеуі бойынша айландардағы токтарды анықтап, алады:

$$\frac{\dot{S}_{12}}{\dot{U}_K}\dot{Z}_{12} = \frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_K}\dot{Z}_1 - \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_K}\dot{Z}_2,$$

одан

$$\left.\begin{aligned} \dot{S}_{12} &= \frac{\dot{S}_1 \dot{Z}_1 - \dot{S}_2 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_{12}}; \\ \dot{S}_{23} &= \frac{\dot{S}_2 \dot{Z}_2 - \dot{S}_3 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_{23}}; \\ \dot{S}_{31} &= \frac{\dot{S}_3 \dot{Z}_3 - \dot{S}_3 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_{31}}. \end{aligned}\right\} \qquad (4.39)$$

Егер нәтиже теріс таңбамен шықса, онда үшбұрыштың осы қапталындағы қуаттың шартты түрде қабылданған бағытын керіге өзгерту керек.

5 Электр жүйелерінің жұмыс режимдері

5.1 Активтік қуаттардың теңгерімі және оның жиілікті реттеумен байланысы

Энергия жүйесінде кез – келген уақытта активтік қуаттардың теңгерімі сақталады:

$$\sum P_г = \sum P_н + \sum \Delta P_с,$$

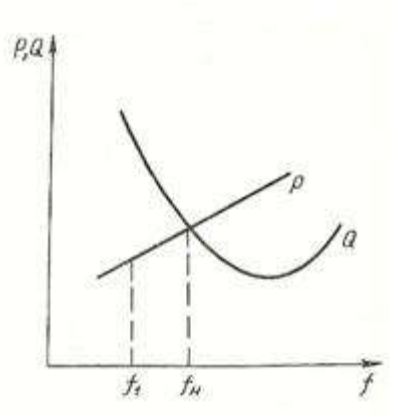
мұнда $\sum P_г$ – электрстанциялар генераторларының қосынды қуаты;

$\sum P_н$ - энергия жүйесі тұтынушыларының қуаты;

$\sum P_н$ - электр тораптарындағы қуаттың қосынды шығындары.

Егер, мысалы, турбинаға энергия тасушыны (бу, су) беруді азайтса, онда $\sum P_г$ қуаты азаяды, және сол тұтынушылардың жүктемесінде $\sum P_н$ қозғалтқыштарды бұрынғы жылдамдықпен айналдыру мүмкін болмайды. Олар тежеле бастайды және жиілік бойынша жүктеменің статикалық сипаттамаларына сәйкес P=f (f) (5.1 сурет) аз активтік қуатты тұтына бастайды. Мұнда f_1 жиілігінде активтік қуаттардың теңгерімі пайда болады, ол $f_н$ бастапқы жиіліктен аз.

Сонымен, кез – келген жиілікте электрстанциялар өндіретін қуат тұтынатын қуатқа тең. Мұнда энергия жүйесіндегі номиналды жиілік электрқабылдағыштардың қалыпты тұтынуын жабуға жеткілікті өндіретін қуаты бар екенін көрсетеді. Төмендеген жиілік номиналдымен салыстырғанда өндірілетін қуаттың жеткіліксіз екенін, ал жоғарылаған жиілік электрстанциялар қуатының артық екенін көрсетеді. Осыдан жиіліктің номиналдыдан ауытқуы болады:



5.1 сурет

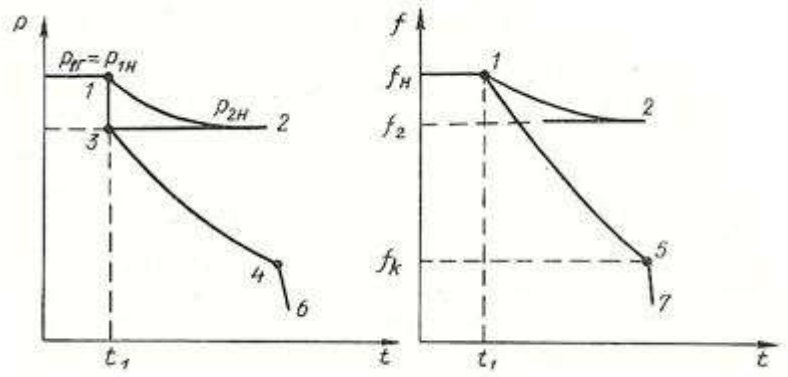
а) электрқабылдағыштардың қосылған қуаты өзгермегенде станциялар қуатының өзгергенінде;

б) электрқабылдағыштардың қуаты өзгергенде және өндірілетін қуаттың тұрақтысында;

в) станциялардың және тұтынушылардың жүктемесі бір уақытта келісілмей өзгергенде.

Активтік қуаттардың теңгерімі күрт бұзылғанда жиіліктің өзгеру сипатын қарастырайық (5.2 сурет). Жиіліктің күрт төмендеуі өндіруші қуаттың аяқ астында істен шыққанында және резервтің жоқтығында немесе жүктелген жүйеаралық желілердің апатты ағытылғанында және қуаттың жеткіліксіз жағдайында жүйенің синхронсыз бөліктерге бөлінгенінде болады.

Бастапқы уақытта жүйедегі номиналды жиілікке $f_н$ тұтынушылардың жүктемесі сәйкес келеді $P_{1н}$, ол барлық генераторлардың жүктемесіне тең $P_{1г.}$



5.2 сурет

Барлық генераторлар толық жүктелген және жүйеде активтік қуаттың резерві жоқ деп есептейік. Бір себептен t_1 уақытында (1 нүкте) $P_{2г} – P_{1г}$ тең (3 нүкте) активтік өндірілетін қуаттың жетіспеуі пайда болды. Ол теңгерімнің бұзылуына алып келеді және тұтынушылардың жүктемесі жиіліктік статикалық сипаттама бойынша оны төмендеген жиілікте қалпына келтіруге

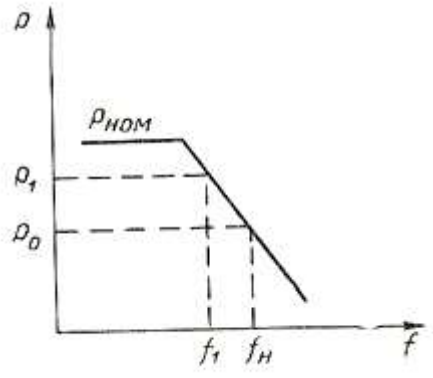
ұмтылады. Егер станциялардың қуаты жиіліктен тәуелді болмаса, онда процес 1 – 2 қисығымен кетер еді. Мұнда жүктеменің және тұтынушылардың баяу өзгеруі жүйенің инерциясымен түсіндіріледі. Тұтынушылардың жүктемесі $P_{2н} = P_{2г}$ жеткенде жаңа төменгі жиілікте f_2 теңгерім қалпына келер еді.

Бірақ жиіліктің төмендеуі және өндіретін қуат резервінің жоқтығы барлық жылу станцияларының 3 – 4 қисығы бойынша қуатының азайуына алып келеді, мұнда электростанциялардың өзіндік мұқтаж механизмдерінің үлкен статикалық арындарына байланысты 3 – 4 қисығы 1 – 2 қарағанда тіктеу. Сондықтан тұтынатын және өндіретін қуаттардың айырмашылығы көбейе береді, бұл жиіліктің 1 – 5 қисығы бойынша одан әрі төмендеуіне алып келеді. Шектеулі жиілікке жеткенде $f_к$ жылу станцияларының қуаты нөлге дейін төмендейді және жиілік күрт төмендейді (4 – 6 және 5 – 7 қисықтары). *Жиіліктің көшкін* процесі пайда болады. Мұнда жұмыс істеп тұрған қозғалтқыштар мен генераторлар күрт тежеледі. Қозғалтқыштар жоғары реактивтік қуатты тұтына бастайды, ал генераторлар айналу жылдамдығы төмендеуі және э.қ.к. азайуына байланысты оны бере алмайды. Торапта кернеудің күрт төмендеуі болады.

5.2 Электр жүйелерінде жиілікті реттеу

Энергия жүйесінің қалыпты режимінде тұтынушылардың құрамы және қуаты өзгеруіне байланысты жиіліктің ауытқулары негізінде реттеуге жатады. Қуаттың осы өзгерістері тәулік ішінде 20 – 50% құрайды.

Жиілікті реттеу үшін электрстанциялардың турбиналарын жылдамдық реттеуіштерімен жабдықтайды. Турбинаның реттеу қабілеті жылдамдықтың сипаттамасымен анықталады. 5.3 суретінде жылдамдық реттеуішінің статикалық сипаттамасы көрсетілген.



5.3 сурет

Реттеу қағидасы жиілік өзгергенде турбинаның қуаты соған сәйкес бұрынғы жиілікке жету үшін өзгеретінінде жатыр. Мысалы, жиілік $f_н$ f_1 дейін

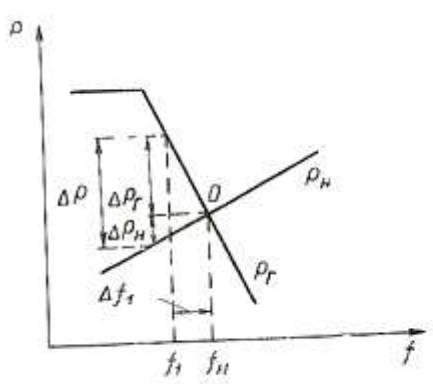
төмендегенде жүктеме P_o P_1 дейін автоматты өседі. Жиілік одан әрі төмендегенде генератордың қуаты $P_{ном}$ номиналдыға тең болғанша өсе береді.

5.2.1 Жиілікті біріншіреттік реттеу.

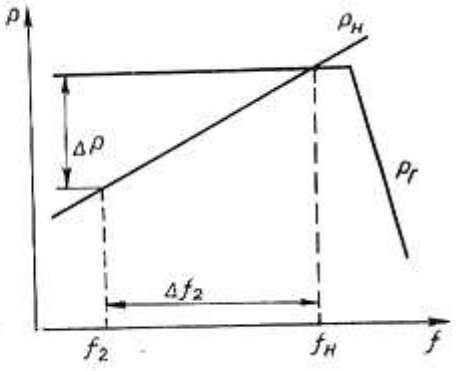
Бір графикте турбинаның жылдамдық реттеуішінің сипаттамасын P=f (f) және тұтынушылардың активтік жүктемесінің жиіліктік статикалық сипаттамасын $P_н$=f(f) тұрғызып, жиіліктің реттеу процесін қарастырайық (5.2 сурет).

Номиналды жиілікте $f_н$(O) нүктесінде жүктеменің қуаты генераторлардың қуатына тең: $P_н$=$P_г$. Кейбір себептерден (мысалы, станциялардың біреуінің жүктемесінің азайуынан) жиілік Δf_1 азайып, f_1 тең болсын. Онда статикалық сипаттама бойынша $P_н$ жүктеменің қуаты $\Delta P_н$ шамасына азаяды, ал генераторлардың қуаты $\Delta P_г$ көбейеді және қуаттың жалпы жетіспеуі құрайды

$$\Delta P=\Delta P_г+\Delta P_н .$$



5.4 сурет



5.5 сурет

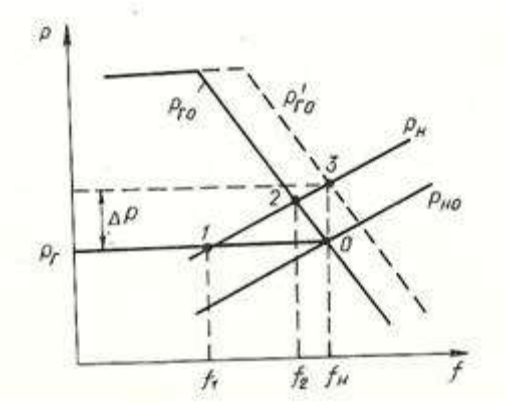
Жиіліктің бұрынғы мәнін сақтауға ұмтылатын генераторлардың және тұтынушылардың жиілік ауытқығанда қуаттардың өзгеру процесін *біріншіреттік реттеу* дейді. Осыдан маңызды іс жүзіндегі қорытынды шығады: жиілік төмендегенде қуаттардың толық жетіспеуі туралы тек генераторлар қуатының көбейуі бойынша қорытынды жасауға болмайды. Тұтынушылар жүктемесінің өзгеруін статикалық сипаттамалар бойынша да ескеру керек.

Егер жиілік төмендеген сәтте генераторларда қуаттың резерві болмаса, онда осындай өндіретін қуаттың азайуы ΔP жиіліктің одан әрі төмендеуіне алып келеді Δf_2 (5.5 сурет). Станциялардың қуатын толық пайдаланғанда жиілікті біріншіреттік реттеу тек тұтынушылардың қуатын өзгерту есебінен жүргізіледі.

5.2.2 Жиілікті екіншіреттік реттеу.

Сипаттамалары статикалық турбиналардың жылдамдық реттеуіштерін жасағанда жиілікті біріншіреттік реттеу жүйеде номиналды жиілікті сүйемелдеуді қамтамасыз етпейді. Сондықтан қосымша екіншіреттік реттеуді қолданады. Онда турбиналардың жылдамдық реттеуіштерінің сипаттамалары өздеріне қатарлас ығысады. Екіншіреттік реттеу қолмен немесе автоматты жасалынуы мүмкін.

Жиілікті біріншіреттік және екіншіреттік реттеудің біріккен процесін қарастырайық (5.6 сурет).



5.6 сурет

Жүйе генераторларының жылдамдықты реттеуштерінің орталандырылған сипаттамасы $P_{го}$ және жүктеменің статикалық сипаттамасы $P_{но}$ белгілі. О нүктесінде $f_н$ жиілігінде активтік қуаттардың теңгерімі сақталады. Егер жылдамдықтың біріншіреттік реттеуштері болмаса, онда тұтынушылардың жүктемесі өскенде генераторлардың қуаты $P_г$ өзгермейді және жиілік f_1 дейін төмендейді, ал жүктеме сипаттамасы 1 нүктеге ығысады да $P_н$ жағдайын алады.

Қосылған жылдамдық реттеуіштерінде генераторлар жүктеменің бір бөлігін алады, және $P_{го}$ және $P_н$ сипаттамаларының қиылысуы 2 нүктеде болады, ал жиілік f_2 болады, мұнда $f_1<f_2<f_н$. Екіншіреттік реттеудің реттеуіштерін қосқанда генераторлардың сипаттамасы $P_{го}$ жиілік номиналдыға $f_н$ тең болғанша ығыса береді (3 нүкте, $P_{го}'$ сипаттамасы). Нәтижесінде жүктеменің барлық өсуін ΔР станциялардың генераторлары өзіне қабылдайды.

Жиілікті екіншіреттік реттеуді жасау үшін жүйеде әдетте бір немесе бірнеше станцияларды бөледі, ал барлық қалғандары тұрақты жүктемені сүйемелдейді және тек жиіліктің біріншіреттік реттеуінің процесінде қатысады.

5.3 Апаттан кейінгі режимдерде жиілікті реттеу

Жиіліктің едәуір ауытқуымен байланысты апаттан кейінгі режим негізінде келесі себептермен пайда болуы мүмкін:

а) өндіруші қуаттың бір бөлігі ағытылғанда және барлық энергия жүйесінде активтік қуаттың жетіспеуі пайда болғанда;

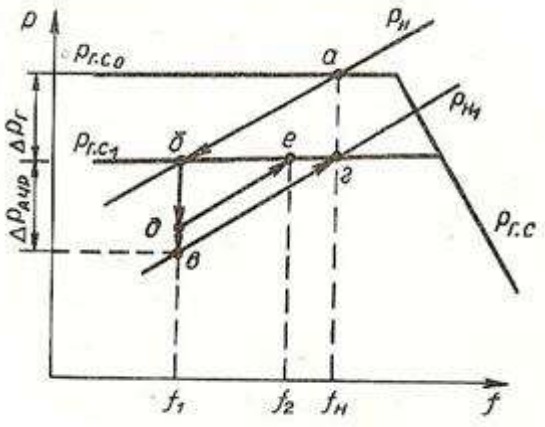
б) жүйенің бөлігі өндіруші қуаттың жетіспеуінен бөлінгенде электрберілістің жүктелген жүйеаралық желілерінің немесе жүйеқұраушы желілердің бір қатары апатты ағытылғанда;

в) бірлестік жүйелері біреуінің генераторлар бөлігі ағытылғанда, осыған байланысты жұмыста қалған генераторлар орнықтылығының бұзылуында және жүйеаралық немесе жүйеқұраушы желілердің одан кейін ағытылуында.

Егер апаттың нәтижесінде ағытылған генераторлардың қуаты жүйенің барлық станцияларындағы резервтен артық болса, онда жиілік номиналдыға дейін қалпына келмейді. Қуаттың едәуір жетіспеуінде жиіліктің төмендеуі үлкен болуы мүмкін, бұл жиіліктің көшкінін тудыруы мүмкін. Оны болдырмау үшін автоматты тезәсерлі шаралар қолданылу керек.

Жиілікті қалпына келтіру автоматты жиіліктік жүктемені азайту (АЧР) жолымен іске асады, мұнда тұтынушылардың бір бөлігі ағытылады. Бұл тұтынушылардың бір бөлігін әдейі ағыту өндіретін қуаттарды жұмыста қалдырып, жүктемелердің көбісінің электрмен жабдықтауын сақтайды.

АЧР әсеріндегі жиіліктің өзгеру процесін қарастырайық (5.7 сурет).



5.7 сурет

Мұнда $P_{гс}$ – жүйенің өндіретін бөлігінің жиіліктік сипаттамасы, ал $P_н$ - жүктеменің статикалық сипаттамасы. Энергия жүйесі резервсіз $P_{гсо}$ жүктемесімен жұмыс істеді және жиілігі номиналдыға тең болды $f_н$. Бұл режим «а» нүктесімен сипатталады, мұнда $P_{гсо}=P_н$. Апаттың нәтижесінде өндіретін қуат $\Delta P_г$ ағытылып қалды делік. Онда жүйенің өндіретін бөлігінің сипаттамасы $P_{гс1}$ жағдайына ығысады және жиілік жүктеменің статикалық

сипаттамасына сәйкес f_1 дейін төмендейді (б нүктесі). Жиілікті номиналдыға дейін көтеру үшін жүктеменің бір бөлігін АЧР көмегімен ағытып тастау керек: $\Delta P_{АЧР}=\Delta P_г$. Бұл статикалық сипаттаманы өзіне қатарлас $P_{н1}$ жағдайына көшірумен көрсетілген (в нүктесі). Мұндай ағытуда өндіретін қуат тұтынатыннан артық болады, және жиілік «вг» түзуімен қалпына келеді. г нүктесінде жаңа өндіруші және тұтынушы қуаттарда номиналды жиілік орнатылады.

Егер АЧР ағытылған өндіруші қуаттан аз жүктемені ағытса (д нүктесі), онда жиілік өседі, бірақ номиналдыға дейін жетпейді (е нүктесі) және f_2 тең болады.

Шамасы 46 Гц және төмен жиілікте пайда болатын жиілік көшкінін болдырмау үшін АЧР көмегімен жиілікті қалпына келтіру жиіліктің 48 – 48,5 Гц және төменге дейін түскенінде жасалыну керек.

Жиілік төмендегенде артық ағытылулар болмас үшін АЧР барлық жүйесін екі категорияға бөледі (АЧР I және АЧР II), олардың әрқайсысы бірнеше кезектердің түрінде жасалынады. АЧР I кезектердің бір – бірінен жиілік ұстамаларымен айырмашылығы бар. Жиілік бойынша жоғары ұстаманы 48,5 Гц жоғары емес, ал төмengіні 46,5 Гц төмен емес қабылдайды. Көрші кезектер арасындағы дерені шамамен 0,1 Гц қабылдайды. Уақыт бойынша бірегей ұстама минималды жасалынады (0,1 – 0,15 сек). АЧР II кезектердің тек уақыт ұстамаларымен айырмашылығы бар. Бастапқы ұстама 5 –10 сек араларында, ал соңғысы 60 – 70 сек таңдалады. Көрші кезектер арасындағы дере шамасы 3 сек тең қабылданады. Жиілік бойынша АЧР II үшін бірегей ұстама АЧР I жоғары ұстамасына тең болу керек немесе біршама жоғары.

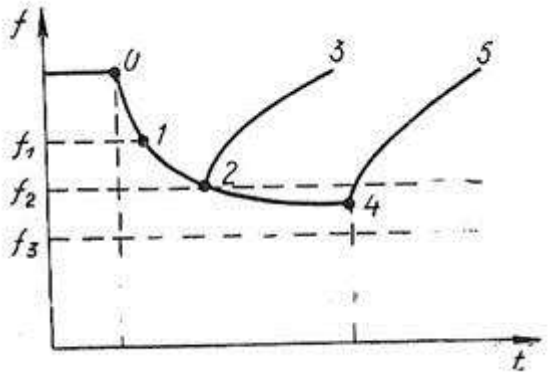
Жиілік төмендегенде АЧР I 1 кезегінің тұтынушылары ағытылады. Егер жиілік одан әрі төмендей берсе, жиілік бойынша ұстамасы аз АЧР I екінші кезегі іске қосылады және т.б. Мұндай АЧР «өздігінен баптанатын» жүйесі пайда болған жетпейтін қуатқа тең тұтынушылардың қуатын ағытуды қамтамасыз етеді.

Егер АЧР I әсерінен кейін жиілік қалпына келмесе, уақыт ұстамаларымен АЧР II кезектері іске кіріседі және қосымша тұтынушылар ағытылады. Мұнда АЧР II жиіліктің «қалықтауын» («зависание») болдырмайды. АЧР II де тұтынушылар апат дамығанда қуаттың жетіспеуі баяу көбейгенде ағытылады.

Активтік қуаттың жетіспеуі пайда болғанда және АЧР әсерінен жиіліктің уақытта өзгергені 5.8 суретінде көрсетілген. О нүктесі қуат жетіспеуі пайда болған уақыттың бастапқы сәтін сипаттайды. Мұнда 0 – 1 қисығы бойынша жиілік төмендейді. Жиілік өзгеруінің біршама баяулығы жүйе инерциясымен түсіндіріледі. 1 нүктеде f_1 жиілігі АЧР I бірінші кезегінің ұстамасына жетеді және тұтынушылардың біршама бөлігі ағытылады. Егер мұнда қуаттың біршама жетіспеуі сақталса, онда жиілік одан әрі төмендейді,

бірақ 1–2 баяу қисығы бойымен. 2 нүктеде f_2 жиілігінде АЧР I екінші кезегінен тұтынушылардың қосымша ағытылуы болады.

Жеткілікті ағытылған жүктемеде генераторлар қуаты тұтынушылардың қуатынан асса, жиілік өсе бастайды (2 – 3 қисығы). Өндіруші және тұтынатын қуат бірдей болғанда жиілік АЧР ұстамаларының арасында қалуы мүмкін (2 – 4 қисығы). Жиіліктің «қалықтауы» пайда болады. Онда біршама уақыттан кейін 4 нүктеде АЧР II бірінші кезегі іске қосылады, одан кейін жиілік өседі (4 – 5 қисығы). Егер жиілік қалпына келмесе, АЧР II екінші кезегі іске қосылады және т.б.



5.8 сурет

Жиілік қалпына келгеннен кейін тұтынушыларды тез қосу үшін АЧР (ЧАПВ) кейінгі автоматты қайта қосуды қолданады. Әдетте оны 49,2 – 50 Гц жиілігіне баптайды, және тұтынушыларды уақыт дересі 5 сек сатылап қосады. Өйткені басқа жағдайда қайтадан жиіліктің төмендеуі пайда болуы мүмкін. ЧАПВ уақыт бойынша бастапқы ұстамасын 10 – 20 сек қабылдайды.

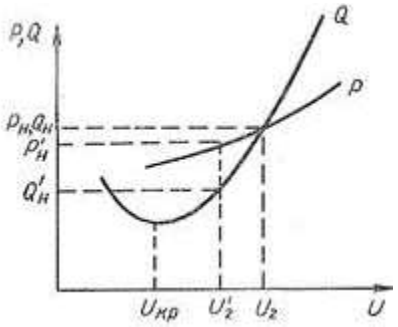
АЧР құрылғыларына әдетте жауапкершілігі аз тұтынушыларды қосады. Бірақ олардың тәуліктің және жылдың кез – келген уақытында жеткілікті қуаты болу керек.

5.4 Реактивтік қуаттардың теңгерімі және оның кернеуді реттеумен байланысы

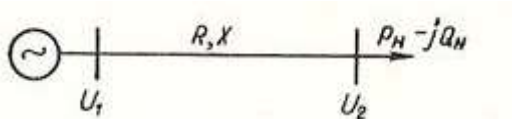
Энергия жүйесінде реактивтік қуаттардың оперативтік теңгерімі сақталу керек:

$$\sum Q_г+\sum Q_в+\sum Q_{к.у}=\sum Q_п+\sum \Delta Q_с,$$

мұнда $\sum Q_г$ – станция генераторларының реактивтік қуаты;
$\sum Q_в$ – электрберіліс желілерінің зарядтық қуаты;
$\sum Q_{к.у}$ – өтемдеуші құрылғылардың қуаты;
$\sum Q_п$ – тұтынушылардың реактивтік қуаты;
$\sum \Delta Q_с$ – электр тораптарында реактивтік қуаттың шығындары.



5.9сурет



5.10 сурет

Бұл теңгерім кернеу бойынша жүктеменің статикалық сипаттамаларымен сәйкес В өндіруші қуаттың өзгеруі есебінен тұрақты сақталады (5.9 сурет).

Реактивтік қуаттың теңгерім шарты тікелей электр торабындағы кернеулердің шамаларымен байланысты. Осы байланысты тораптың бір элементі сұлбасының үлгісінде қарастырайық (5.10 сурет). Уақыттың бастапқы сәтінде реактивтік қуаттың теңгерімі болды және желінің басындағы кернеу U_1, ал оның соңында U_2 тең. Бұл кернеулерге статикалық сипаттамалар бойынша тұтынушылардың жүктемесі сәйкес келеді $P_н+jQ_н$. Желінің соңындағы кернеуді анықтауға болады:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_H R + Q_H X}{U_2}.$$

Егер реактивтік қуаттың көзін жүктемеден азайту есебінен кернеуді U_1 ден U_1' дейін төмендетсе, онда жүктеме түйінінде кернеу U_2 ден U_2' дейін төмендейді. Мұнда статикалық сипаттамалар бойынша тұтынушылардың қуаты $P_н'+jQ_н'$ дейін төмендейді (5.9 сурет) және желінің соңындағы кернеу:

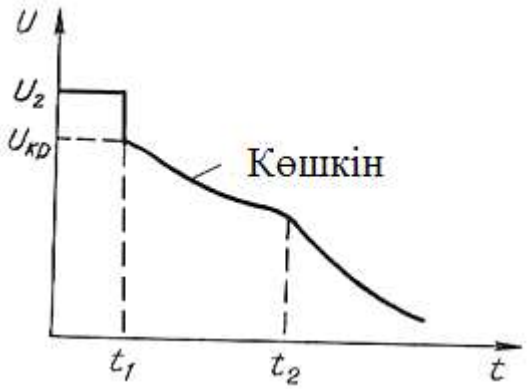
$$U_2' = U_1' - \frac{P_H' R + Q_H' X}{U_2}.$$

U_2 кернеуінің өзгеруі желінің басындағы кернеудің төмендеуінен және кернеу шығындарының өзгеруінен болады. Реактивтік қуаттың статикалық сипаттамалары активтік қуаттың сипаттамаларынан едәуір тік. Кернеу өзгеруінің әр пайызына активтік қуаттың 0,6–2%, ал реактивтіктің 2-5% өзгеруі болады. Сондықтан U_1 кернеуінің төмендегенінде кернеу шығындары төмендейді. Нәтижесінде U_2 өзгеруі U_1 өзгеруінен аз болады:

$$U_2 - U_2' < U_1 - U_1'.$$

Сонымен, статистикалық сипаттамаларға сәйкес тұтынушылардың жүктемесі өзгеру есебінен U_2 кернеуінің біршама реттелуі болады. Бұл процес кернеу бойынша *жүктеменің реттеуші әсері* деп аталады. Мұндай реттеудің нәтижесінде U_1' және U_2' кернеулерінің жаңа мәндеріне реактивтік қуат теңгерімінің жаңа шарты сәйкес келеді.

Жүктеменің реттеуші әсері $U_{кр}$ кейбір шектеулі кернеуге дейін болады. Егер U_2 кернеуі шектеуліден төмен болса, онда кері құбылыс болады: кернеудің төмендеуі тұтынушылардың реактивтік жүктемесінің өсуін тудырады, бұл кернеу шығындарының өсуіне және U_2 кернеуінің одан әрі төмендеуіне алып келеді. Кернеу көшкіні басталады және реактивтік қуаттың теңгерімі бұзылады (5.1 сурет). Мұнда t_1 – кернеудің $U_{кр}$ дейін төмендеу сәті, ал t_2–t_1 уақыт аралығы көшкіннің даму процесі (бірнеше секунд). Кернеу көшкінінің нәтижесінде жүктеме орнықтылығы бұзылады, ол тұтынушылардың өздігінен жүктемеден арылуымен өрнектеледі. Оларды ағытқаннан кейін кернеу қалпына келеді.



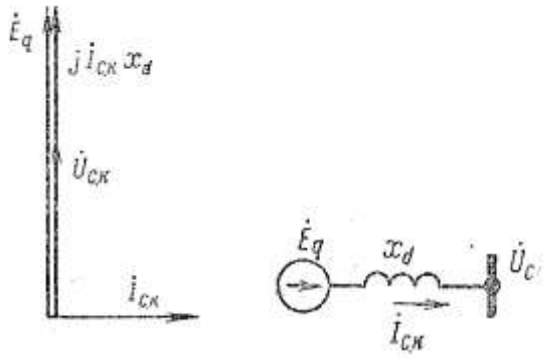
5.11 сурет

Тұтынушылардың сипаты аралас түйіндері үшін шектеулі кернеу тораптың номиналды кернеуінің 0,8 – 0,75 құрайды. Кернеу көшкіні реактивтік қуаты жетіспейтін барлық энергия жүйесінде және бөлек түйіндерде пайда болуы мүмкін. Кернеу көшкінін болдырмау үшін арнаулы шараларды қолданады.

5.5 Электр тораптарында реактивтік қуаттың көздері

Генераторлардан басқа, реактивтік қуаттың көздері ретінде қосалқы станцияларда немесе электрэнергия тұтынушыларында тікелей орналасқан басқа құрылғылар да бола алады.

Мұндай құрылғылардың қатарына синхронды өтемдеушілер жатады – қоздыру орамы орналасқан роторы айқын полюсті айналатын машиналар. Синхронды өтемдеушінің режимі бос жүріс режимінде жұмыс істейтін синхронды қозғалтқыштың режиміне ұқсас.



5.12 сурет

5.12 суретінде синхронды өтемдеушінің орын ауыстыру сұлбасы және векторлық диаграммасы берілген, соңғының негізінде синхронды өтемдеушінің тогы анықталады:

$$I_{C.K/} = \frac{E_q - U_{CK}}{\sqrt{3}X_d}.$$

олай болса, оның қысқыштарындағы қуат

$$S_{C.K} = Q_{C.K} = \sqrt{3}U_{C.K}I_{C.K} = \frac{E_q - U_{C.K}}{X_d}U_{C.K}. \qquad (5.1)$$

Синхронды өтемдеуші қуатының шамасы және таңбасы өтемдеушінің Э.Қ.К. мен оны торапқа қосқан нүктесіндегі кернеудің қатынасынан тәуелді екенін (5.1) өрнегі көрсетеді. Электрқозғаушы күш қоздыру тогының шамасымен анықталады, мұнда қоздыру тогының өсуіне Э.Қ.К. көбейуі сәйкес келеді.

Қоздыру тогы үшін $E_q=U_{с.к}$ болғандағы мәнін қабылдауға болады. Бұл жағдайда синхронды өтемдеушінің қуаты $Q_{с.к}=0$. Токты біршама көбейткенде өтемдеуші белгілі реактивтік қуатты береді $Q_{с.к}>0$. Синхронды өтемдеушінің мұндай режимі *өздігінен қоздыру режимі* деп аталады. Қоздыру тогын азайтып, *шала қоздыру режимін* алуға болады, мұнда $E_q<U_{с.к}$ және $Q_{с.к}<0$. Синхронды өтемдеушіні бір режимнен басқаға өткізу және оның қуатын өзгерту үшін қоздыру тогын тиісті өзгерту керек, мұнда өтемдеушінің режимін басқару қолмен және автоматты реттегенде секіртпей баяу жасалынады.

Синхронды өтемдеушінің номиналды қуаты асқын қоздыру режимі үшін көрсетіледі, мұнда өтемдеуші торапқа реактивтік қуатты береді. Шала қоздыру режимінде өтемдеуші тораптан реактивтік қуатты тұтынады. Оның шектеулі қуаты мұнда анықталады

$$Q_{C.K(ндв)} = -\frac{U_{C.K}^2}{X_d}. \qquad (5.2)$$

Өтемдеушілердің реактивтік кедергісі салыстырмалы бірліктерде X_d=1,7 - 2,0%, сондықтан, базистік шамалар ретінде өтемдеушінің номиналды қуатын және номиналды кернеуін алып, өтемдеушінің кернеуі болады

$$Q_{C.K(ндв)} \approx \frac{1}{1{,}7 - 2{,}0} = -(0{,}6 - 0{,}5).$$

Асқын қоздыру режимінде жұмыс істейтін синхронды өтемдеуші торапта кернеу төмендегенде торапқа беретін реактивтік қуатты көбейтуге қабілеті бар. Бұл көбейу $U_{с.к}$ кернеуі төмендегенде сонымен бірге E_q Э.Қ.К. өссе үлкен болатынын (5.1) өрнегі көрсетеді. Мұндай әсер өтемдеушінің қоздыру тогын автоматты реттегенде орын алады. *Оңтаңбалы реттеуші әсер* деп аталатын синхронды өтемдеушілердің көрсетілген ерекшелігі оларды қолданғанда электр торабы және жалпы жүйе режимінің сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді.

5.13 суретінде тораптың соңғы айланының сұлбасы көрсетілген. Тұтынушының шиналарында реактивтік кедергісі $X_к$ статикалық конденсаторлардың батареясы қосылған, оның қуаты анықталады

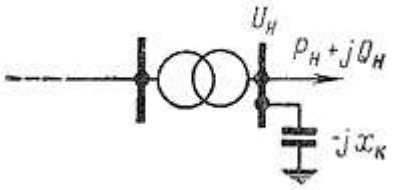
$$Q_K = \frac{U_H^2}{X_k}. \qquad (5.3)$$

Конденсаторлар батареясының әсерінен желідегі реактивтік қуат жүктеменің қуаты өзгермегенде азаятынын бұл сұлба үшін тұрғызылған векторлық диаграмма көрсетеді (5.13 сурет).

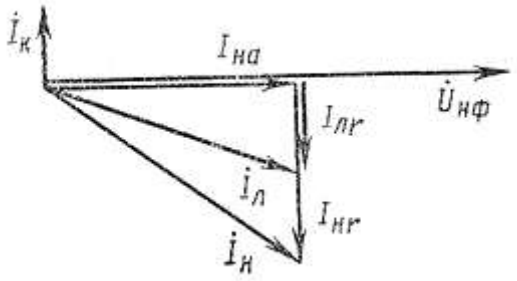
Конденсаторлар батареясы синхронды өтемдеушіге қарағанда тек реактивтік қуатты бере алады. Конденсаторлар батареяларының басқа ерекшелігі олардың беретін реактивтік қуатының торапқа батареяның қосылған нүктесіндегі кернеуден күрт тәуелділігі.

Бұл кернеудің төмендеуі $Q_к$ азайуына алып келетінін (5.3) формуласы көрсетеді. Онда, синхронды өтемдеушіге қарағанда конденсаторлар батареясы теріс таңбалы реттеуші әсермен сипатталады. Кернеу күрт төмендегенде батарея қуатын азайту дәрежесін өзгерту немесе біршама оң таңбалы реттеуші әсерге жету үшін $X_к$ кедергісін азайту жолымен жетуге болады. Бұған қосымша конденсаторларды қосып жетуге болады. Батарея қуатын күрт өзгертуге батареяны тездету (форсировка) деп аталатын ауыстырып қосулармен жетуге болады, олар бөлек конденсаторлардағы кернеуді өсіреді. Мысалы, статикалық конденсаторлардың үшфазалық батареясын жұлдыздан

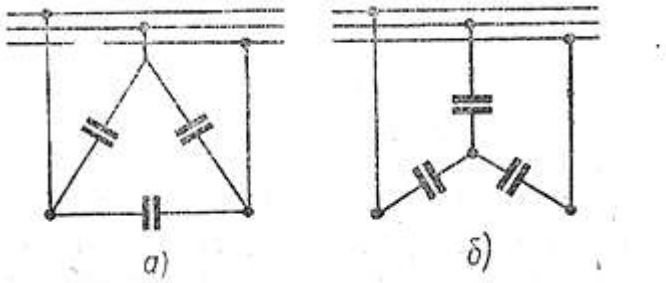
үшбұрышқа ауыстырып қосып, (5.14 сурет) батареяның әр фазасында кернеуді $\sqrt{3}$ есе көбейтуге болады.



5.13 сурет



5.14 сурет



5.15 сурет

6 Электр тораптарындағы электрэнергия сапасы және кернеуді реттеу

6.1 Электрэнергия сапасының электрқабылдағыштар мен электраппараттардың жұмысына әсері

Электрэнергияның сапасы айнымалы токтың жиілігіне және кернеулердің режиміне қатысты белгілі көрсеткіштермен сипатталады. Электрэнергияның сапасы электрқабылдағыштардың жұмысына, сонымен қатар электр тораптарына қосылған электр аппараттарының жұмысына әсері бар. Барлық электрқабылдағыштар және аппараттар белгілі номиналды параметрлермен ($f_{ном}, U_{ном}, I_{ном}$ және т.б.) сипатталады. Осы параметрлердегі жұмыс техникалық және экономикалық тұрғыдан ең тиімді деп есептеледі. Қазіргі уақытта жүктемелері күрт айнымалы жүктемелері немесе фазалар

бойынша қалыпсыз таралуы бар және синусоидалы емес токтар мен кернеулері бар электрқабылдағыштар өте көп (прокат стандары, доғалы болат балқытатын пештер, түзетуші қондырғылар, электрлендірілген көлік, электролиз). Осының бәрі электрэнергияның сапасын бұзады.

6.2 Электрэнергия сапасының көрсеткіштері

Электрэнергия сапасының көрсеткіштері екі топқа бөлінеді: негізгі және қосымша. Негізгі көрсеткіштер электрэнергияның сапасын сипаттайтын қасиеттерді анықтайды.

Рұқсат етілген мәндері орнатылған электроэнергия сапасының негізгі көрсеткіштеріне жатады: жиіліктің ауытқуы, кернеудің ауытқуы, кернеудің тербелісі, гармоникалық құраушысының коэффициенті, кернеулердің кері реттілігінің коэффициенті, кернеулердің нөл реттілігінің коэффициенті.

Жиіліктің ауытқуы – бұл жиіліктің іс жүзіндегі және номиналды мәнінің арасындағы айырмашылық:

$$\Delta f = f - f_{\text{ном}}.$$

Жиіліктің ауытқуы барлық энергия жүйесіне бірдей, өйткені осы кездегі жиіліктің мәні генераторлардың айналу жиілігімен анықталады. Қалыпты орныққан режимдерде барлық генераторлардың жиілігі синхронды. Сондықтан жиіліктің ауытқуы – бұл электрэнергия сапасының жалпы жүйелік көрсеткіші.

Электр тораптарының іс жүзіндегі режимдерде түйінді нүктелердегі кернеулердің номиналдыдан айырмашылығы бар. Сондықтан кернеу сапасы көрсеткіштерінің мәндері электр торабының әртүрлі нүктелерінде әртүрлі.

Кернеудің ауытқуы – бұл кернеудің іс жүзіндегі және номиналды мәндері арасындағы айырмашылық:

$$\delta U_{\text{у}} = U - U_{\text{ном}},$$

немесе номиналдыдан пайызбен:

$$\delta U_y = \frac{U - U_{ном}}{U} \cdot 100. \qquad (6.1)$$

Кернеудің тербелісі – бұл кернеудің ең үлкен және ең аз мәндерінің арасындағы айырмашылық, номиналдыдан %:

$$\Delta U_{t\%} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{ном}} \cdot 100. \qquad (6.2)$$

Кернеудің кері реттілігінің коэффициенті – бұл кернеулердің симметриясыздығын анықтайтын сапа көрсеткіші, %:

$$K_{2y} = \frac{U_{2(1)}}{U_{ном}} \cdot 100. \qquad (6.3)$$

мұнда $U_{2(1)}$ - кернеулердің үшфазалық жүйесінің негізгі жиілігінің кері реттілігі кернеуінің әсерлік мәні.

Осыған ұқсас үшфазалық төртсымды жүйе кернеулерінің нөл реттілігінің коэффициенті K_{ou} анықталады. K_{ou} коэффициенті (6.3) ұқсас анықталады, тек $U_{2(1)}$ орнына негізгі жиіліктің нөл реттілігінің әсерлік мәні пайдаланылады $U_{2(1)}$.

Кернеулер қисығының синусоидалы еместік коэффициенті:

$$K_{HCU} = \frac{\sqrt{\sum_{y=2}^{n} U_y^2}}{U_{ном}} \cdot 100,$$

мұнда U_γ - кернеудің гармоникалық құраушысының әсерлік мәні,

γ - кернеудің гармоникалық құраушысының дәрежесі;

n – кернеудің ескерілетін гармоникалық соңғы құраушысының дәрежесі.

Электрэнергияның сапа көрсеткіштерінің рұқсат етілген мәндері:

	Қалыпты	Максималды
Кернеудің орныққан ауытқуы, %	± 5	± 10
Синусоидалы емес коэффициенті, %, артық емес, электр торабында кернеуі		
1 кВ дейін	8	12
6 – 20 кВ	5	8
35 кВ	4	6
110 кВ және жоғары	2	3
Кернеулердің кері реттілігінің коэффициенті, %, артық емес	2	4
Кернеулердің нөл реттілігінің коэффициенті, %, артық емес	2	4
Жиіліктің ауытқуы, Гц	± 0,2	± 0,4

6.3 Электр тораптарында кернеуді реттеу мәселесі

Электрқабылдағыштар мен электраппаратарының кернеудің сапасына қоятын талаптарын қамтамасыз ету үшін электр торабының әр нүктесіндегі

кернеулердің мәндері белгілі рұқсат етілген шектерде болу керек. Кернеулердің іс жүзіндегі рұқсат етілген режимін арнаулы реттеуші құрылғыларын қолданбай қамтамасыз ету мүмкін, егер торапта кернеудің қосынды шығындары салыстырмалы көп болмаса. Бұл аралық трансформациялары аз ұзақ емес электр тораптарында мүмкін жағдай.

Осы кездегі электр жүйелері көп сатылы трансформациямен және әртүрлі кернеулердегі желілердің үлкен ұзындығымен сипатталады. Кернеу шығындарының қосынды шамасы электрэнергияны көздерден тұтынушыларға жеткізгенде үлкен болады. Жүктеме мәндерінің ең аздан ең үлкендерге дейін өзгергенде кернеудің қосынды шығындары да өзгереді. Нәтижесінде электрқабылдағыштардың қысқыштарында рұқсат етілгеннен асып кететін едәуір шектерде кернеудің өзгеруі болады. Бұл жағдайда арнаулы реттеуші құрылғыларды қолданбай кернеудің қажетті сапасын қамтамасыз ету мүмкін емес.

Кернеуді реттеудің мақсаты алдын ала тапсырылған заңдар бойынша тораптың бөлек пункттерінде кернеулердің режимін әдейі өзгерту болып табылады. Ең сенімді және экономикалық тиімді болатын кернеуді автоматты реттеу. Кернеуді реттеудің заңдары реактивтік қуат көздерінің, электр тораптарының және оларға қосылған электрқабылдағыштардың ең экономикалық тиімді бірге жұмыс істеуін қамтамасыз ету шарттарынан орнатылу керек. Кернеуді реттеу үшін бастапқы баптарды таңдау жергілікті жағдайлардан, тораптың типінен, электрқабылдағыштардың құрамынан және т.б. тәуелді.

Кернеуді реттеу мәселелері электр тораптарын жобалау және эксплуатация жағдайларында әртүрлі шешіледі.

Электр тораптарын жобалау процесінде реттеу құралдары, реттейтін аралықтар, реттеу сатылары, тиісті құрылғыларды орнату орындары, автоматты реттеудің жүйелері таңдалады.

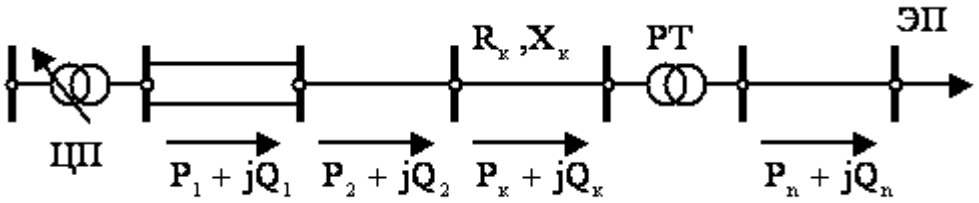
Электр тораптарының эксплуатация процесінде кернеуді реттеудің мәселелері бар құралдарды барынша толық және экономды пайдаланумен байланысты. Электр торабының жұмыс шарттарын ағымды өзгертуге байланысты (жүктемелерді, тораптың жабдығын, оның параметрлерін және жалғау сұлбаларын өзгертіп) кернеулердің режимін жақсарту бойынша тиісті шараларды өткізу қажет. Оларға жатады: жүктеме барда реттелмейтін трансформаторлардың трансформация коэффициенттерін өзгерту, бар құрылғыларды қосымша автоматтандыру, кернеудің автоматты реттеуіштерінің және кернеуді автоматты реттеудің қолданылатын жүйелерінің ұстамаларын өзгерту және т.б. Кейде торапты қайта құру қажет.

6.4 Торапта кернеуді өзгерту және реттеу тәсілдері

Қорек ортасының (ҚО) шиналарына қосылған таратушы тораптың үлгісінде электрқабылдағыштарда техникалық тұрғыда рұқсат етілген

ауытқуларды қамтамасыз ету үшін кернеуді өзгертудің және реттеудің қандай тәсілдерін қолдануға болады екенін қарастырайық. Бұл ауытқулардың шамасы көп нышандардан тәуелді: қорек ортасындағы кернеулер режимінен, торап элементтеріндегі кернеу шығындарынан, осы торапта қосымша реттеуші құрылғылардың болуынан.

6.1 суретінде таратушы тораптың сұлбасы көрсетілген.



6.1 сурет

Осы сұлба үшін ҚО (ЦП) шиналарындағы кернеудің ауытқуын $V_{цп}$ және электрқабылдағыштағы ЭП кернеудің ауытқуын байланыстыратын өрнекті жазады:

$$V_{ЭП} = V_{ЦП} - \Delta U_{ЦП-ЭП} + \sum_{1}^{m} E_к \qquad (6.4)$$

мұнда $V_{цп}$ және $V_{эп}$ - номиналды кернеуден ауытқудың ағымдағы мәндері;

$\Delta U_{ЦП-ЭП}$ - ЦП және ЭП арасында тізбектеліп қосылған тораптың n элементтеріндегі (желілерде, трансформаторларда) кернеу шығындары мәндерінің қосындысы:

$$\Delta U_{ЦП-ЭП} = \frac{100}{U^2_{НОМ}} \cdot \sum_{1}^{m} \left(P_k R_k + Q_k X_k\right) \qquad (6.5)$$

мұнда $\sum_{1}^{m} E_к$ - ЦП – ЭП айланында тізбектеліп қосылған m реттелемейтін және реттелетін трансформаторлар мен автотрансфор-маторлардың әртүрлі трансформация коэффициенттерін таңдау есебінен алатын кернеу үстемелерінің қосындысы;

$P_к$ и $Q_к$ - тораптың «к» айланындағы активтік және реактивтік қуаттары;

$R_к$ и $X_к$ - тораптың к – элементінің активтік және реактивтік кедергілері.

(6.4) формуласы максималды және минималды режимдер үшін әділ:

$$V^{max}_{ЭП} = V^{max}_{ЦП} - \Delta U^{max}_{ЦП-ЭП} + \sum_{1}^{m} E^{max}_{x}; \qquad (6.6\ а)$$

$$V_{ЭП}^{\min} = V_{ЦП}^{\min} - \Delta U_{ЦП-ЭП}^{\min} + \sum_{1}^{m} E_x^{\min}. \qquad (6.6\ б)$$

(6.6, б) - ны (6.6, а) – дан алып, қарастырылатын жағдайларда ЭП шиналарында кернеулердің ауытқуларының мүмкін дересі үшін өрнек алады:

$$d = V_{ЭП}^{\max} = V_{ЭП}^{\min} - V_{ЦП}^{\max} - V_{ЦП}^{\min} - (\Delta U^{\max} - \Delta U^{\min})_{ЦП-ЭП} + \sum_{1}^{m} (E_x^{\max} - E_x^{тшш}. \qquad (6.7)$$

Келтірілген формулаларды талдаудан байқалатыны, ЭП – дағы кернеудің ауытқуларының кейбір алдын ала тапсырылған мәндерін қамтамасыз ету үшін келесі тәсілдер пайдаланылуы мүмкін:

а) кернеулердің режимін өзгерту немесе ЦП шиналарында кернеуді реттеу;

б) тораптың бөлек элементтерінде (желілерде, трансформаторларда) немесе тораптың бірнеше айландарында бір уақытта кернеу шығынының мәнін өзгерту;

в) ЦП - ЭП торабының айландарында қосылған жүктеме барда реттелмейтін және реттелетін трансформаторлар мен автотрансформаторлардың трансформация коэффициентін өзгерту. Мұнда кернеудің тиісті үстемелерінің шамалары өзгереді.

ЦП кернеуді реттеу әдетте барлық ЦП қосылған торапта кернеулер режимін өзгертуге алып келеді. Сондықтан бұл реттеу тәсілін кернеуді орталықтан реттеу деп атайды. Барлық қалған тәсілдер кернеуді жергілікті реттеу деп аталатынға жатады, мұнда таратушы тораптың шектеулі бөлігінде кернеулер режимі өзгереді. Кернеуді жергілікті реттеуді топтыға және жекеге бөлуге болады. Топтық реттеу тұтынушылардың тобына, ал жеке негізінде арнаулы мақсатпен жасалынады.

Тұтынушылардың жүктемесі тек қана тәулік ішінде емес, жыл бойында да өзгереді. Мысалы, ең үлкен жүктеме жыл бойында күзгі – қысқы максимумның кезінде, ең азы жазғы кезде болады. Бұл жағдайда кернеуді қарсы реттеу қолданылады. Мұнда кернеу тек қана тәуліктік емес, жыл бойындағы маусымдық жүктеменің ауытқуларынан тәуелді өзгереді. Электр станцияларының шиналарында жоғары кернеуді үлкен жүктеме кезінде ұстауды және оны номиналдыға дейін түсіру аз жүктеме кезінде қарастырылады.

Үлкен жүктемелер режимінде кернеуді келесі мәнге дейін көбейтеді:

$$U_2 = 1{,}05U_{ном}, \qquad (6.8)$$

ал аз жүктемелер режимінде:

$$U_2=1,0U_{ном}. \quad (6.9)$$

6.5 Трансформаторлардың және автотрансформаторлардың трансформация коэффициенттерін өзгертумен кернеуді реттеу

Трансформаторлардың және автотрансформаторлардың негізгі тармақтарынан басқа қосымша реттеуші тармақтары бар. Бұл тармақтарды өзгертіп, трансформация коэффициентін өзгертуге болады (10–20 % шектерінде).

Қиыстырмалық жасалынуы бойынша трансформаторлардың екі типін айырады: қоздырусыз реттеуші тармақтарды ауыстырып қосып, яғни тораптан ағытып тастап (ПБВ бар трансформаторлар); жүктемесі барда реттеуші тармақтарды ауыстырып қосып (РПН бар трансформаторлар). Реттеуші тармақтар трансформатордың жоғары кернеу жағында жасалынады. Мұнда ауыстырып қосатын құрылғы жеңілдейді.

Қазіргі уақытта барлық 35 кВ және жоғары трансформаторлардың РПН құрылғылары бар. ПБВ бар трансформаторда реттеуші тармақты ауыстырып қосу үшін оны тораптан ағытып тастау керек. Мұндай ауыстырып қосулар тек жүктемелер маусымда өзгергенде сирек жасалынады.

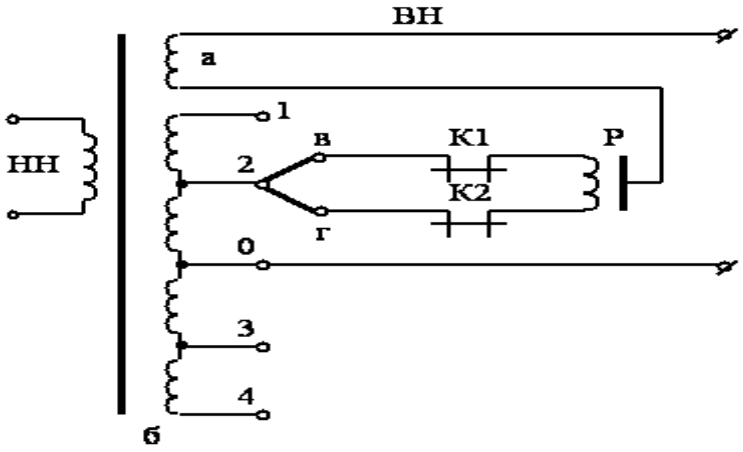
ПБВ бар трансформаторлар негізгі және бірнеше қосымша тармақтарымен жасалынады. Негізгі тармақтың кернеуі осы трансформаторлар қосылатын тораптың номиналды кернеуіне тең (6, 10 кВ). Негізгі тармақтағы трансформатордың трансформация коэффициенті номиналды деп аталады. Төрт қосымша тармақтарды пайдаланғанда трансформация коэффициентінің номиналдыдан +5; +2,5; -2,5 және –5% айырмашылығы бар.

РПН құрылғысы ендірілген трансформаторлардың ПБВ бар трансформаторлардан айырмашылығы – оларда арнаулы ауыстырып қосатын құрылғы, реттеуші тармақтар сатыларының көбейтілген саны және реттеудің дере шамасы бар. Мысалы, ЖК орамының негізгі тармағының номиналды кернеуі 115 кВ трансформаторлар үшін әрқайсысы 1,78%±9 реттеу сатыларында ±16% реттеу дерелері қарастырылады.

6.2 суретінде РПН бар трансформатордың қағидалы сұлбасы берілген. Бұл трансформатордың ЖК орамы екі бөліктен тұрады – реттелмейтін «а» және реттелетін «б».

Реттелетін бөлігінде 1-4 жылжымайтын түйіспелеріне тармақтар қатары бар. 1-2 тармақтары негізгі орамның тармақтарымен үйлесіп қосылған тармақтар бөлігіне сәйкес келеді. 1-2 тармақтарын қосқанда трансформатордың трансформация коэффициенті көбейеді. 3-4 тармақтары негізгі орамның тармақтарына қарсы қосылған тармақтардың бөлігіне сәйкес келеді. Оларды қосқанда трансформация коэффициенті азаяды, өйткені негізгі орамның тармақтар бөлігінің әсері өтемделеді. Трансформатордың ЖК

орамының негізгі шықпасы 0 нүктесі. Негізгі орамның тармақтарымен үйлесіп және қарсы әсер жасап тұрған тармақтардың саны бірдей болмауы мүмкін.



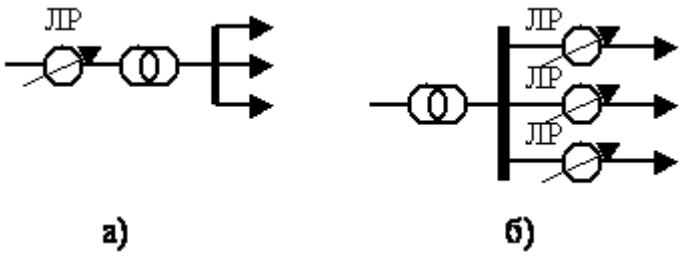
6.2 сурет

Орамның «б» реттелетін бөлігінде «в» және «г» жылжымалы түйіспелерінен, К1 және К2 түйістіргіштеріне және Р реакторынан тұратын ауыстырып қосқыш құрылғысы бар. Реактор орамының ортасы трансформатордың «а» орамының реттелмейтін бөлігімен жалғанған. Айнымалы режимде ЖК орамының жүктеме тогы реактор орамының жартылары арасында тең бөлінеді. Сондықтан магнит ағыны аз және реактордағы кернеу шығыны көп емес.

РПН құрылғысын 2 тармақтан 1 ауыстырып қосу қажет делік. Мұнда К1 түйістіргішін ағытады, «в» жылжымалы түйіспесін 1 тармақтың түйіспесіне көшіріп, К1 түйіспесін қайтадан қосады. Сонымен, орамның 1-2 секциясы Р реакторының орамына тұйықталады. Реактордың едәуір индуктивтігі орамның 1-2 секциясында кернеу болуының нәтижесінде пайда болатын теңестіру тогын шектейді. Осыдан кейін К2 түйістіргішін ағытады, жылжымалы түйіспені тармақтың 1 түйіспесіне ауыстырады да К2 түйістіргішін қосады.

Реакторды және барлық жылжымайтын және жылжитын түйіспелерді, ауыстырып қосқыш құрылғыларды трансформатордың бағында орналастырады. Түйістіргіштерді маймен толтырылған және трансформатор бағының сыртында бекітілген бөлек болат қаптамада орналастырады. Мұндай қиыстырма түйістіргіштерді ревизия жасауды және майды ауыстыруды жеңілдетеді.

Жүктеме барда реттеуіші жоқ трансформаторлары бар жұмыс атқарып тұрған тораптарды қайта құрғанда желілік реттеуіш трансформаторларын (ЛР) пайдаланады. Кернеуді реттеу үшін олар реттелмейтін трансформатормен тізбектеліп қосылады (6.3, а сурет). Шығатын желілерде кернеуді реттеу үшін желілік реттеуіштер тікелей желіге қосылады (6.3, б сурет).



6.3 сурет

220 кВ және жоғары автотрансформаторлар орта кернеу орамының желілік соңында ендірілген РПН шығарылады. Бұл жағдайда тек жоғары және орта кернеудің орамдары үшін трансформация коэффициентін жүктеме барда өзгертуге болады. Егер жоғары және төменгі кернеулер орамдарының арасында трансформация коэффициентін жүктеме барда бір уақытта өзгерту қажет болса, онда автотрансформатордың төменгі кернеу орамымен тізбектеп қосымша желілік реттеуішті орнату қажет. Экономикалық тұрғыдан бұндай шешім екі ендірілген РПН құрылғылары бар автотрансформаторларды жасағаннан тиімді.

6.6 Торап параметрлерін өзгертіп кернеуді реттеу

Тұтынушылардың кернеуі тораптағы кернеу шығынының шамасынан тәуелді, ол өз кезегінде торап параметрлерінен тәуелді. Қоректендіруші тораптарда, $x_o > r_o$ жағдайында, кернеудің құлауы көбінесе қимадан тәуелділігі аз желінің реактивтік кедергісімен анықталады. Реактивтік кедергіні өзгертуді кернеуді реттеуге қолданады. Тораптағы кернеудің шығыны өрнекпен анықталады:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{ном}}.$$

Реактивтік кедергіні өзгерту үшін желіге конденсаторларды қосу қажет. Мұнда желідегі кернеу шығыны:

$$\Delta U' = \frac{PR + Q(X - X_k)}{U_{ном}}. \qquad (6.10)$$

Конденсаторларды желіге тізбектеп қосуды бойлық өтемдеу дейді. Бойлық өтемдеу қондырғысы (УПК) индуктивтік кедергіні өтемдеуге және желідегі кернеу шығынын азайтуға мүмкіндік береді (6.4 сурет).

6.4, б сурет. УПК бар желінің токтары мен кернеулерінің векторлық диаграммасы берілген. Конденсатордағы кернеудің құлау векторы $U_к = jIX_к$ (cc_1 қиындысы) фаза бойынша 180 желінің индуктивтік кедергісіндегі

кернеудің құлау векторына байланысты ығысқан $U_к$ = jIX (вс қиындысы). Осыған сәйкес желідегі кернеудің шығыны $\Delta U'$ ad_1 қиындысымен анықталады (конденсаторлары жоқ желіде ad орнына).

Сонымен, желіге тізбектеліп қосылған конденсаторлар оның индуктивтік кедергісінің бөлігін өтемдейді және сонымен желідегі кернеу шығынының реактивтік құраушысын азайтады.

УПК үшін пайызбен өрнектелген конденсаторлардың сыйымдылық кедергісінің желінің индуктивтік кедергісіне қатынасы өтемдеу дәрежесі деп аталады:

$$C = \frac{X_K}{X} \cdot 100. \qquad (6.11)$$

Іс жүзінде желінің (C < 100%) реактивтік кедергісінің толық емес өтемдеуін қолданады. Әдетте таратушы тораптарда толық немесе артық өтемдеу қолданылмайды (C >100%), өйткені бұл торапта асқын кернеулердің пайда болу мүмкіндігімен байланысты.

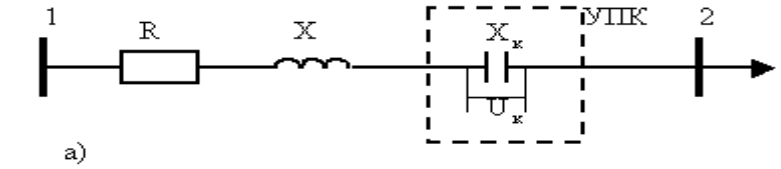
УПК қолдану тораптарда кернеулердің режимдерін жақсартады. Асқын жүктелген радиалды желілерде УПК қолдану кернеудің ауытқуларын төмендетуге тиімді.

6.7 Реактивтік қуаттың ағындарын өзгертіп кернеуді реттеу

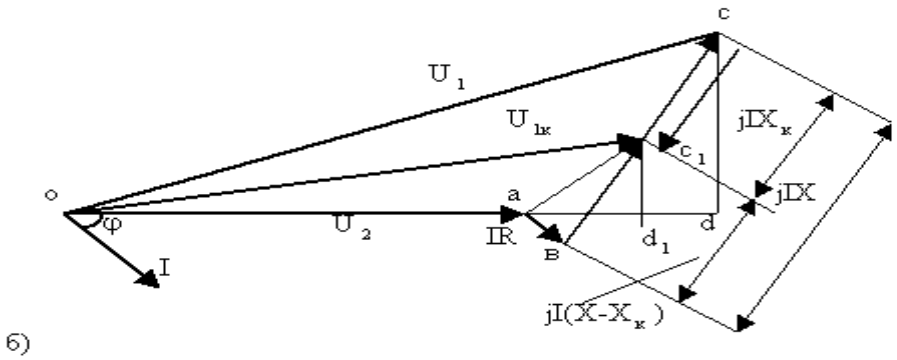
Реактивтік қуат тек станциялардың генераторларымен емес, реактивтік қуаттың басқа көздерімен, өтемдеуші құрылғылармен КУ өндірілуі мүмкін, олардың ішінде конденсаторлар батареялары, синхронды өтемдеушілер (қозғалтқыштар) бар.

Тораптағы қондырғы үшін КУ қуаты электр жүйесінің тиісті түйініндегі реактивтік қуаттың теңгерімін ескеріп, арнаулы техникалық – экономикалық есептермен анықталады. КУ қондырғысы тораптағы және электрэнергия тұтынушыларындағы кернеу режимін жақсартуға мүмкіндік береді.

6.5, а сурет. кедергілері R және X желісінен тұратын электр торабының қарапайымдалған сұлбасы келтірілген. Желінің соңында жүктемеге қатар реактивтік қуатты $jQ_к$ өндіретін басқарылмайтын конденсаторлар батареясы БК қосылған. БК қосқанда желімен $Q_б$ - $Q_к$ тең аз реактивтік қуат жеткізіледі, бұл осы торапта кернеудің шығынын төмендетеді және кернеулер режимін өзгертеді.



а)



б)

6.4 сурет

БК орнатқанда желідегі кернеудің шығыны анықталады:

$$\Delta U = \frac{PR + (Q_k - Q_k)X}{U_{ном}}. \qquad (6.12)$$

6.5 б, в суреттерінде максималды және минималды жүктемелердің режимдері үшін кернеулердің және қуаттардың векторлық диаграммалары келтірілген.

Максималды жүктемелер режимдерінде БК бар кезінде тораптағы кернеу құлауының шамасы азаятыны диаграммадан байқалады (БК жоқ кезінде ос және оа қиындыларының және БК бар кезінде ос және оа қиындыларының геометриялық айырмасына тең). Сонымен, желінің басында кейбір берілген кернеуде U_1 БК бар кезде желінің соңында кернеулердің режимі жақсарады.

Аз жүктемелер режимдерінде жүктеменің қуатына сәйкес abc кернеу құлаулары үшбұрышының мөлшерлері күрт азаяды. Сол сәтте БК қуатына сәйкес cde кернеу құлауы үшбұрышының мөлшерлері іс жүзінде өзгермейді. Бұл режимдерде желінің соңындағы U_2 кернеуі U_1 кернеуінен асып кетуі мүмкін, бұл жағдай қажетті емес немесе рұқсат етілмейді.

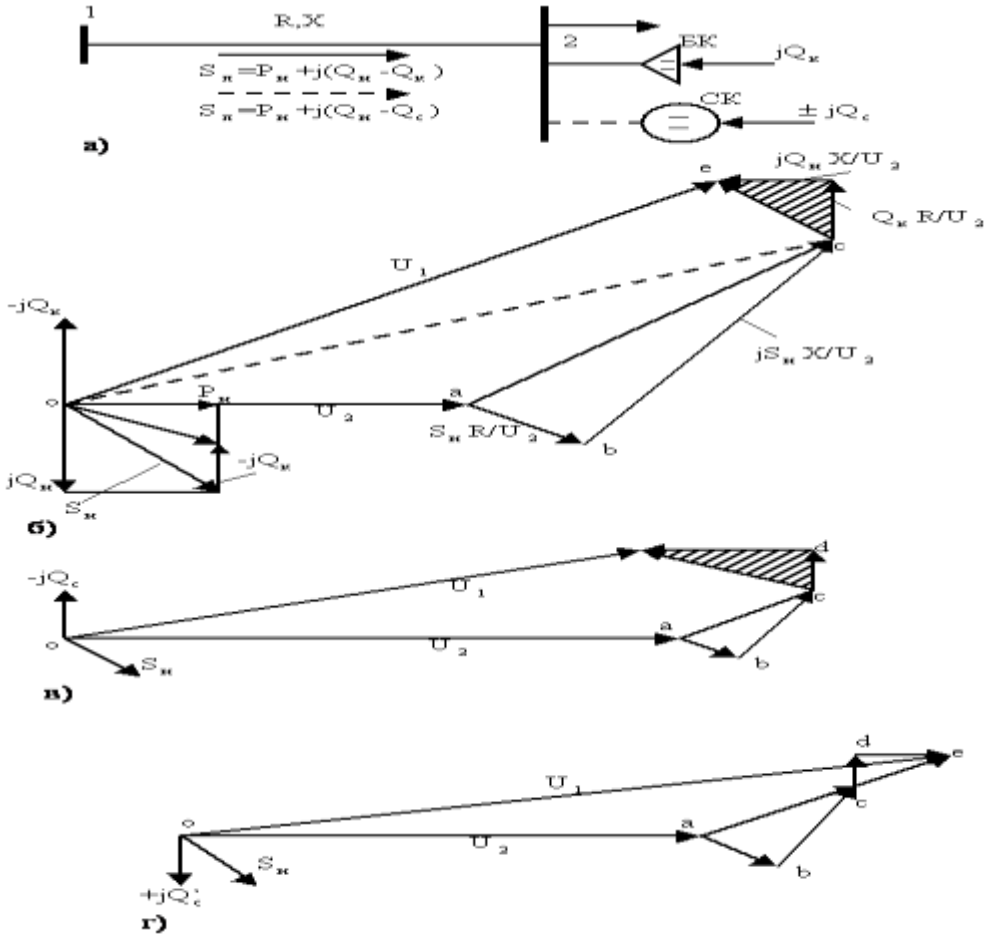
Тораптағы кернеуді реттеу мақсатымен БК қуатын автоматты өзгерту мүмкін және тиімді екенін айтуға болады.

Торапта кернеулер режимінің осыған ұқсас өзгеруі өтемдеуші құрылғы ретінде синхронды өтемдеушілерді (қозғалтқыштарды) пайдалану жағдайында кездеседі. Асқын қоздыру режимінде СК реактивтік қуатты өндіреді jQ_c, ал шала қоздыру режимінде jQ_c тұтынады. Синхронды өтемдеушілердің бұл қасиеті желі басында кернеудің өзгермейтін шамасында

жүктеменің шиналарында кернеуді көтеру және төмендету үшін пайдаланылуы мүмкін.

СК кернеулер режиміне әсері 6.5 в, г суретінде көрсетілген. Мұнда КУ қуаты максималды жүктемелер режимінде БК қуатына тең, яғни $jQ_c = jQ_к$. Аз жүктемелер режимінде СК реактивтік қуатты тұтынады jQ_c (6.5, г сурет).

Торапта кернеулердің режимін осыған ұқсас өзгерту өтемдеуші құрылғы ретінде синхронды өтемдеушілерді (қозғалтқыштарды) пайдаланғанда болады.



6.5 сурет

Әдебиеттер тізімі

1. Лыкин.А.В. Электрические системы и сети. Москва. Люкс. 2007.

2. Герасименко А.А. Передача и распределение электроэнергии: Учеб. пособие. – Ростов-на Дону: Феникс, 2006.

3. Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети: Учебное пособие для электроэнергетических спец. вузов. – СПб: Издательство Сизова М.П., 2001.

4. Сажин В.Н., Генбач Н.А. Электрические сети и системы. Конспект лекций для студентов специальности 050718- «Электроэнергетика».- АИЭС, 2007.

5. Соколов С.Е, Сажин В.Н, Н.А. Генбач Н.А. Электрические станции, сети и системы. Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ для студентов очной формы обучения специальности 050718 – Электроэнергетика. – Алматы: АИЭС, 2007. – 11 с.

6. Сажин В.Н, Генбач Н.А, Электрические системы и сети. Методические указания к лабораторным работам (для студентов очной и заочной форм обучения специальности Электроэнергетика). – Алматы: АИЭС, 2010.

7. Соколов С.Е, Сажин В.Н, Н.А. Генбач Н.А. Электрические сети и системы. Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2010.

8. Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети: Учебное пособие для студентов электроэнергетических спец. вузов. – СПб: Издательство Сизова М.П., 2001.- 685 с.

9. Герасименко А.А. Передача и распределение электроэнергии: Учеб. пособие. – Ростов-на Дону: Феникс, 2006.- 615 с.

Мазмұны

	Кіріспе……..	3
1	Электрэнергетикалық жүйелер және электр тораптары туралы жалпы ұғымдар.....	4
1.1	Электр торабы электрэнергетикалық жүйенің бір бөлігі есебінде.....	4
1.2	Электр тораптарын жіктеу.....	4
1.3	Электр тораптарына қойылатын талаптар.....	5
1.4	Электр тораптарын есептеу мәселелері.....	7
2	Электр тораптарының қиыстырмасы туралы жалпы мәліметтер.....	7
2.1	Электрберіліс ауа желілерінің қиыстырмалық элементтері.....	7
2.2	Кабельдердің қиыстырмасы туралы жалпы мәліметтер.....	12
3	Электр торабы элементтерінің сипаттамалары және параметрлері.....	15
3.1	Ауа және кабель желілерінің орын ауыстыру сұлбалары, параметрлері.....	15
3.2	Электр тораптары элементтерінің номиналды кернеулері.....	19
3.3	Электр тораптары бейтараптарының режимдері.....	22
3.4	Трансформаторлар және автотрансформаторлардың орын ауыстыру сұлбалары, параметрлері.....	30
3.5	Желілердегі қуат және энергияның шығындарын анықтау.....	34
3.6	Трансформаторлардағы қуат пен энергияның шығындары.....	39
4	Тұйықталмаған және қарапайым тұйықталған электр тораптарының жұмыс режимдерін есептеу.....	41
4.1	Торап режимін есептеу мәселесі, негізгі долбарлар.....	41
4.2	Кернеу шығыны бойынша жүктемесі соңындағы желінің есебі.....	42
4.3	Тұйықталмаған электр тораптарының режимін есептеу.....	45
4.4	Сақиналы тораптардың режимдерін есептеу.....	48
4.5	Қорек көздерінің айырмашылығы бар кернеулерінде екі жақтан қоректенетін желілердің режимін есептеу.....	52
4.6	Күрделі тұйықталған тораптарды торапты түрлендіру әдісімен есептеу.....	54
5	Электр жүйелерінің жұмыс режимдері.....	58
5.1	Активтік қуаттардың теңгерімі және оның жиілікті реттеумен байланысы.....	58
5.2	Электр жүйелерінде жиілікті реттеу.....	60
5.3	Апаттан кейінгі режимдерде жиілікті реттеу.....	63
5.4	Реактивтік қуаттардың теңгерімі және оның кернеуді реттеумен байланысы.....	65
5.5	Электр тораптарында реактивтік қуаттың көздері.....	67
6	Электр тораптарындағы электрэнергия сапасы және кернеуді реттеу...	70
6.1	Электрэнергия сапасының электрқабылдағыштар мен электраппараттардың жұмысына әсері.....	70
6.2	Электрэнергия сапасының көрсеткіштері.....	71

6.3 Электр тораптарында кернеуді реттеу мәселесі..... 72
6.4 Торапта кернеуді өзгерту және реттеу тәсілдері..... 73
6.5 Трансформаторлардың және автотрансформаторлардың трансформация коэффициенттерін өзгертумен кернеуді реттеу..... 76
6.6 Торап параметрлерін өзгертіп кернеуді реттеу..... 78
6.7 Реактивтік қуаттың ағындарын өзгертіп кернеуді реттеу..... 79
Әдебиеттер тізімі..... 82

Сажин Владимир Николаевич
Генбач Наталья Алексеевна
Матаев Умербек Матаевич

ЭЛЕКТР ТОРАПТАРЫ ЖӘНЕ ЖҮЙЕЛЕРІ

Оқу құралы

Редактор Б.С. Қасымжанова

Басуға_____ ____ 2015 ж. қол қойылды.
Таралымы 100 дана. Пішімі 60х84 1/16

Баспаханалық қағаз №2
Есептік-баспа табағы 5,0. №____тапсырыс
Бағасы 2600 теңге

«АЭжБУ» коммерциялық емес АҚ
Алматы қ., Байтұрсынұлы көшесі, 126

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
Коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі - көбейткіш бюросы
Алматы қ., Байтұрсынұлы көшесі, 126

87