

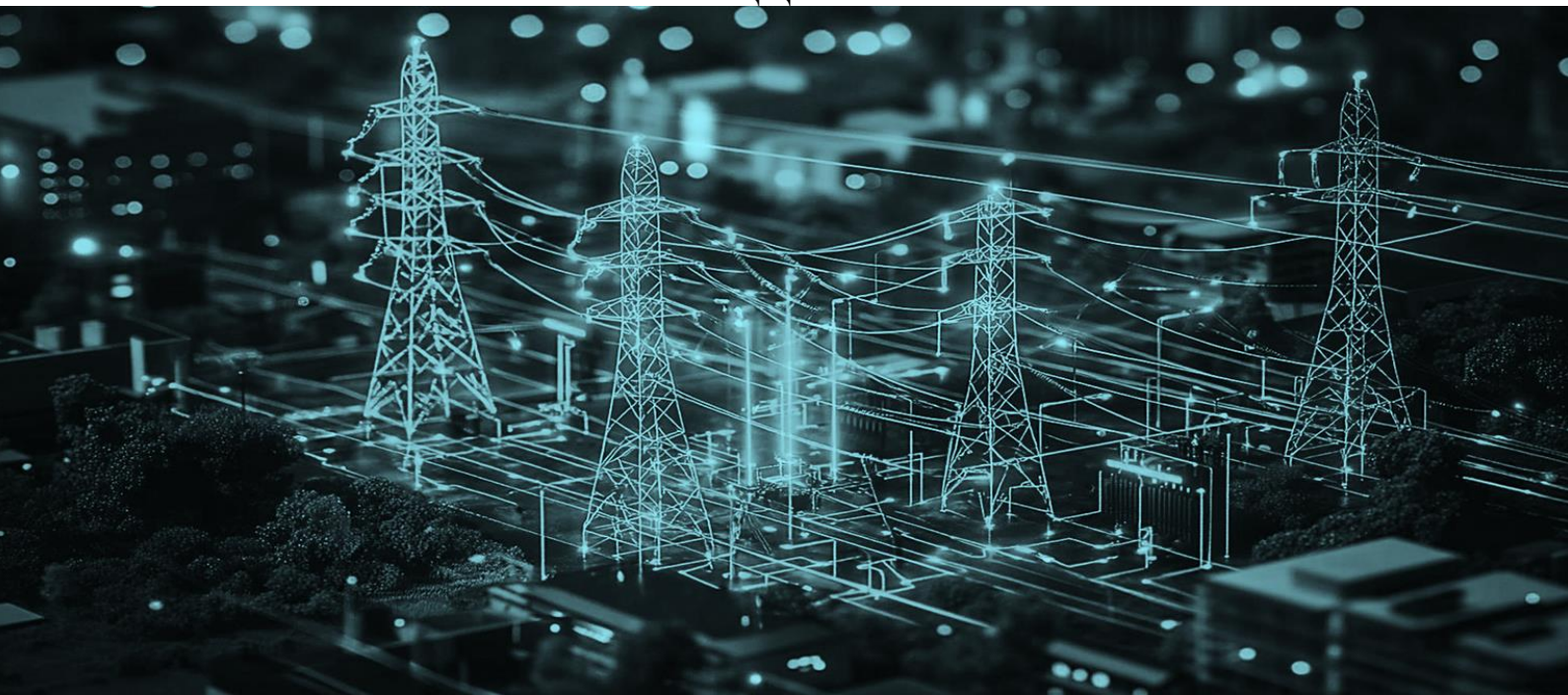
**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР
ВАЗИРЛИГИ**

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ”
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**БАБАЕВ АЗИЗ
ГАЛИБОВИЧ**

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА
ТИЗИМЛАРИ АСОСЛАРИ**
/ЎҚУВ ҚЎЛЛАНМА/

**Тошкент - 2025
«ТИҚХММИ» МТУ**



**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР
ВАЗИРЛИГИ**

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ”
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

БАБАЕВ АЗИЗ ГАЛИБОВИЧ

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИ АСОСЛАРИ

Ўқув қўлланма 60710600 – Электр энергетикаси (тармоқлар ва соҳалар бўйича), 60711000 – “Муқобил энергия манбалари (қайта тикланувчи энергия)” 60710400 – “Энергетика муҳандислиги” бакалавр таълим йўналишларига мўлжалланган

**Тошкент - 2025
«ТИҚҲММИ» МТУ**

УЎК 621.311.1

КБК 31.27-05я73

С 52

Бабаев А.Г.

Электр тармоқлар изоляцияси ва ўта кучланиш [Матн]: ўқув қўлланма /
А.Г. Бабаев. - Тошкент: «ТИҚХММИ» МТУ, 2025. - 240 б.

Ўқув қўлланма «Электр энергетика тизимлари асослари» модулига
кирувчи фанларни ўқитиш тажрибаси асосида ишлаб чиқилган.

Қўлланмада энергетика тизими ва электр энергетика тизимининг
таърифлари келтирилган, энерготиизимларнинг технологик хусусиятлари
кўриб чиқилган, электр узатиш линияларининг конструктив ижро этилиши
элементлари келтирилган, электр энергетика тизими элементларининг асосий
параметрлари ва характеристикалари кўрсатилган. Электр энергетика тизими
элементларини унинг барқарор иш режими таҳлилида ифодалаш усуллари ва
электр режими параметрларини баҳолаш методикаси ўрганилган.

Ўқув қўлланма 60710600 – Электр энергетикаси (тармоқлар ва соҳалар
бўйича), 60711000 – “Муқобил энергия манбалари (қайта тикланувчи
энергия)” 60710400 – “Энергетика муҳандислиги” мутахассислиги таълим
йўналишларининг талабалари учун мўлжалланган.

Тақризчилар:

Суллиев Абсаид Хуррамович, т.ф.н.

“Тошкент Давлат транспорт университети”,
“Электр таъминоти” кафедраси, профессор

Бозоров Элмурод Останович, т.ф.н.

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини
механизациялаш муҳандислари” Миллий
тадқиқот университети, “Технологик
жараёнларни автоматлаштириш ва
бошқариш” кафедраси мудири, профессор

Ушбу ўқув қўлланма “ТИҚХММИ” Миллий тадқиқот университети
ректорининг ____ йил ____ даги ____ а/ф – сонли буйруғи асосида
нашр этишга рухсат берилган. Рўйхатга олиш рақами ____ а/ф – ____

ISBN _____

© А.Г. Бабаев – 2025

© «ТИҚХММИ» МТУ нашриёти – 2025

КИРИШ

Замонавий электр энергетика тизими – бу инсониятнинг энг мураккаб ва муҳим технологик ютуқларидан биридир. У бир вақтнинг ўзида миллионлаб истеъмолчиларни узлуксиз ва сифатли электр энергияси билан таъминлаш, йирик қувватларни юзлаб ва минглаб километр масофаларга узатиш, турли хилдаги энергия манбаларини (иссиқлик, атом, гидро, шамол, қуёш) ягона тизимга бирлаштириш ва барқарорликни таъминлаш вазифаларини бажариши керак.

Ўзбекистон Республикасида электр энергетикаси мамлакат иқтисодиётининг асосий тармоқларидан бири ҳисобланади. 2025 йилга келиб республикада ўрнатилган қувват 18 ГВт дан ошди, йиллик электр энергияси ишлаб чиқариш эса 80 млрд кВт·соатга яқинлашди. Бу кўрсаткичлар ортида мураккаб ва кўп босқичли технологик занжир туради: энергия ишлаб чиқариш → юқори кучланишли узатиш → пастлаштириш → тақсимлаш → истеъмолчига етказиш. Ушбу занжирнинг ҳар бир ҳалқаси ўзига хос физик жараёнлар, техник талаблар ва иқтисодий чекловлар билан белгиланади.

Ушбу ўқув қўлланма “Электр энергетика тизимлари асослари” модулининг муҳим қисми – электр тармоқлари ва улардаги барқарор режимларни таҳлил қилишга бағишланган. Китобда биринчи навбатда энергетика тизимининг умумий тузилиши, электр станциялари турлари, электр узатиш линиялари ва подстанцияларнинг конструктив хусусиятлари кўриб чиқилади. Кейинги бобларда электр тармоқлари элементларининг алмаштириш схемалари, параметрлари ва уларнинг режимга таъсири батафсил ўрганилади. Алоҳида эътибор электр энергияси ва қувват йўқотишларини аниқлаш, юклама графикларини таҳлил қилиш ва тармоқнинг барқарор режимларини ҳисоблаш усулларига қаратилади.

Ўқув қўлланма 60710600 – Электр энергетикаси (тармоқлар ва соҳалар бўйича), 60711000 – “Муқобил энергия манбалари (қайта тикланувчи энергия)” 60710400 – “Энергетика муҳандислиги” йўналишлари талабалари учун мўлжалланган бўлиб, уларга қуйидагиларни ўргатади:

- электр энергетика тизимининг асосий элементлари ва уларнинг ўзаро боғлиқлигини тушуниш;
- электр узатиш линиялари, трансформаторлар, реакторлар ва бошқа элементларнинг физик хусусиятлари ва алмаштириш схемаларини билиш;
- тармоқнинг ўрнатилган режимларини ҳисоблаш ва таҳлил қилиш усуллари эгаллаш;

- электр энергияси ва қувват йўқотишларини аниқлаш ва камайтириш йўллари кўра билиш;
- юклама графикларини тузиш, таҳлил қилиш ва улар асосида режимларни режалаштиришни ўрганиш.

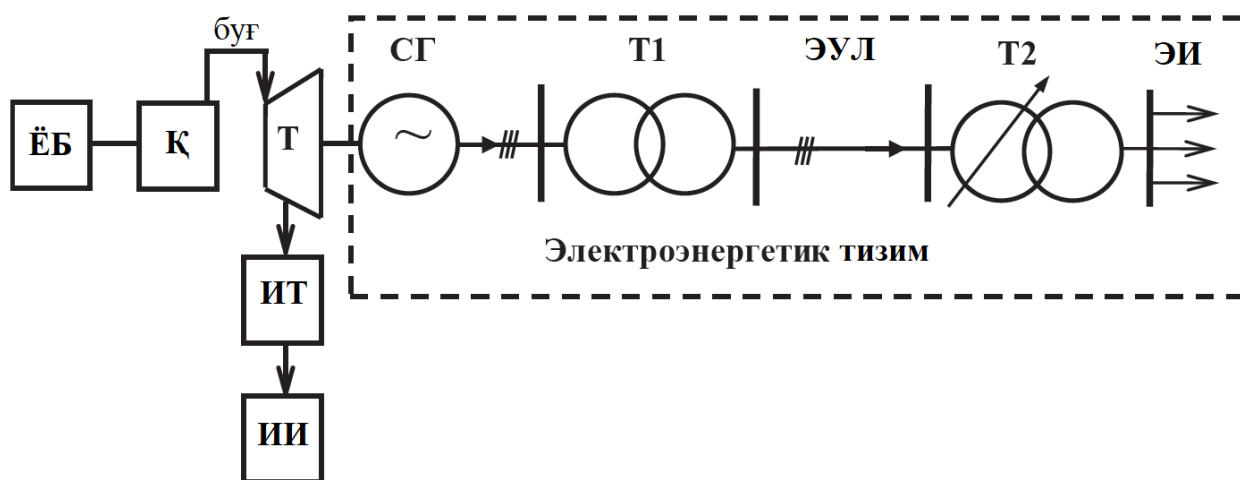
Китобда келтирилган материаллар “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетида кўп йиллик ўқитиш тажрибаси асосида ишлаб чиқилган. Унда назарий маълумотлар амалий мисоллар, жадваллар, расмлар ва ўзини ўзи текшириш саволлари билан мустаҳкамланган.

Умид қиламизки, ушбу ўқув қўлланма талабаларга электр энергетика тизимларининг мураккаб дунёсини чуқур тушунишга, келажакда мустақил муҳандислик вазифаларини ҳал қилишга ва Ўзбекистон энергетикасининг барқарор ривожланишига ўз ҳиссасини қўшишга ёрдам беради.

1. ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИ, УЛАРНИНГ ЭЛЕМЕНТЛАРИ ВА ТЕХНОЛОГИК ХУСУСИЯТЛАРИ

1.1. Энергия ва электр энергия тизимларининг таърифлари

Электр ускуналарининг тузулиш қоидаларидаги (ЭУТҚ (ПУЭ)) [1] маълумотларига кўра, энергия тизими-бу электр ва иссиқлик энергиясини ишлаб чиқариш ва тақсимлаш жараёнининг умумий режими ва узлуксизлиги билан бир бутунга уланган электр станциялари, электр узатиш линиялари, подстанциялар ва иссиқлик тармоқлари тўплами. Мисол тариқасида, 1.1-расмда иссиқлик электр станцияси бўлган энергия тизимининг соддалаштирилган технологик цикли келтирилган.



Расм - 1.1. Иссиқлик ва электр энергиясини ишлаб чиқариш ва тақсимлашнинг технологик схемаси

Электр энергиясини ишлаб чиқариш ва тақсимлаш жараёни қуйидаги асосий босқичларни ўз ичига олади:

- казиб олиш, омборга ташиш ва ёқилғи тайёрлаш, шартли белги билан ёқилғи базаси (ЁБ) деб белгиланган;
- ёқилғининг кимёвий энергиясини буғнинг иссиқлик энергиясига айлантириш ва буғ параметрларини буғ иситкичларда талаб қилинадиган даражага етказиш билан қозонда (Қ) ёқилғининг ёниши;
- буғ турбинанинг паракларига (Т) берилади, буғнинг иссиқлик энергияси турбинанинг айланиш механик энергиясига айланади;
- синхрон генератор (СГ) механик айланиш энергиясини электр энергиясига айлантирадиган турбина билан бир хил валда жойлашган. Генераторнинг уч фазали статор чўлғамида роторнинг айланадиган магнит майдони туфайли синусоидал электр юритувчи куч пайдо

бўлади ва юкламалар ёқилганда 50 Гц саноат частотасидаги электр ўзгарувчан ток пайдо бўлади;

- генератордан кейин электр қуввати кучайтирувчи трансформаторга (Т1) киради, бу ерда унинг параметрлари кучланиш синфини ошириш учун ўзгартирилади;
- кейинчалик, электр қуввати электр узатиш линиялари (электр узатиш линиялари) орқали, одатда катта масофаларда, электр энергияси истеъмолчиларига (ЭИ) узатилади.

Электр энергиясини истеъмол қилишдан олдин унинг параметрларини пастга туширадиган трансформаторларда (Т2) ўзгартирилади — кучланиш синфи камайтирилади.

Иссиқлик энергиясини ишлаб чиқариш ва тақсимлаш жараёни буғ ишлаб чиқаришнинг барча босқичларини ўз ичига олади, кейин буғ ва иссиқ сув тайёрлаш ва уларни иссиқлик тармоқлари (ИТ) орқали иссиқлик истеъмолчиларига (ИИ) иситиш учун турбинадан буғ олинади. Технологик схеманинг элементлари икки турга бўлинади: узатувчи — транспартер, буғ қуури, вал, электр узатиш линияси; ўзгартирувчи — қозон, турбина, генератор, трансформатор. Электр энергияни ишлаб чиқаришнинг технологик тизимининг барча элементлари энергия тизимининг элементларига киради. Электр энергияси тизими - бу генераторлар, тақсимловчи қурилмалар, тармоқлар ва электр қабул қилувчилардан ташкил топган энергия тизимининг бир қисми.

1.2. Энергия тизимларининг элементлари ва уларнинг хусусиятлари

Электр станцияси кимёвий ёқилғи энергиясини иссиқлик ва электр энергиясига айлантириш учун мўлжалланган энергия тизимининг элементиدير. У ёқилғи омбори, қозон ва турбинали агрегатлар, генератор ва тақсимловчи қурилмалардан иборат.

Электр станциясида нормал технологик циклни таъминлашга хизмат қиладиган ўз эҳтиёжлари учун катта хўжалиги мавжуд.

Электр станцияларининг асосий турларини таснифлаш электр энергиясини ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнининг хусусиятлари ва ишлатиладиган энергия манбалари турларига қараб амалга оширилиши мумкин.

Энергия ресурслари турига кўра қуйидагилар ёрдамида электр станцияларни аниқлаш мумкин:

- * Органик ёқилғи (ЁЭС);
- * Ядро (АЭС);

- * Гидроэнергетика (ГЭС);
- * Қуёш энергияси (ҚЭС);
- * Шамол энергияси (ШЭС);
- * ер ости сувларнинг иссиқлиги (ГеоЭС), ва ҳоказо.

Электр технологик жараёнининг ўзига хос хусусиятлари электр станцияларида электр энергиясини ишлаб чиқариш бирламчи двигателни қувватлантириш турига боғлиқ alternator. Ушбу хусусиятга кўра, электр электр станциялари қуйидагиларга бўлинади:

- * - конденсация (КЭС, АКЭС);
- * иссиқлик электр стансиялари (ИЭМ, АИЭМ);
- * гидравлик (ГЭС, ГАЭС);
- * - газ турбинаси (ГТС);
- * буғ газли турбинали (БГҚ);
- * - магнитгидродинамик (МГД);
- * дизел (ДЭС).

КЭС одатда органик ёқилғиларни (кўмир, газ, мазут, торф, сланец) истеъмол қиладиган электр станцияларини ўз ичига олади, уларнинг турбиналари конденсация циклида ишлайди, буғ генератори томонидан ишлаб чиқарилган деярли барча буғ конденсацияланади ва унинг энергияси турбина валининг механик энергиясига айланади, сўнгра электр энергиясига. Иссиқлик электр станциясида иссиқлик энергиясининг катта қисми қувурлар орқали истеъмолчиларга узатилади ва тўғридан-тўғри технологик жараёнларда ишлатилади. Ва иссиқлик энергиясининг фақат бир қисми тўғридан-тўғри электр энергиясига айланади. Шу мақсадда ИЭМ-да икки турдаги турбинали агрегатлар ўрнатилади: иситиш ва босимга қарши.

Атом электр станциялари ядро ёқилғисининг энергиясидан фойдаланади, у ҳам термал буғ энергиясига айланади. Атом электр станциялари КЭС ва ИЭС сифатида ишлатилиши мумкин, улар АКЭС ва АИЭС деб номланади. ГАЭС, 1.2-расмда кўрсатилгандек, энергия тизимининг юкламалар графигини тенглаштириш учун мўлжалланган ва юқори ҳамда пастки бьефлар ўртасида етарлича катта баландлик фарқи бўлган иккита сув омбори бўлган гидроэлектростанциялардир. Максимал қувват сарфи давомида ГАЭС-лар юқори сув омборидан пастки қисмга сув қуйиш орқали электр энергиясини ишлаб чиқаради ва minimal соатларда улар электр энергияси истеъмолчилари сифатида ишлайди — пастки ҳавзадан сувни юқори қисмга қуядиган насослар. ГАЭС мавжуд бўлганда, ЭЭТ-да керакли ўрнатилган ишлаб чиқариш қуввати миқдори камаяди.

Газ турбинали электр станциялари (ГТС) газ ёқилғисининг ёниш энергиясини тўғридан-тўғри механик ва кейин электр энергиясига айлантиради.

Аралаш циклда ишлайдиган икки турдаги комбинацияланган буғ - газли қурилмалари (БГҚ) ҳам ишлаб чиқарилади. БГҚ-нинг биринчи тури чиқинди газларни газ турбинасидан буғ қозонига туширишга асосланган бўлиб, у ерда газ ёқилади ва буғ энергияси буғ турбинасини айлантиради. Иккинчи турдаги БГТ юқори босимли буғ генераторидан фойдаланади, ундан буғ, буғ турбинасига, чиқинди газлар эса газ турбинасига киради. Шундай қилиб, БГТ блоккага мос равишда иккита газ ва буғ турбинаси ва иккита генератор киради. БГТ-нинг ўзига хос хусусияти газ турбиналарини олдиндан айлантириш зарурати.

Юқорида айтиб ўтилган турлардан ташқари, энергия ишлаб чиқарувчи станцияларнинг ноанъанавий турлари мавжуд. Буларга магнитгидродинамик (МГД) генераторлари бўлган электр станциялари, тўлқин электр станциялари (ТЭС), шамол, гелио (куёш) қурилмалари, биоёқилғи қурилмалари ва бошқалар киради. Ҳозирги вақтда ҳам, яқин келажакда ҳам ушбу турдаги электр станциялари мамлакатнинг энергия аралашмасида муҳим рол ўйнаши дарғумон.

Иссиқлик электр станцияларининг барча турлари, шу жумладан ядро станциялари иссиқлик жиҳатидан анча паст самарадорликка эга. Иссиқлик ишлаб чиқариш учун электр станцияларидан фойдаланиш умумий самарадорликни оширишга имкон беради. 1.1-жадвалда электр иншоотлари самарадорлигининг тахминий қийматлари кўрсатилган.

Жадвал – 1.1.

Электр қурилмаларнинг фойдали иш коэффициентлари

№т/р	Электр қурилмалар	ФИК, %
1	Органик ёқилғили конденсацион станциялар	37-42
2	Органик ёқилғили иссиқлик электр маркази	70-75
3	Ядро ёқилғили конденсацион электр станциялар	30-35
4	Ядро ёқилғили иссиқлик электр маркази	53-58
5	Буғ – газли қурилмалар (электр)	55-60
6	Буғ – газли қурилмалар (тўлиқ)	83-88
7	Синхрон генератор	95-98
8	Электр узатиш линиялари	95-99

Электр станциялари, қоида тариқасида, ягона электр энергияси тизимига бирлаштирилган, уюшма доирасида электр станцияларининг ишлаши уларнинг алоҳида ишлашига нисбатан бир қатор афзалликларга эга. Электр станцияларини энергия тизимига бирлаштирганда, қуйидагиларга еришилади:

- умумий қувват захирасини камайтириш;
- умумий максимал юкламаларни камайтириш;
- электр станциясининг қуввати нотекис мавсумий ўзгарганда ўзаро ёрдам;
- истеъмолчилар юкламаларининг нотекис мавсумий ўзгаришларида ўзаро ёрдам;
- таъмирлаш пайтида ўзаро ёрдам;
- ҳар бир электр станциясининг қувватидан фойдаланиш яхшиланди;
- истеъмолчиларга электр таъминоти ишончилигини ошириш;
- агрегатлар ва электр станцияларининг бирлик қувватини ошириш имконияти;
- ягона бошқарув марказининг имконияти;
- электр энергиясини ишлаб чиқариш ва тақсимлаш учун автоматлаштириш шароитларини такомиллаштириш.

1.2-жадвалда Ўзбекистон республикаси электр станцияларининг ўрнатилган қувватларининг тахминий таркиби кўрсатилган.

Жадвал 1.2.

Ўзбекистон Республикасида электр станцияларининг ўрнатилган қувватлари таркиби

№т/р	Электр қурилмалар	Ўрнатилган қувватлар, %
1	Иссиқлик электр станциялари	85
2	Гидроэлектр станциялари	13
3	Қайта тикланувчан энергия манбалари	2

Электр энергияси тизимига электр станцияларидан ташқари подстанциялар, тарқатиш пунктлари, турли кучланиш синфларининг электр узатиш линиялари ва электр энергияси истеъмолчилари киради.

Подстанция - бу электр энергиясини трансформация (ўзгартириш) қилиш ва тақсимлаш учун ишлатиладиган ва трансформаторлар, коммутаторлар, ўз еҳтиёжлари ва бошқарув мосламаларидан иборат электр иншооти.

Тақсимлаш пункти - бу электр энергиясини битта кучланишда трансформациясиз тақсимлаш учун мўлжалланган қурилма.

Электр узатиш линияси (ЭУЛ) - бу электр энергиясини узатиш ва тарқатиш учун мўлжалланган қурилма. Электр узатиш линиялари очик ҳавода жойлашган симлар орқали электр энергиясини узатишда ҳаво линиялари (ХЭУЛ) ва ёпиқ иншоотларга ётқизилган кабел линиялари (КЭУЛ) бўлиши мумкин.

Электр истеъмолчилари ҳар хил турдаги электр қабул қилувчиларнинг кенг ассортименти ифодалади.

Электр қабул қилгич - бу манбадан электр энергиясини қабул қиладиган ва уни бошқа энергия турларига айлантирадиган қурилманинг электр қисми.

Электр қабул қилувчиларнинг таркиби жуда хилма-хил, электр қабул қилувчиларни турли мезонларга кўра таснифлаш мумкин: ишлатиладиган ток тури (ўзгармас, ўзгарувчан, импульсли); номинал кучланиш (паст кучланиш - 1000 В гача, юқори кучланиш-1000 В дан юқори); нейтрал режим(чуқур ерланган, самарали ерланган, компенсацияланган, изоляция қилинган); иш режимлари (довомий равишда доимий, қисқа муддатли, такрорий-қисқа муддатли); ишончилилик ва узлуксиз электр таъминоти талаблари (биринчи тоифанинг I, II, III, айниқса жавобгар); юкламалар симметриясининг даражалари (уч фазали, икки фазали, бир фазали) ва ҳоказо.

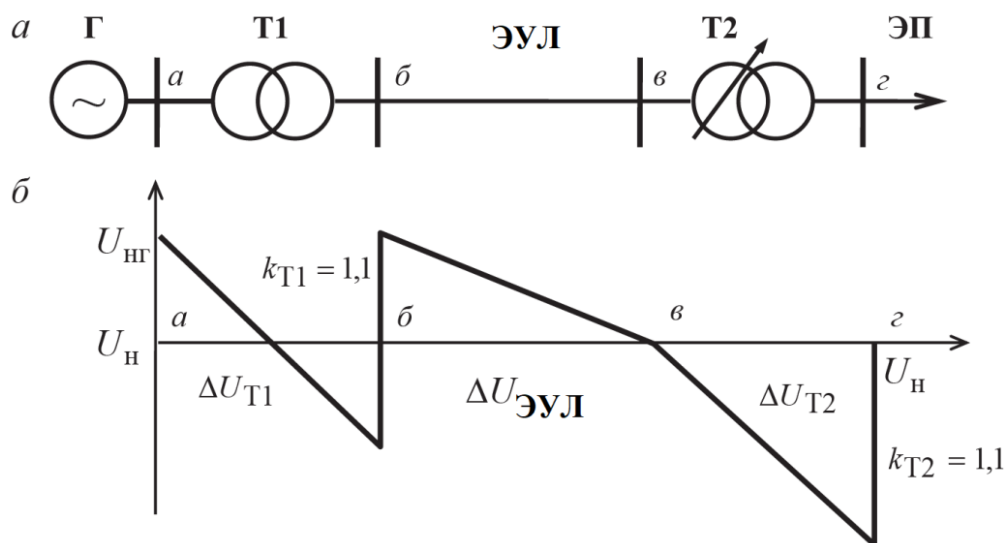
Электр қабул қилувчиларнинг асосий турларининг иш режимларининг ўзига хос хусусиятлари, бир томондан, электр таъминоти схемаларини қуриш учун уларнинг талабларини, электр энергияси тизимлари томонидан етказиб бериладиган электр энергиясининг ишончилиги ва сифатини белгилайди, ва бошқа томондан, энергия тизимларининг ишлашига таъсир қилади ва уларнинг ишлаши масалаларини ҳал қилишда уларни ҳисобга олиш керак. [7].

Электр энергияси деярли тўпланмайди, шунинг учун ҳозирги пайтда қанча электр энергияси ишлаб чиқарилган бўлса, шунчаси истеъмолчигаша узатилади, исрофлардан ташқари. Ишлаб чиқариш, трансформация, тақсимлаш ва истеъмол бир вақтнинг ўзида ва деярли бир зумда содир бўлади. Шунинг учун электр энергияси тизимларининг барча элементлари, қоида тариқасида, битта занжирга бирлаштирилган ва умумий режимда синхрон ишлайди. Таъмирлаш, бахтсиз ҳодисалар, ва ҳоказо, истеъмолчига тақдим этиладиган электр энергияси миқдорининг пасайишига (захира бўлмаган тақдирда) ва натижада ўрнатилган ускунадан тўлиқ фойдаланишга олиб келади.

Замонавий Ўзбекистон электр энергетикасида электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва истеъмол қилиш деярли бутунлай саноат частотасининг ўзгарувчан токида (50 Гц) амалга оширилади. Энергия тизимларидаги жараёнларнинг юқори тезлиги электр энергиясини ишлаб чиқариш ва истеъмол қилиш жараёнини тўлиқ автоматлаштиришга қадар кенг доирада автоматлаштиришдан фойдаланишни ва ходимларнинг аралашуви еҳтимолини истисно қилишни талаб қилади. Масалан: тўлқин жараёнларининг давомийлиги, билан: $(10^{-3} - 10^{-6})$; ўчириш ва қўшишлар- 10^{-1} ; қисқа туташув давомийлиги $(10^{-1} - 10^{-2})$, тебраниш (1-10).

1.3. Электр қурилмалари. Қурилмаларнинг номинал маълумотлари

ЭУТҚ (ПУЭ) маълумотларига кўра, электр иншоотлари электр энергияси ишлаб чиқариладиган, конвертация қилинадиган, тақсимланадиган ва истеъмол қилинадиган қурилмалардир. Электр иншоотининг номинал токи, кучланиши, қуввати, қувват коэффиценти ва бошқалар паспорт маълумотлари (амалда, бу электр иншоотининг ишлаши янада тежамкор бўлган маълумотлар). Номинал кучланиш деганда тармоқнинг фазадан фазага кучланиши, электр энергияси тизимининг элементлари ва электр қабул қилувчилар тушунилади. Электр энергияси истеъмолчиларининг шиналарида керакли кучланиш даражасини таъминлашни осонлаштириш учун бир хил кучланиш синфидаги номинал кучланиш қийматлари электр энергияси тизимининг элементлари орасида фарқ қилади.



Расм - 1.3. Электр узатиш схемаси (а) ва электр узатишнинг кучланиш диаграммаси (б)

Шундай қилиб, генераторлар ва трансформаторларнинг иккиламчи чўлғамларининг номинал кучланиш шкалалари истеъмолчилар, электр узатиш линиялари ва трансформаторларнинг бирламчи чўлғамларининг номинал кучланишининг (5-10)% га юқори танланади. 1.3, а ва 1.3, б рақамларида генератордан (Д) электр узатиш линияси (Т1), электр узатиш линияси (электр линияси), пастга тушадиган трансформатор (Т2) орқали электр узатиш диаграммаси ва кучланиш диаграммаси кўрсатилган.) истеъмолчи шиналарига (Н). Малумот базаси истеъмолчининг номинал кучланиши U_n , генераторнинг номинал кучланиши ва трансформаторнинг иккиламчи чўлғами юқори, $U_n = 1,05 U_n$. Рационал танланган номинал кучланиш ва трансформация коэффициентлари ёрдамида электр узатишдаги кучланиш пасайишини қоплаш мумкин (ΔU_{T1} , ΔU_{T2} , ΔU_{T3}) ва истеъмолчида номинал кучланишни сақлаб туриш мумкин.

50 Гц частотали уч фазали ўзгарувчан ток электр қурилмаларининг киловольт (кВ) даги номинал кучланиш шкаласи 1.3-жадвалда келтирилган.

Жадвалда 1.3.

Электр қурилмаларининг номинал кучланиш шкаласи, кВ

Электр қабул килувчиларнинг тармоқлари	Генератор	Трансформатор		Енг юқори ишчи кучланиши
		бирламчи чўлғам	иккиламчи чўлғам	
0,22	0,23	0,22	0,23	—
0,38	0,4	0,38	0,4	—
0,66	0,69	0,66	0,69	—
3	3,15	3; 3,15	3,15; 3,3	3,6
6	6,3	6; 6,3	6,3; 6,6	6,9
10	10,5	10; 10,5	10,5; 11	11,5
—	13,8	13,8	—	—
—	15,75	15,75	—	—
—	18	18	—	—
20	20; 24	20	22	23
35	—	35	36,75; 38,5	40,5
110	—	110; 115	115; 121	126
150	—	150; 158	158; 165	172
220	—	230	242	252
330	—	330	347	363
500	—	500	525	525
750	—	750	787	787
1150	—	1150	—	1207,5

1.3-жадвалдан кўриниб турибдики, рухсат этилган максимал иш кучланиши номиналдан 15% ($U_n \leq 220$ кВ), 10 — ($220 < U_n < 500$) ва 5 — ($U_n > 500$) га ошади.

Номинал трансформация коэффициенти трансформатор чўлғамларининг номинал кучланишларининг нисбати. номинал қувватлар генераторлар ва трансформаторлар учун кўрсатилган, турбо генераторлар учун актив қувват (P_n , кВт) ва гидро генераторлар ҳамда трансформаторлар учун тўлиқ қувват (S_n , кВа) ўрнатилган. Турбогенераторлар ва трансформаторларнинг номинал қувватларининг шкаласи 1.4-жадвалда келтирилган.

Жадвал 1.4.

**Турбогенератор ва трансформаторларнинг номинал қувватлари
шкаласи**

Турбогенераторларнинг номинал қувватлари, МВт	Трансформаторларнинг номинал қувватлари, кВа	
	Эски шкала	Янги шкала
4	5,6	-
6	7,5	—
12	10,0	10
25	15,0	16
30	20,0	25
50	31,5	(32)
60	40,5	40
63	60,0	63
100	75,0	—
150	82,5	(80)
160	120,0	100
200	180,0	(125)
220	240,0	(200)
300	360,0	(500)
320	—	Кейинги кўпайтмалар
10	—	
500	—	
800	—	
1000	—	
1200	—	

1961 йилгача ишлаб чиқарилган трансформаторлар эски мактабдир. Янги шкала ўнга кўпайтириладиган қувватлар мавжуд бўлиши учун яратилган. Қавслар ичида кўрсатилган имкониятлар учун баъзи истиснолар кузатилади.

Гидроэлектр генераторлари учун стандарт қувват шкаласи мавжуд эмас, чунки улар маълум бир гидроэлектр станциясининг сув оқимини ҳисобга олган ҳолда алоҳида ишлаб чиқарилади. Номинал қувват коэффициенти генераторлар ва электр моторлар учун ўрнатилади ва ўрнатишнинг номинал актив (тўлиқ) қуввати ва номинал кучланишида қайси максимал реактив қувват қабул қилинишини кўрсатади. Рухсат этилган параметрлар электр иншоотларини (ЭУТҚ) техник ишлатиш қоидалари билан тартибга солинади.

1.4. Энергия тизимларининг электр тармоқларини таснифлаш

Замонавий электр энергия тизимлари жуда мураккаб кўп контурли электр тармоқларидан тортиб, биргаликда ишлаш учун бирлаштирилган очиқ ҳалқали радиал тармоқларгача бўлган турли хил конфигурациялардаги электр тармоқларини ўз ичига олади. Электр тармоқлари одатда конфигурация, функционал мақсад, кучланиш синфи ва бошқалар бўйича таснифланади. Электр тармоқлари ДС ва АС тармоқларидаги оқим турлари бўйича таснифланади.

Ҳозирги вақтда асосий тармоқларнинг аксарияти ўзгарувчан ток билан уч фазали килиб ишлаб чиқарилган.

Ўзгарувчан токдан фойдаланишнинг афзалликлари қуйидагилардан иборат: ишлаб чиқариш токи ва истеъмол турининг мос келиши, ўзгарувчан ток ускуналарининг яхши ривожланган диапазони; узатиш ва тарқатиш учун ўзгарувчан токни ўзгартириш имконияти.

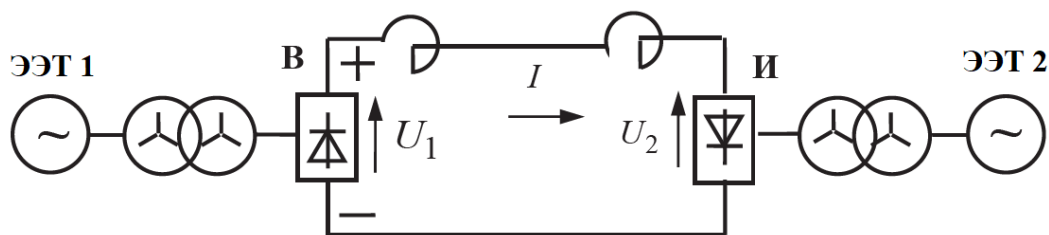
Ўзгарувчан токдан фойдаланишнинг камчиликлари қуйидагилардир: реактив ва сиғимли узатиш элементларининг намоён бўлиши, реактив қувват; индуктив қаршилик билан статик барқарорлик туфайли линия бўйлаб қувват узатишни чеклаш; одамлар учун ўзгарувчан ток ва магнит майдон хавфининг ошиши.

Ўзгармас токнинг қўлланилиш доираси иқтисодий жиҳатдан оқланган бўлиши керак. Катта энергетикада активият кўрсатаётган барча электр тизимлари, ўзгарувчан токнинг тизими деб ҳисобланади, яъни ўзгармас ток узатилиши ҳардоим ўзаро икки ўзгарувчан ток тизимини боғлайди.

Ўзгармас токнинг афзалликлари - статик барқарорлик ва ток ортиб кетишига мослашувчан тартибга солиш нуқтаи назаридан электр узатишда чекловларнинг йўқлиги, турли частотали тизимларни улаш қобилияти ва узун кабел линияларини изоляциялашда исрофларнинг паст даражаси.

Ўзгармас токнинг камчиликлари - бу ишлатишнинг мураккаблиги ва тўғрилагич (выпрямитель) (В) ва инвертор (И) қурилмаларининг юқори нархи, энг муҳими, тўғридан-тўғри токни ўзгартиришнинг мумкин эмаслиги ва ўзгармас ток ишлаши учун коммутация ускуналарининг етишмаслиги.

Ўзгармас токни узатишнинг блок диаграммаси расм 1.4: қувват ЭЭТ1 дан ЭЭТ2 га узатилади, қувватнинг тескари оқишида тўғрилагич (В) ва инвертор (И) - ларнинг роллари ўзгаради.



Расм - 1.4. Ўзгармас ток узатишнинг тузулиши схемаси

Тармоқларни *номинал кучланиш бўйича* таснифлаш уларнинг бўлинишини таъминлайди [2]:

- * номинал кучланиши 1000 В ва ундан паст бўлган паст кучланишли қурилмалар учун;
- * ўрта кучланиш-номинал кучланиш 1 дан 35 кВ гача;
- * номинал кучланиш 110 кВ ва ундан юқори бўлган юқори кучланиш;
- * номинал кучланиши 330, 500, 750, 1150 кВ бўлган тармоқлар анъанавий равишда ултра юқори кучланишли тармоқлар сифатида таснифланади.

Ушбу таснифнинг анъанавийлиги тобора юқори кучланиш синфлари тармоқларини қуриш тенденцияси билан изоҳланади.

Функционал мақсадларига кўра электр тармоқлари таъминот ва тарқатиш, магистрал, туман ва маҳаллий тармоқларга бўлинади.

Таъминот тармоқлари электр станциялари ва тизимнинг йирик подстанцияларидан қувватни истеъмол электр марказларига (туман марказларига) ўтказиш учун мўлжалланган. Тарқатиш тармоқлари тизимнинг Марказий, тугунли подстанцияларидан қувватни электр энергиясининг алоҳида истеъмолчилари ўртасида тақсимлаш учун ишлатилади [5, 6].

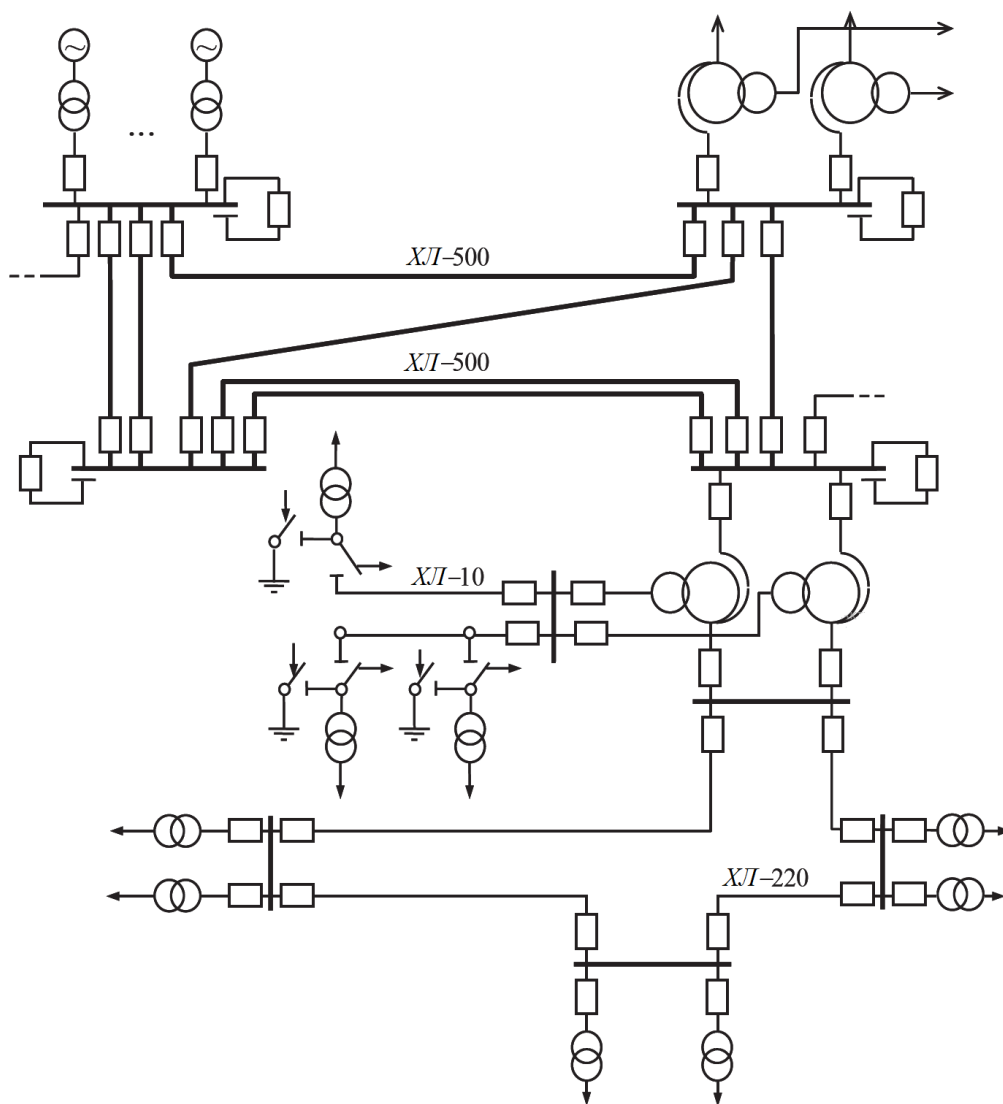
Тизим ташкил этувчи тармоқлар ўзаро йирик электр энергия манбалари (электр станциялари) ва тизимнинг йирик энергия туманларидан, шунингдек электр энергияси тизимлари ўртасидаги алоқа учун мўлжалланган. Оҳиргиси тизимлар аро алоқа деб аталади (ТАА). Тизим ташкил этувчи тармоқлар одатда ўта юқори кучланиш ($U_{\text{ном}} \geq 220$ кВ) линиялари билан бажарилади.

Туман электр тармоқлари энерготизимнинг туман электр подстанцияларига хизмат қилади ва кичикроқ тақсимлаш подстанцияларга эга бўлган катта тугунли таъминотчи подстанцияларни боғлайди. Бундай тармоқлар, қоида тариқасида, 220 кВ гача бўлган номинал кучланишларда

бажарилади. Шунни таъкидлаш керакки, кузатилаётган сўнгги тенденциялар мавжуд минтақавий электр тармоқларининг кучланиш синфларини ошириш, кўпинча тарқатиш тармоқлари сифатида қаралади.

Маҳаллий электр тармоқлари туман подстанцияларидан истеъмолчиларни қувватлантириш учун хизмат қилади ва 35 кВ ва ундан паст номинал кучланишларда ишлайди.

Шунни таъкидлаш керакки, электр тармоқларининг ушбу таснифи шартли ҳисобланади, чунки баъзи ҳолларда тақсимлаш тармоқлари тизим ташкил этувчига таълуқли, маҳаллий - тақсимлаш тармоқларига ва аксинча деб таснифланади.



Расм - 1.5. Энерготизимнинг туман электр схемасининг мисоли.

Ушбу турдаги электр тармоқларидан ташқари, саноат корхоналари ва маиший истеъмолчилар учун номинал кучланиши 10 кВ ва ундан паст бўлган

юқори даражада ривожланган электр таъминоти тармоқлари мавжуд. Расм 1.5-да туман электр тизимининг диаграммаси, шу жумладан номинал кучланиши 500 кВ (ХЛ -500 кВ) бўлган магистрал электр тармоғи, номинал кучланиши 220 кВ (ХЛ -220 кВ) бўлган туман тармоғи ва номинал кучланиши 10 кВ бўлган маҳаллий тармоқ (ХЛ -10). 500 кВ тармоқ 220 кВ - 10 кВ тарқатиш тармоқларига нисбатан таъминот тармоғидир.

Ўзининг *конфигурацияси* бўйича 500 кВ тармоқ мураккаб ёпик, 220 кВ тармоқ ҳалқали ва 10 кВ тармоқ очик радиалдир. Конфигурацияга кўра, электр тармоқлари мураккаб-ёпик, бир нечта ёпик схемалардан иборат ва очик ҳалқаларга бўлинади. Мураккаб туташган тармоқлар одатда тизим ташкил этувчи ва тақсимловчи тармоқлари. Ёпик электр тармоқларнинг одатий махсус ҳолатлари иккита қувват манбаи ва ҳалқа тармоқлари бўлган алоҳида электр узатиш линиялари ҳисобланади. Ҳалқа тармоғини узатиш охирида бир хил кучланишда икки томонлама қувват манбаи бўлган тармоқнинг алоҳида ҳолати деб ҳисоблаш мумкин: $U_A=U_B$. Ажратилган тармоқлар тармоқланган ёки радиал бўлиши мумкин. Корхоналарнинг электр таъминоти тармоқлари, шаҳар, маҳаллий тармоқлар, тарқатиш ва магистрал тармоқларнинг алоҳида бўлимлари одатда очик.

1.5. Электр тармоқларнинг ўрнатилган режимларини ҳисоблашнинг мақсади ва усуллари

Электр тизимлари элементларининг биргаликдаги ишлашини таҳлил қилиш уларнинг ишлашининг турли режимларини таҳлил қилиш орқали амалга оширилади. Таҳлил қилинадиган электр энергияси тизимларининг иш режимлари тўпламини ўрнатилган ва вақтинчалик режимларга бўлиш мумкин.

Электр энергияси тизимларининг ўрнатилган ҳолат режимлари деганда параметрлари саноат частотасининг электромагнит жараёнлари тезлигига нисбатан секин ўзгариб турадиган режимлар тушунилади. Вақтинчалик режимларнинг параметрлари электромагнит жараёнларнинг тезлиги билан таққосланадиган тезликда ўзгариши мумкин [3-6].

Электр энергияси тизимининг, унинг туманлари ва алоҳида электр узатиш линияларининг ўрнатилган режимларини таҳлил қилишдан мақсад ушбу режимларнинг параметрларини ҳисоблаш ва уларни мақбул қийматлар билан таққослашдир. Ўрнатилган ҳолат параметрларининг рухсат етилган қийматлари диапозони электр энергиясининг сифати бўйича ЎРҚ-939-сонли 07.08.2024. (Электр энергетикаси тўғрисидаги) қонун талабларига мувофиқ белгиланади [2].

Электр тармоғининг ўрнатилган ҳолат режимининг параметрлари қуйидагича тушунилади: электр тармоғининг ҳар бир қисмининг бошида ва охирида актив ва реактив қувватларнинг тоқлари; тармоқларнинг барча элементларида қувват исрофлари; электр тармоқларининг барча бўлимларида тоқлар векторлари; барча тармоқ тугунларининг кучланиш векторлари.

Келажакда, агар махсус белгиланишлар бўлмаса, қувват оқими тўлиқ S (МВА), актив – W (Мвт) ёки реактив – Q (Мвар) қувватларининг уч фазали оқимлари сифатида тушунилади, айти пайтда $S = P + jQ$. Тўлиқ қувват ифодаси унинг актив - индуктив хусусиятини ҳисобга олган ҳолда ёзилади,. Ток деб фаза тоқининг вектори – I деб тушунилади, кучланиш линиянинг ёки фазалараро кучланишинг вектори - U деб тушунилади. Линия кучланиши, линия номинал тармоқ кучланишлари шкаласига мувофиқ тармоқ режими параметрларини ҳисоблаш учун асосий кучланиш сифатида ишлатилади.

Одатда, ўрнатилган режимларнинг параметрларини таҳлил қилишда, агар махсус шартлар бўлмаса, Давлат стандарти талаблари бажарилган деб тахмин қилинади. Бундай ҳолда, биз фазаларда бир хил тармоқ схемаси параметрларига эга бўлган носимметрик уч фазали тармоқни кўриб чиқамиз. Кейин тармоқнинг битта асосий босқичи учун саноат частотаси 50 Гц бўлган уч фазали ўзгарувчан ток тармоғининг урнатилган ҳолат параметрларини таҳлил қилиш мумкин. Қолган икки фазанинг кучланиш ва ток векторлари бир хил модулларга эга ва асосий фазанинг векторларига нисбатан бурчаклар бўйича силжийди $\pm 120^\circ$.

Бундай ҳолда, электр тармоғини алмаштириш схемаси сифатида бир фазали алмаштириш схемаси ишлатилади ва умумий қаршилик $Z = R + jX$ ва умумий ўтказувчанлик $Y = G \pm jB$ қийматлари тармоқнинг бир фазасининг қаршиликлари ва ўтказувчанлигини англатади. Электр тармоқларининг ўрнатилган ҳолат режимларини таҳлил қилишда ишлатиладиган элементларини алмаштириш схемалари элемент турига, тармоқнинг номинал кучланиш синфига ва ҳал қилинаётган муаммога боғлиқ (қуйида ушбу қўлланманинг 4 ва 5-бўлимларида муҳокама қилинади).

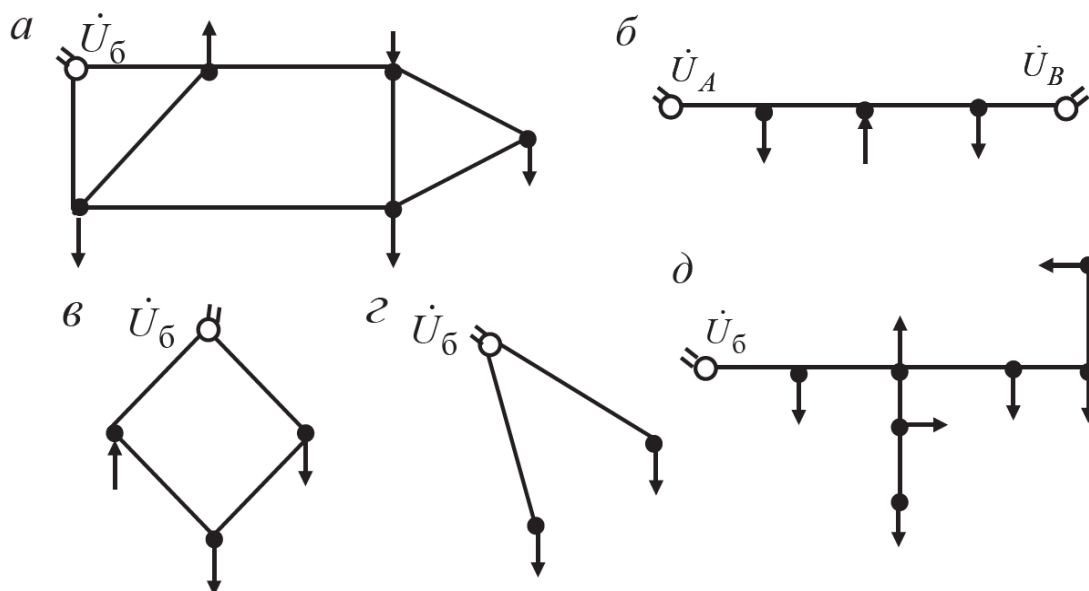
Электр тармоқларининг ўрнатилган ҳолат режимларини ҳисоблаш ва таҳлил қилишнинг мазмуни, мақсади ва усуллари тармоқнинг номинал кучланишининг функционал мақсади, конфигурацияси ва синфига боғлиқ. Электр тармоқларининг ўрнатилган ҳолат режимларини ҳисоблаш муаммоларини ҳал қилиш, уларнинг конфигурациясидан қатъи назар, режимлар параметрларини кетма-кет такомиллаштиришнинг итератив жараёнига қисқартирилади. Ушбу ҳолат ўзгарувчан ток электр тармоқларининг физик хусусиятлари, яъни ўрнатилган ҳолат параметрларининг линияли бўлмаган муносабатлари билан изоҳланади.

Масалан, тармоқ қисмидаги қувват исрофлари квадратик равишда ушбу қисмдаги тоқларга ёки қувват оқимларига боғлиқ.

Электр режимларини ҳисоб-китобларни амалга оширишда электр тармоғининг схемасини унинг конфигурациясини кўрсатадиган тармоқ графиги шаклида тасвирлаш қулай. Алоқа тармоғининг графигида электр узатиш линиялари ёки трансформаторлар тармоқ тугунлари ўртасида, юкламалар шиналари эса тугунлар томонидан ишлатилади. 1.6 – расмда ҳар хил конфигурация туридаги электр тармоқларининг графикалари схематик тарзда кўрсатилган: 1.6 – расмда мураккаб ёпиқ электр тармоғининг графиги, *a*, 1.6, 1.6, *б* – 1.6, *д* расмларда мос равишда икки томонлама қувват манбаи бўлган очик тармоқлар ва тармоқларнинг графикалари.

Очиқ электр тармоқлар ва икки томонлама қувват манбаи бўлган тармоқларнинг ўрнатилган ҳолат режимларининг параметрларини ҳисоблаш қўлда осонгина амалга оширилиши мумкин. Қўлда ҳисоблаш усулларида фойдаланиш ҳар қандай конфигурациядаги ўрнатилган электр тармоқларининг хусусиятлари ва параметрларини сифатли таҳлил қилиш ва ўрганиш учун ҳам жуда фойдали.

Мураккаб ёпиқ электр тармоқларининг барқарор ҳолат параметрларини ҳисоблаш одатда ўрнатилган ҳолат тенгламаларини таҳлил қилиш ёки тармоқни ўзгартириш усулларида фойдаланиш ва оддийроқ конфигурациянинг эквивалент тармоғини олиш асосида амалга оширилади.



Расм - 1.6. Электр тармоқларининг конфигурация турлари: *a* – мураккаб - ёпиқ; *б* - икки томонлама қувват манбаи билан; *в* -ҳалқали; *г* - радиал; *д* – ажратилган тармоқланган

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Энергия тизимининг таърифи нимадан иборат?
2. Иссиқлик электр станциясида бугнинг иссиқлик энергияси қайси қурилмада механик энергияга айланади?
3. Электр энергия тизими энергия тизимининг қайси қисми ҳисобланади?
4. Электр станцияларини энергия манбаи турига кўра таснифлаганда қайси турлар киради?
5. Гидроаккумуляцияловчи электр станция (ГАЭС)нинг асосий вазифаси нима?
6. Жадвал 1.1 га кўра, қайси электр қурилмаси энг юқори тўлиқ фойдали иш коэффициентига (ФИК) эга?
7. Ўзбекистон Республикасида ўрнатилган қувватларнинг қарийб қанча фоизи иссиқлик электр станцияларига тўғри келади?
8. Подстанция ва тақсимлаш пунктининг асосий фарқи нимада?
9. 110 кВ номинал кучланишдаги тармоқ учун генератор ва трансформатор иккиламчи чўлғами номинал кучланиши қанча бўлади?
10. Электр тармоқларини функционал мақсадига кўра асосий турлари қайсилар?

Симнинг осма ўқи – бу таянчларни идеал текис юзага ўрнатишда симнинг энг паст нуқтасидан қўшни таянчлардаги симни осма нуқталарини ерга боғлайдиган тўғри чизикгача бўлган вертикал масофа. Симнинг осма габарит ўқи деб умумий ораликда рухсат этилган максимал осма ўқига айтилади. Умумий оралик – бу иккита қўшни таянч орасидаги масофа бўлиб, унда ер юзасининг текис профили билан симнинг энг катта осма билан оралиқнинг ўртасида симдан ергача бўлган масофа нормаллаштирилган рухсат этилган қийматга тенг.

Ушлаб турувчи осгичга симлар осилган таянчлар оралик деб аталади ва тортиб турувчи осгичли таянчлар – анкерли деб аталади. Анкерли таянчларининг асосий мақсади анкерли таянчининг бир томонида жойлашган линия симининг ўзгарган ҳолатининг таянчнинг бошқа томонида жойлашган қисмга тарқалишини чеклашдир.

2.2. Ҳаво линияси ўтказгичларининг конструктив элементлари

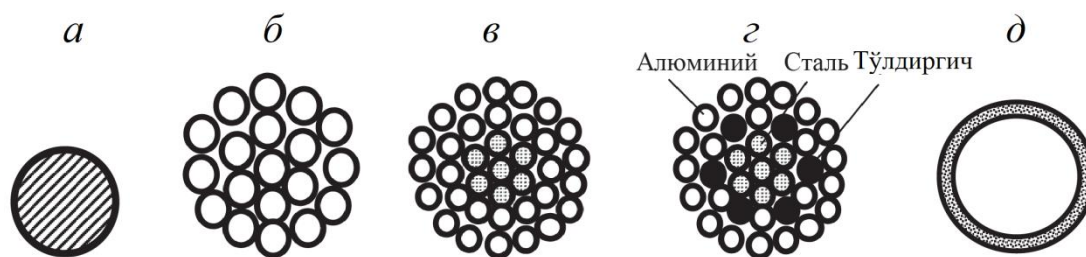
Ҳаво линияси ўтказгичлари асосан алюминий ва унинг қотишмаларидан, камроқ мис ва унинг қотишмаларидан тайёрланади. Баъзи ҳолларда пўлат симлардан фойдаланиш керак. Алюминий, мис ва уларнинг қотишмалари етарли механик мустаҳкамликка эга совуққўзилган сим шаклида қўлланилади.

Мис, юқори электр ўтказувчанлиги туфайли ўтказгичларни тайёрлаш учун жуда яхши материалдир. Бироқ, бир қатор мамлакатларда, шу жумладан Ўзбекистонда мис етишмаяпти, шунинг учун мис ўтказгичлари фақат у ёки бу сабабларга кўра алюминий ёки алюминий пўлат ўтказгичлардан фойдаланиш мумкин бўлмаган ҳолларда қўлланилади.

Ҳаво линияси ўтказгичлари битта симли ёки кўп симли бўлиши мумкин. Ягона симли ўтказгичлар фақат 1000 В гача кучланишли линияларда қўлланилади, юқори номинал кучланиш синфларининг линиялари кўп симли ўтказгичлар ёрдамида қурилади. Кўп симли ўтказгичларнинг асосий афзалликлари уларнинг юқори ишончлилиги ва яхши мослашувчанлигидир.

Кўп симли ўтказгичлар пўлат ўзакли ўтказгичларнинг юқори механик мустаҳкамлигини ва камроқ бардошли ташқи симларнинг юқори электр ўтказувчанлигини бирлаштириш учун икки металлдан ясалган. Алюминий-пўлат ўтказгичлар нисбатан арзонлиги ва яхши механик ва электр ўтказувчан хусусиятлари туфайли энг кенг қўлланилади. Турли марказдаги симлардаги алюминий қисмнинг тасаввурлар майдони одатда пўлат майдонидан 4-8 барабар ошади.

Изоляция қилинмаган ўтказгичларнинг дизайни расим 2.3 да келтирилган.



Расм – 2.3. Изоляция қилинмаган ҳаво ўтказгичларини кўриниши: *а* – битта толали сим; *б* – битта металлдан ясалган кўп симли ўтказгич; *в* – икки хил металлдан ясалган кўп симли ўтказгич; *г* – диэлектрик тўлдиргичли билан иккита металлдан ясалган кўп симли ўтказгич; *д* – ичи бўш ўтказгич

Изоляция қилинмаган симларнинг параметрлари [9] да келтирилган. Юқори кучланишли линияларнинг изоляцияланмаган симлари юзасида юқори электр майдон кучлари пайдо бўлиши мумкин, бу эса тож деб аталадиган «ўтказгич - ҳаво» электр разрядига олиб келади, бу эса ҳаво линияларида актив қувват ва энергия йўқотилишига олиб келади. Линияларнинг у ёки бу қесимли ўтказгичларидан фойдаланишга рухсат берилишини белгилайдиган шарт – бу ўтказгичлар юзасидаги максимал электр нол кучланишининг қиймати бўлиб, унда тож разрядланиши ҳодисаси содир бўлади. ЭҚЎҚ [1] ушбу шартга мувофиқ 35 кВ ва ундан юқори кучланишларда иқтисодий мақсадга мувофиқлик шартларига мувофиқ танланган ўтказгичларнинг кесимини текширишни белгилайди.

Ҳаво линияси ўтказгичининг юзасида майдон кучланишини камайтиришнинг асосий усулларида бири бу ўтказгичнинг диаметрини иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ равишда сунъий равишда оширишдир. Ўтказгич -сарфини кўпайтирмасдан ўтказгичларнинг эквивалент диаметрини ошириш диэлектрик тўлдиргич моддалари ёки ичи бўш симлар ёрдамида амалга оширилиши мумкин, улар 2.2, *г* ва 2.2, *д* расимларида кўрсатилган электр узатиш линияларининг босқичлари. Алюминий пўлат ўтказгичлар электр энергетика тизимида кўп қўлланилади. Алюминий пўлат ўтказгичларнинг маркировкасига ҳарф белгиси (АС - алюминий - пўлат) ва рақамли каср киради (алюминий қобиғининг кесими - суъратда, пўлат ўзак – махражда), масалан, АС—150/24. Саноат қуйидаги стандарт кесимларнинг кўп симли ўтказгичларини ишлаб чиқаради [9], мм 2: 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 330, 400, 450, 500, 600, 650, 700, 750, 800, 1000 [8-10]. Кейинчалик, ўтказгичнинг кесими унинг алюминий қобиғининг кесимини англатади.

Номинал кучланишларнинг турли синфлари учун тожли разряд ҳолатига кўра изоляцияланмаган алюминий пўлат симларнинг рухсат этилган минимал кесимлари 2.1-жадвалда келтирилган.

Изоляция қилинмаган ўтказгичлардан ташқари, ҳаво линияларини ишлаб чиқаришда ўз-ўзини кўтарадиган изоляцияланган ўтказгичлар (ЎЎҚИС) 0,4-10 кВ линияларда тобора кўпроқ фойдаланилмоқда. ЎЎҚИС – дан фойдаланиш ҳаво линияларининг ишончилиги ва хавфсизлигини оширишга имкон беради ва рухсатсиз ноқонуний қувват уланишлар хавфини камайтиради. Ишончилиكنинг ошиши қамчилаш ва ўтказгичларнинг узилиши, қисқа туташувлар, кучли музли жойларда ўтказгичлардаги музли копламаларнинг деярли тўлиқ бартараф этилиши ва ўтказгич тебранишининг пасайиши билан боғлиқ.

Жадвал 2.1

110-750 кВ ҳаво линияларининг изоляцияланмаган алюминий пўлат ўтказгичларининг минимал рухсат этилган кесимлари ва диаметрлари

Номинал кучланиш, кВ	Фазадаги ўтказгичларни сони	Тож разряди бўйича диаметр, мм ²	Ўтказгич маркаси
110	1	11,4	АС 70/11
150	1	15,2	АС 120/19
220	1	21,6	АС 240/39
330	1	33,2	АС 600/72
330	2	21,6	АС 240/39
500	2	36,2	АС 700/86
500	3	24,5	АС 300/66
500	3	24,5	АС 330/27
750	4	29,1	АС 400/93
750	5	22,4	АС 240/56

ЎЎҚИЎ (СИП) –дан фойдаланиш тор шароитларда линияларни ўрнатишга ва бинолар ва бошқа муҳандислик иншоотларига минимал рухсат этилган хавфсиз масофани камайтиришга имкон беради, 0,4–10 кВ кўп занжирли линияларни бажариш имкониятларини кенгайтиради ва 0,4-10 кВ симларни бир хил таянчларда биргаликда тўхтатиб туришга имкон беради.

Бундан ташқари, ЎЎҚИЎ -нинг афзаллиги изоляцияланмаган симларга нисбатан реактивликни камайтиришдир.

Конструктив равишда, ЎЎҚИЎ -бу симнинг механик юкламаларини қўллаб-қувватловчи кабел томонидан қабул қилинадиган тарзда ташувчи трос атрофида ўралган изоляция қилинган симлар тўплами.

ЎЎҚИЎ параметрлари [9] да берилган. 2.4-расмда ўз-ўзини ташувчи изоляцияланган ўтказгичларнинг энг кенг тарқалган турлари кўрсатилган. ЎЎҚИЎ1 маркали ўзини-ўзи ташувчи ўтказгич расм 2.4, а, учта алюминий толадан иборат – 1 нурга чидамли термостабиллашган полиетилен билан изоляция қилинган – 2 ва изоляциясиз алюминий қотишмасидан тайёрланган нейтрал ташувчи – 3. Механик мустаҳкамлик ва фазалар кесимлари бир хил. Нейтрал ўтказгич ЎЎҚИЎ -ни осиш учун мўлжалланган ва юқори механик мустаҳкамликга эга. ЎЎҚИЎ2 ўтказгичи фақат ўзаро тикилган полиэтилендан тайёрланган фазали изоляция тури билан фарқ қилади.

ЎЎҚИЎ-1 (СИП-1)



ЎЎҚИЎ-2 (СИП-2)



ЎЎҚИЎ-3 (СИП-3)



ЎЎҚИЎ-4 (СИП-4)



ЎЎҚИЎ-5 (СИП-5)

Расм - 2.4. Ўз-ўзини қўтарувчи изоляцияланган симни қуриш: ЎЎҚИЎ-1; ЎЎҚИЎ-2; ЎЎҚИЎ-3; ЎЎҚИЎ-4; ЎЎҚИЎ-5

Ўз-ўзини кўтарувчи ўтказгичлар ЎЎКИЎ-1а (СИП-1а), ЎЎКИЎ-26 (СИП-26), 2.4 – расмдаги ЎЎКИЎ-1 (СИП-1), ва ЎЎКИЎ-2 (СИП-2) лардан фақат нол сим сифатида ишлатилиши мумкин бўлган изоляцияланган нейтрал ташувчининг мавжудлиги билан фарқ қилади. Ўз-ўзини кўтарувчи ўтказгич ЎЎКИЎ-4 (СИП-4), 2.4 – расм, ўтказгич тўртта изоляцияланган алюминий ўзакдан иборат. Барча ўзакларнинг механик кучи ва кесими бир хил; линияда чўзилганда, барча ўзаклар бир хил юкламаларни кўтаради. Юқорида айтиб ўтилган барча ЎЎКИЎ, тизимларида кўчаларни ёритиш учун 16-25 мм² кесимли қўшимча изоляцияланган алюминий ўтказгичларни киритиш мумкин.

2.3. Ҳаво линияси таянчларининг таркибий элементлари

Электр узатиш линияларининг таянчлари, битта таянчга ўрнатилган электр узатиш линиялари сонига мувофиқ, битта занжирли, икки занжирли ва кўп занжирли. Икки занжирли таянчлар 330 кВ гача бўлган номинал кучланиш линияларида ишлатилади. Кўп занжирли таянчлар хорижда қўлланилади ва Россия тор шароитда 110 кВ тўрт занжирли пўлат таянчлардан фойдаланиш тажрибасига эга. Электр узатиш линиясидаги иш шароитларига кўра, таянчлар оралиқ ва анкерлиларга бўлинади.

Оралиқ таянчлар (текис ва бурчакли) таянчнинг иккала томонидаги симнинг тахминан тенг оғирликлари учун мўлжалланган.

Анкер (бурчакли, транспозицион, тарқатувчи, ўтувчи, махсус, охирлари) таянчлар кучлироқ ва бир томондан симнинг оғирлиги учун мўлжалланган. Бурчак таянчлари йўналиш ўзгарган жойларда ўрнатиладиган таянчлар дейилади. Охирги таянчлари линиянинг учларига ўрнатиладиган ва симларнинг бир томонлама тортишишини сезадиган таянчлар деб аталади. Тарқатувчи ва кесишувчи таянчлар ҳаво линияларидан тарқатиш ва икки йўналишдаги ҳаво линияларининг кесишиши амалга ошириладиган таянчлар деб аталади. Ҳаво линияси таянчлари ёғоч, темир-бетон ва пўлатдан ясалади.

Ёғоч таянчлар 220 кВ дан юқори бўлмаган кучланишларда ишлатилади (220 кВ ҳаво линиялари учун деярли ишлатилмайди), темир-бетон таянчлар 500 дан юқори эмас, металл таянчлар 35 кВ дан кам бўлмаган кучланишларда ишлатилади.

Ҳозирги вақтда ҳаво линиялари асосан темир ёки темир-бетон таянчлар билан қурилган бўлиб, улар муҳим хизмат муддатига эга.

Ёғоч таянчлар қурилган ва антисептик билан сингдирилади (креозот, антрасетон, динитрофенол ва бошқалар.) қарағай ёки Сибир зотари. 20 кВ гача ва шу жумладан кучланишли ҳаво линияларининг оралиқ ва анкерли ёғоч устунларини қуриш 2.5-расмда келтирилган.

35 кВ ва ундан юқори кучланишли линиялар учун энг кенг тарқалган конструкциялардан – бу ички шамол уланишлари ва горизонтал симли битта занжирли ёғоч портал туридаги таянчлари (2.6-расм).

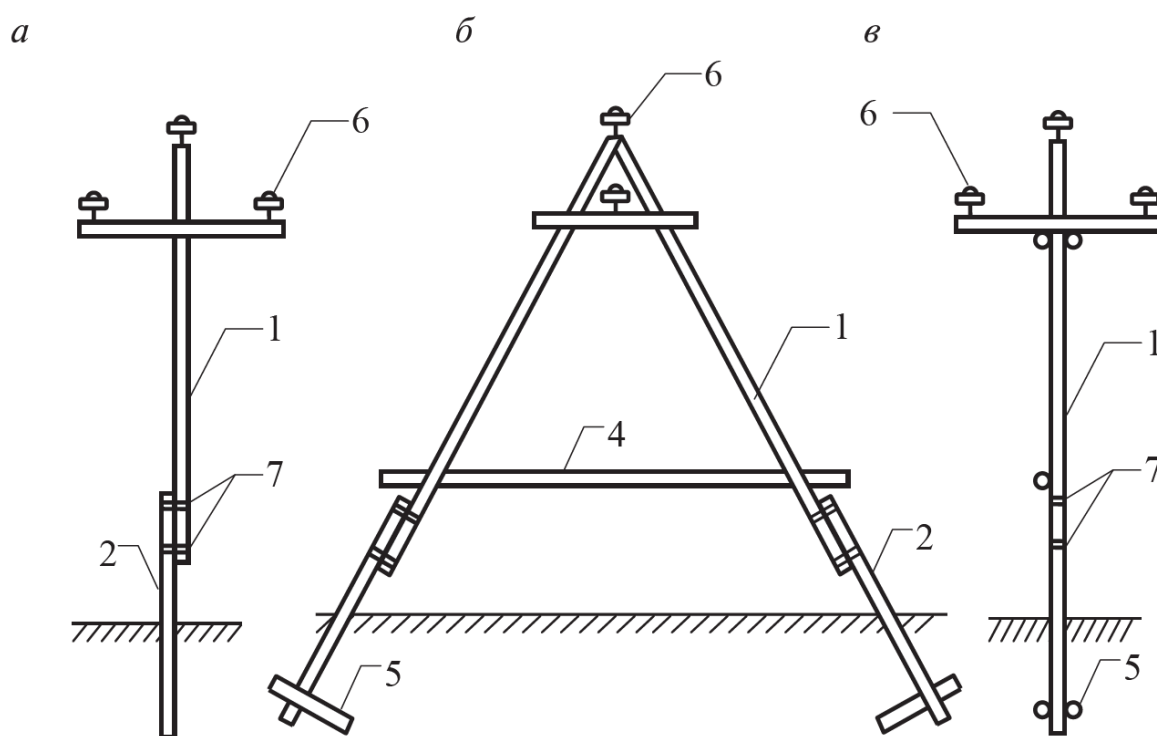
Ёғоч таянчлар фазалар ва, фазалар ҳамда ер ўртасида юқори импульсли изоляция кучига эга, шунинг учун улар чакмоқдан ҳимоя тросларисиз ишлатилади. Чакмоқни ҳимоя қилиш трослари фақат подстансияларга яқинлашганда қўлланилади.

Ёғоч таянчларнинг фотосуратлари 2.7-расмда кўрсатилган.

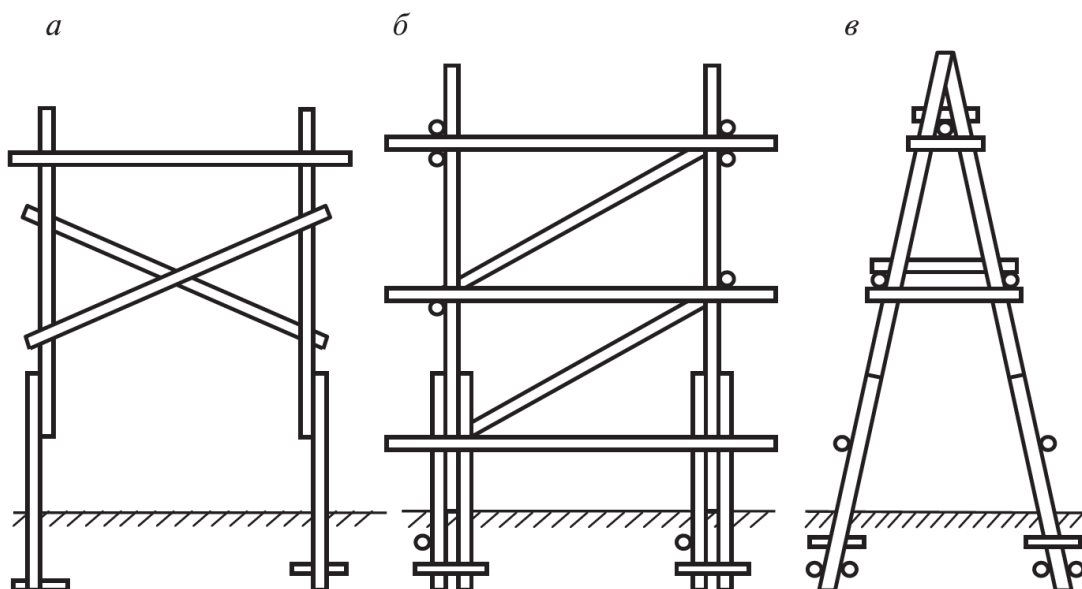
Темир-бетон таянчлар ёғоч ва металл таянчларга нисбатан юқори қувват ва чидамлилиқка эга.

Темир-бетон таянчларнинг камчиликлари узоқ масофаларга ташишда юқори оғирлик ва мўртликдир. Маҳаллий амалиётда фақат заводда ишлаб чиқарилган таянчлар ишлатилади, гарчи чет элда ўрнатиш жойида ишлаб чиқарилган таянчлар мавжуд.

35 кВ гача кучланишли ҳаво линияларининг электр узатиш линиялари учун тебраниш бетонидан ясалган таянчлар, 35 кВ дан юқори кучланишларда — центрафугали бетондан, 35 кВ кучланишда — иккала турдаги таянчлар ишлатилади.



Расм – 2.5. 6-20 кВ ҳаво линияларининг ёғоч устунларини конструкцияси: а – оралиқ таянч; б – анкерли таянчи (ён кўриниш); с – анкерли таянчи (олд кўриниш); 1 – тургич; 2 – бириктирма; 3 – траверса; 4 – ички уланиш; 5 – ригел; 6 – пиҳли изоляторлар; 7 – бандажлар



Расм – 2.6. 35 кВ ва ундан юқори ёғоч ҳаво линияси устунларини қуришга мисоллар: *а* – оралиқ таянч; *б* – анкерли таянч (олд кўриниш); *с* – анкерли (ён кўриниш)

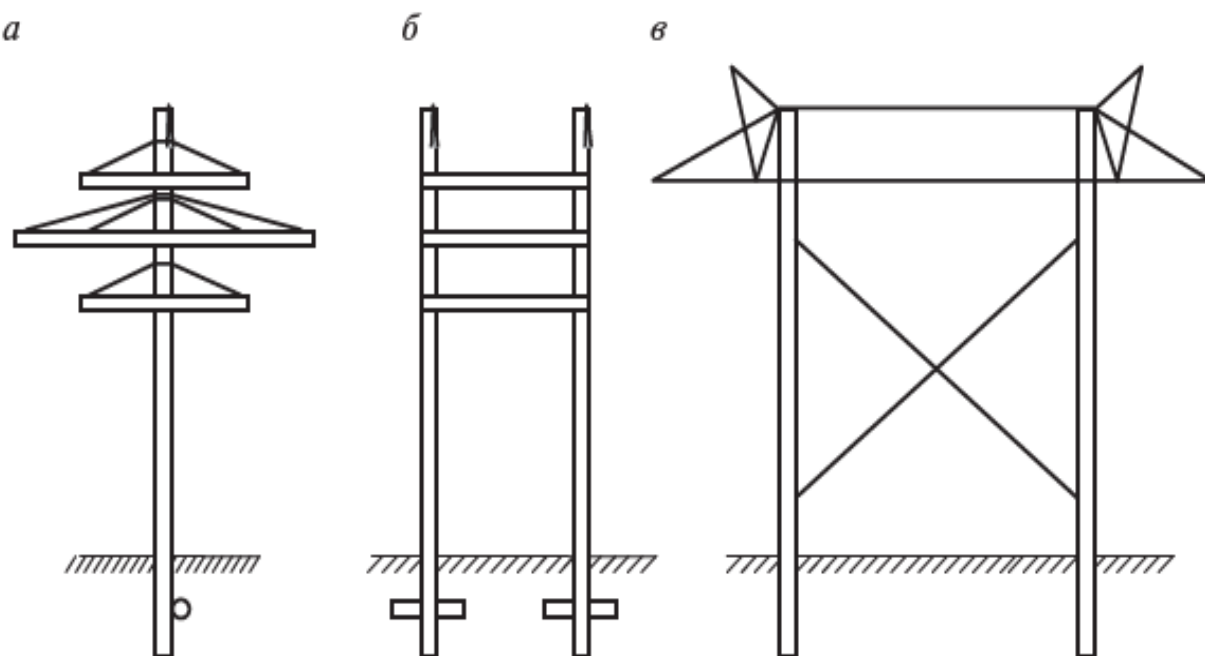


Расм – 2.7 35 кВ ва ундан юқори ёғоч ҳаво линияси таянчлари (оралиқ ва анкер таянчлари)

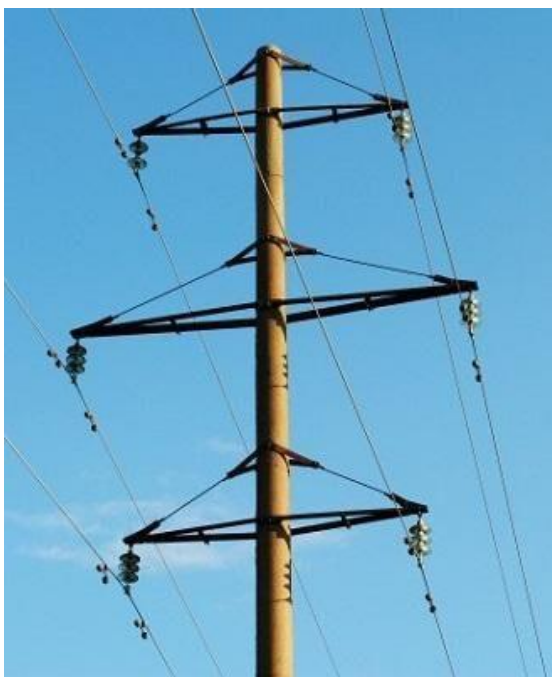
330 кВ гача кучланишли ҳаво линияларининг темир-бетон таянчлари битта занжирли ва икки занжирли бўлиши мумкин. 35 кВ линиялар учун оралиқ

таянчлар одатда битта устунли, бурчак ва анкер таянчлари эса тортувчи тўсинчалари билан битта устунли бўлади. Тортувчи тўсинчалари бўлган ёки бўлмаган икки турувчи таянчлар 110-220 кВ линияларда анкер таянчлари сифатида ишлатилиши мумкин (расм 2.8, *а* ва *б*). 35 ва 110 кВ ҳаво линияларининг битта занжирли таянчларига симларни жойлаштириш учбурчак шаклида, икки занжир учун "бочка" шаклида амалга оширилади (расм 2.8, *а*) ёки икки учбурчак.

220 кВ ва ундан юқори кучланишли ҳаво линиялари устунларида темир-бетон шпаллар бўлиши мумкин. 220 кВ линияларда симларнинг учбурчак жойлашуви билан оралиқ битта устунли эркин турган битта занжирли таянчлар ва симларнинг горизонтал жойлашуви билан икки занжирли портал типигаги таянчлар ишлатилади (расм. 2.8, *с*). 220 кВ линиялар учун анкер таянчлари битта занжирли икки тиргакли мустақил ёки тортувчи тўсинчалари билан, шунингдек, диаметри катталашган устунлар билан битта ёки икки тиргакли мустақил равишда амалга оширилади. 500 кВ темир-бетон таянчлар фақат тортувчи тўсинчалари билан ёки бўлмасдан оралиқ портал тури билан амалга оширилади. Фазаларнинг жойлашиши горизонталдир. Таянчларнинг ташқи кўриниши занжирда кўрсатилганидан кам фарқ қилади. 2.8, *в*.

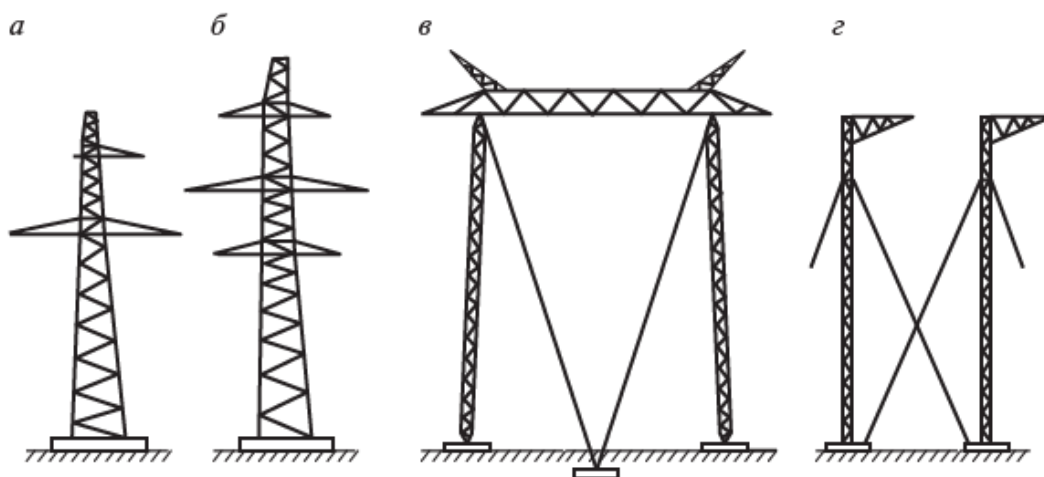


Расм - 2.8. Икки занжирли темир-бетон 110 ва 220 кВ-ли таянчларни конструктив мисоллар: *а* – икки устунли эркин таянч 110 кВ (олд кўриниш); *б* – бир хил (ён кўриниш); *с* – портал эркин таянч 220 кВ



Расм – 2.9. 110 ва 220 кВ-ли оралиқ темир-бетон таянчларнинг конструктив намуналари(икки занжирли ва битта занжирли эркин)

Пўлат таянчлар - бу темир йўл орқали ташилиши мумкин бўлган юқори пайвандланган қисмлар , траверс ва трос тоқчалари бундан мустасно, мурватларга йиғилган металл фермалар. 35 кВ ҳаво линияларида одатда чақмоқдан ҳимоя кабеллари мавжуд эмас (агар керак бўлса, трос тургичлари ўрнатилиши мумкин), 110 кВ ва ундан юқори линиялар чақмоқдан ҳимоя кабеллари билан жиҳозланган.



Расм – 2.10. Пўлат таянчларнинг конструктив мисоллари:
а – 110 кВ-ли “Қрим” туридаги таянч; *б* – 110 кВ-ли “бочка” туридаги таянч;
б – 500 кв gantry йигит таёқчалари билан оралиқ таянч; Д-500 кв йигит таёқчалари билан уч устунли лангар (икки фаза кўрсатилган).

Анкерли ва оралиқ 35-110 кВ ҳаво линиясининг битта занжирли таянчлари симларнинг учбурчак жойлашуви билан эркин туради (расм 2.10, а) ва икки занжир симлар "бочка" кўринишида жойлашиши (расм 2.10, б). 220 кВ ва ундан юқори линияларда, мустақил бўлганлар билан бир қаторда, тросли тортгичларга эга бўлган оралиқ таянчлар ишлатилади. 220 кВ линияларни таянчлари бир ёки иккита чақмоқдан ҳимоя қилиш трослари билан яратилган, 220 кВ дан юқори кучланишларда фақат иккитали. Ягона занжирли 220 кВ-ли таянчлар фазаларнинг учбурчак жойлашиш тартибига эга, икки занжирли таянчлар "бочка" турига киради. 500 кВ-ли ҳаво узатиш линияларида тортувчи тўсинчалар оралиқ портал типигаги таянчлар ишлатилади (расм 2.10, с) ёки эркин турган "рюмка" тури, анкер таянчлари уч устунли эркин турган ёки тортгич таёқчаларидан қилинган (анжир. 2.10, д). Пўлат таянчларнинг фотосуратлари расм – 2.11 келтирилган.



Расм – 2.11. 220 ва 500 кВ оралиқ пўлат таянчларнинг конструктив мисоллари (икки занжирли ва битта занжирли эркин турган, тортувчи тўсинчалари билан портал таянчлар)

2.2-жадвалда турли хил кучланиш синфлари ва турларининг линиялари таянчларидаги изоляторларнинг пастки шодасининг осма нуқтаси баландлиги ҳақида маълумот берилган. Таянчнинг асоси унинг ер ости қисми бўлиб, ташқи юкламалар таянчга таъсир қилганда пайдо бўладиган кучни ерга узатади. Ёғоч таянчлар учун пойдевор сифатида темир-бетон ёки ёғоч кўшимчалар ишлатилади, улар кўмилган ёки қозиқ шаклида ерга ҳайдалади.

Металл таянчлар учун пойдеворлар монолит бетон ёки йиғма темир-бетон пойдеворлар, металл оёқ таянчлари ва центрифугали темир-бетон қозиклар бўлиши мумкин.

2.2-жадвалда

Оралиғ устунлардаги пастки траверсагача бўлган масофа (ХЭУЛ)

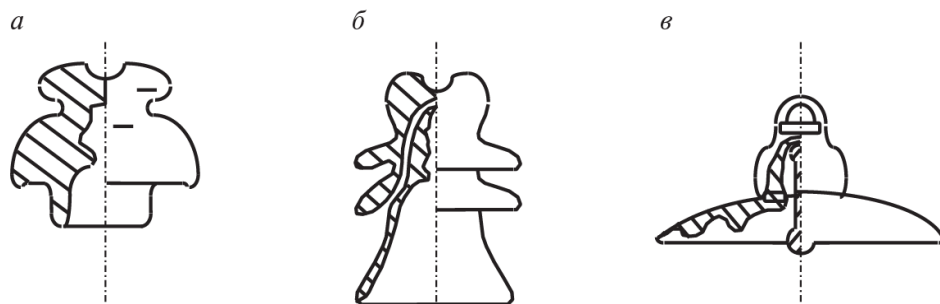
$U_{\text{ном}}$, кВ	Таянч турлари		
	Ёғоч	Темирбетон	Пўлат
6–10	7,9–8,9	7,9–8,9	
35	8,65*; 10,9 – 13,15; 14,65**	10,3–15,5	9,0*; 12,0–15,0
110	8,65; 10,9 – 13,15; 14,65;**	12,5–14,5; 18,5**	15,0*; 19,0
220	10,6*; 13,0 – 14,0; 17,5**	16,0–21,2	17,5–20,5*; 22,5–25,5; 30,0**
500	-	19,5–23,1	27

* Туширилган турдаги таянчлар; ** кўтарилган турдаги таянчлар.

Горизонтал кучлар таъсирида таянчларнинг барқарорлиги нафақат таянчни ерга маҳкамлаш орқали, балки пўлат узатма кабелларининг махсус тизими билан ҳам таъминланиши мумкин. Тортгичлар таянчларнинг юқори қисмларига ва ерга ўрнатилган лангар плиталарига бириктирилади.

2.4. Изоляторлар ва линиялар конструкцияларининг элементлари

Электр узатиш линияларида ишлатиладиган изоляторлар линия изоляторлари деб айтилади. Изоляторлар учун материаллар пишиқ шиша ва электротехник чинни. Линия изоляторлари пихли ва осма изоляторларга бўлинади. Пих изоляторлари пих ва илгаклар ёрдамида таянчларга маҳкамланади (расм 2.12, а, б) ва 35 кВ гача бўлган кучланишли линияларда ишлатилади, осмалар эса (расм 2.12, с) линия арматураси ёрдамида таянчларга ўрнатилади ва 35 кВ ва ундан юқори кучланишли линияларда қўлланилади.



Расм – 2.12. Пих ва осма линия изоляторларни конструкцияси: а – пихли изолятор 6 – 10 кВ; б – пихли изоляторлар 20 ва 35 кВ; в - шиша осма изолятор

Диск типигаги осма изоляторлар чинни ёки шиша изоляцион қисмлардан ва металл қисмлардан - цемент ёрдамида изоляцион қисмга уланган қопқоқ ва ўқлардан иборат. Ҳозирда 35 дан 500 кВ гача бўлган линияларда ишлатилиши мумкин бўлган пих полимер изоляторлари ишлаб чиқарилмоқда.

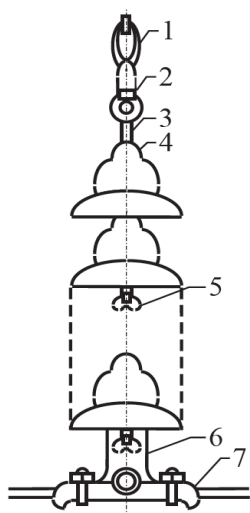
Изоляторлар шодалари осма ва тортувчиларга бўлинади. Изоляторларнинг осма шодалари оралиқ таянчларда ишлатилади, тортувчи - анкерли ва оҳирларда. Шоодадаги изоляторлар сони маълум бир nominal кучланиш линияси учун яратилиши керак бўлган изоляция даражаси билан белгиланади, бу ҳаво линиясининг номинал кучланиш синфини аниқлайдиган асосий визуал кўрсаткичдир. 2.3 – жадвалда оддий ифлосланмаган атмосферадаги шодалардаги изоляторлар сони ҳақида маълумотлар кўрсатилган. Линия ифлосланган шароитда ишлаётганда, бахтсиз ҳодиса эҳтимолини камайтириш учун шода узунлигини ошириш ёки кўшимча изоляторларнинг махсус турларидан фойдаланиш мумкин. 2.13 ва 2.14 – расмларда осма ва тортувчи изоляторларини конструктив мисоллари кўрсатилган. Осма ва тортувчи изоляторларининг фотосуратлари 2.15 – расмда келтирилган.

Жадвал 2.3.

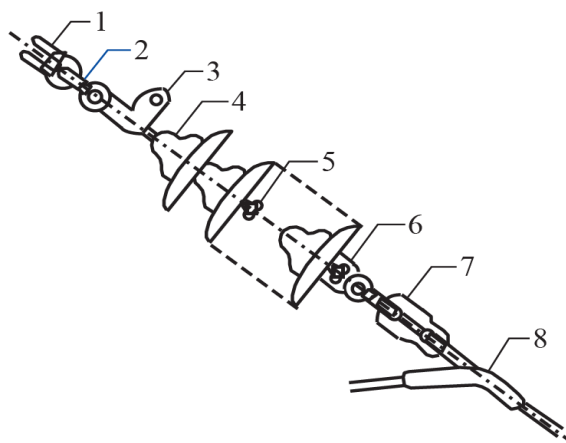
Бир занжирли ушлаб турувчи шодалардаги изоляторлар сони

Ифлосланмаган атмосфера		Ифлосланган атмосфера	
Линиянинг номинал кучланиши, кВ	Шоодадаги изоляторлар сони, дона.	Линиянинг номинал кучланиши, кВ	Шоодадаги изоляторлар сони, дона.
6–10	1	220	10–16
20	2–3	330	13–22
35	2–3	500	18–31
110	5–8	750	29–43
150	8–11	1150	49–73

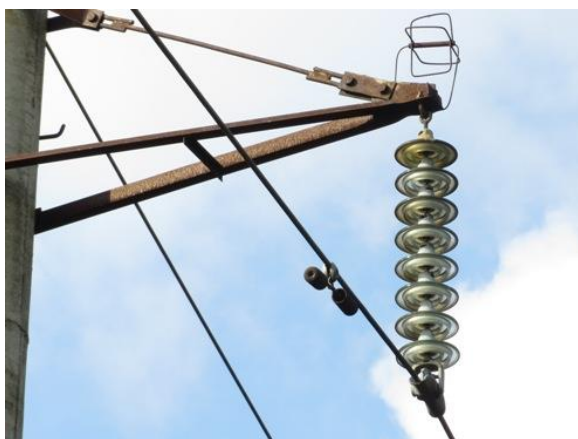
Линия арматураси. Линия арматураси деб аталадиган ёрдамчи элементлар ҳаво симларини изоляторларга, изоляторларнинг муфталарини ва изоляторларни таянчларга улаш учун ишлатилади. Линия арматураси пўлатдан ясалган, уларнинг диапазони жуда хилма-хил ва турли хил қисқичлар ва улагичларни ўз ичига олади. 2.16 ва 2.17 – расмларда қўллаб-қувватлаш ва кучланиш мурватининг қисқичлари кўрсатилган.



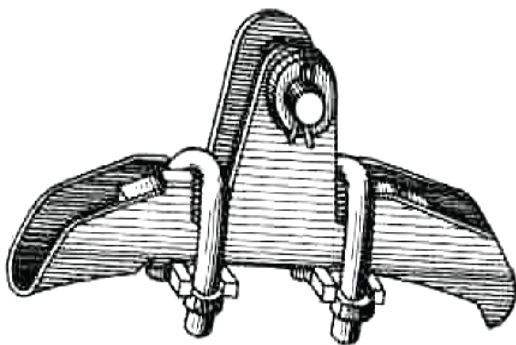
Расм – 2.13. Осма шоданинг ёғмаси: 1, 2 – скобалар; 3 – зираг; 4 – изолятор; 5 – даста; 6 – кулоқча; 7 – ушлаб турувчи қисқич



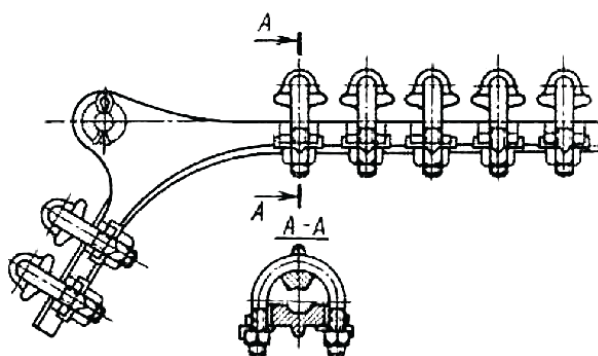
Расм – 2.14. Тортувчи шоданинг ёғмаси: 1, 2 - скобалао; 3 – монтаж скобаси; 4 – изолятор; 5 - даста; 6 – кулоқча; 7 - скоба; 8 – тортувчи қисқич



Расм – 2.15. Изолятор шодаларининг кўриниши (осма ва тортувчи)



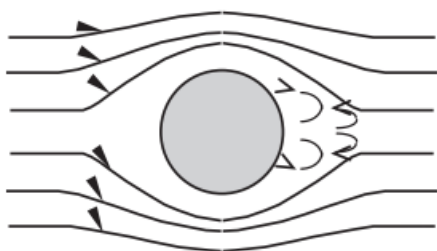
Расм – 2.16. Ушлаб турувчи қисқич



Расм - 2.17. Тортиб турувчи мурватли қисқич

2.5. Ҳаво узатиш линиялари симларининг тебраниш ва силкиниш ходисалари

Ҳаво линияси симларининг тебраниши – бу вертикал текисликдаги симларнинг шамол таъсирида даврий тебранишлари бўлиб, оралик бўйлаб кичик амплитуда ва жуда юқори частотали, одатда 10-50 Гц частотали тўлқинларни ҳосил қилади. Ўтказгичларнинг тебранишининг салбий таъсири ўтказгич materialiда "чарчоқлик" нинг тўпланиши ва натижада уларни кейинчалик йўқ қилишдир. Вибрацияли шикастланиш одатда симни улаш жойларида кузатилади ва ўзини симларнинг характерли синиши сифатида намоён қилади. Ўтказгич толаларининг узилиш сони ошгани сайин симдаги



Расм – 2.18. Симнинг ҳаво билан ўраб олиниши

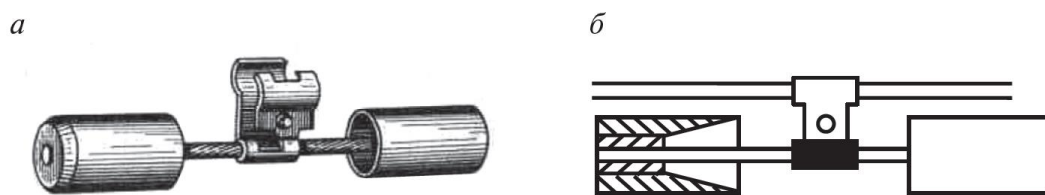
кучланиш ортиб боради ва сим узилиши мумкин. Бундан ташқари, тебраниш изоляторларнинг йўқ қилинишига, арматура синишига ва таянчларнинг шикастланишига ҳисса қўшади. Вибрациянинг физик сабаблари

2.18-расмда кўрсатилгандек даврий ҳаво гирдобларидан иборат. Симнинг ўқиға перпендикуляр йўналтирилган доимий шамол тезлигида, агар гирдобларнинг частотаси "сим –

шоға изоляторларнинг – таянч" механик тизимининг табиий частоталаридан бириға тўғри келса, у ҳолда резонанс ҳаво линиясининг оралиғида содир бўлади, тик турган тебраниш тўлқинлари ҳосил бўлади. Ҳаво узатиш линияларини ишлатиш тажрибаси шуни кўрсатадики, ишлатилган деярли барча ҳаво симлари, уларнинг materiali ва конструкциясидан қатъи назар, тебранишға сезгир. Симларнинг баландлигини ошириш тебраниш

эхтимolini ва унинг давомийлигини оширади. Ҳаво линиялари учун тебранишдан ҳимоя қилиш мосламалари актив ва пассивга бўлинади. Актив воситалар (тебраниш амортизаторлари — амортизаторлар ва тебранишга қарши симлар) тебранишни йўқ қилади ёки камайтиради, пассив воситалар симнинг бириктирувчи нуқталаридаги бурмаларни камайтиришга ёрдам беради (симнинг қаттиқлигини оширадиган қурилмалар).

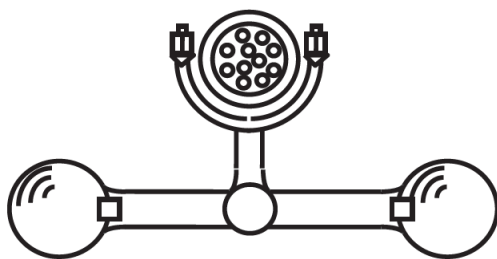
2.19-расмда мамлакатимизда энг кенг тарқалган тебраниш амортизаторларининг кўриниши ва дизайни кўрсатилган. Ўтказгичнинг тебраниш энергияси юкламаларнинг ҳаракати ва бу юкламалар ўрнатилган горизонтал пўлат сими ушлагич симларининг ишқаланиши билан сўрилади.



Расм – 2.19. Ташқи кўриниши (а) ва сим тебранишини ўчиргичининг конструкцияси (б)

Вибрацияни сусайтириш учун расмда кўрсатилган бурама амортизаторлардан фойдаланиш мумкин. Расм – 2.20, симни буриш орқали тебранишни ўзлаштиради ва симга бириктирилган вертикал ўқ устига эркин ўрнатилган бир нечта қуйма темир дисклардан иборат зарба амортизаторлари. Тебраниш содир бўлганда, дисклар сакраб чиқади ва резонанс ҳодисасини йўқ қилади. Бундан ташқари, тебраниш амортизаторлари мажбурий тебранишлар частотасининг резонансини ва ораликда чўзилган симнинг тебранишларининг табиий частотасини олдини олади.

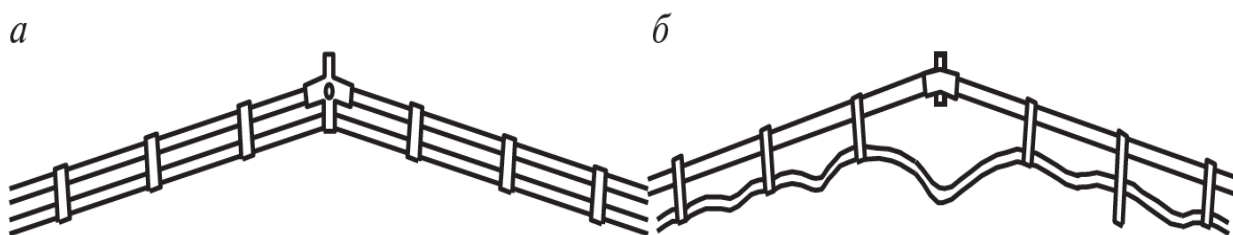
Арматура панжаралари ҳаво линияларини тебранишдан ҳимоя қилишнинг пассив воситалари орасида энг кенг тарқалган. Улар осма нуқталарда симни ўраб олишади ва сим материалидан ясалган узунлиги 1,5 дан 3м гача бўлган учларига торайган таёқчалар тўпламидир (тахминан 10 дона).



Расм – 2.20. Бурама тебраниш ўчиргичи

Мустаҳкамловчи пўлат плиталар хорижда ҳам қўлланилади. Улардан бири тахминан 2 м узунликда ва унинг бириктириладиган жойида сим остига қўйилади, иккинчиси тахминан 1 м узунликда ва юқоридан симга ўрнатилади. Плиталар ва мустаҳкамловчи панжараларнинг учлари симга қисқичлар билан бириктирилган.

Чет элда Бейта қурилмаси ишлатилади, бу линия сими билан бир хил маркадаги 6-10 м узунликдаги сим бўлиб, уни осилиб туриш жойининг иккала томонидаги сим остига ҳар 1-1,5 м мурватли қисқичлар билан ўрнатилади, расм 2.21, *а*. Худди шу мақсадда конструкцияси бўйича Бейта мосламаларига ўхшаш, лекин узунлиги (8-15 м) бўйлаб турли узунликдаги икки ёки учта ҳалқа ҳосил қилувчи фестонлар ишлатилади (расм. 2.21, *б*).



Расм – 2.21. Симларнинг тебранишидан ҳимоя қилиш:

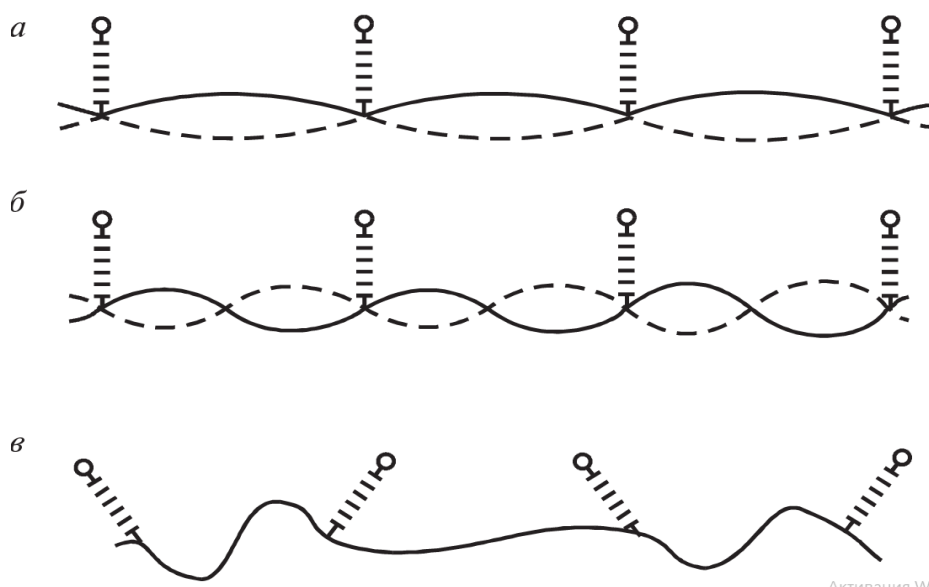
а – Бейта қурилмаси; *б* – фестонлар

500 кВ ва ундан юқори ҳаво линияларида ишлатиладиган парчаланган фазали симлар орасидаги бўшлиқлар фазани камида учта симга бўлишда симларнинг тебранишини сезиларли даражада сусайтиради ва тебраниш амортизаторларидан фойдаланишни йўқ қилишга имкон беради. Фазани иккита симга бўлишда тебранишни сусайтириш учун битта симларга ўхшаш чоралар қўлланилади.

Ўтказгичлар рақси – бу ҳаво линиясининг йўналишига кўндаланг йўналишда 3-30 м/с тезликда эсаётган кучли шамоллар натижасида ҳосил бўлган симларнинг тебраниши. Сим рақси муз билан қопланган симларда кўпроқ учрайди. Симни шамол силкитганда, ҳаво оқимининг тезлиги шамолнинг шамолига қараб юқорига ёки аксинча йўналтирилган вертикал ташкил этувчисига эга бўлиши мумкин. Бу вақтда шамол чайқаган сим ҳаракат тезлигининг вертикал ташкил этувчисига эга бўлиши мумкин, бу икки ташкил этувчи бир-бирига тўғри келганда, вертикал тебранишларни яратиш учун ҳаракат қилувчи белги томонидан куч ҳосил бўлади.

Ўтказгичларни рақси энг кенг тарқалгани, агар

- * Ўтказгич тебранишининг ярим тўлқинининг узунлиги оралик узунлигига тенг. Ўтказгич барча ораликларда бир вақтнинг ўзида кўтарилади ва тушади. Ушбу турдаги тебраниш линияяги энг катта кучларни яратади, расм 2.22 *а*;
- * Тўлқин узунлиги оралик узунлигига тенг. Қўшни ораликдаги тебранишлар фазага тўғри келади. Осма изоляторли шодалар стационар бўлиб қолади, расм 2.22, *б*;
- *Тўлқин узунлиги оралик узунлигига тенг, лекин қўшни ораликдаги тебранишларнинг амплитудалари ва фазалари мос келмайди. Изоляторларнинг шодалари тебранади, 2.22-расм.



Расм – 2.22. Ўтказгичларни рақс турлари: *а* – сим тебранишларининг ярим тўлқинининг узунлиги оралик узунлигига тенг; *б* - ораликдаги тебранишларнинг бир хил амплитудалари ва фазалари; *в* -ораликдаги тебранишларнинг турли амплитудалари ва фазалари

Бўлинган ўтказгичлар билан ҳаво линияларининг ўтказгичлари рақси тўлқин узунлиги қўшни тиргаклар орасидаги масофага бир неча карра кўп бўлиши мумкин. Ўтказгичлар одатда вертикал текисликда тебранса ҳам, баъзида эллипсоидал тебранишлар ҳолатлари мавжуд. Шу билан бирга, катта еллипс диаметри осилма ўқининг 60-90% га, кичиги эса катта диаметрнинг 10-30% га етиши мумкин. Ўтказгичли рақснинг эллипсоидал табиати одатда улар музланганда кузатилади. Рақс пайтида ўтказгич тебранишларининг катта амплитудалари симларда, кучланиш арматураларида ва линия таянчларида катта кучларни келтириб чиқаради ва шодаларнинг синишига, кулфларнинг тушишига, таянчларнинг заифлашишига ва синишига олиб

келиши мумкин. Вертикал рақс билан симлар эриши билан бирга тўқнашиши мумкин. Ҳар қандай кесимдаги ва ҳар қандай материаллардан ясалган симлар ва кабеллар рақсга тушади. Одатда, ўтказгичлар рақси куз-қиш даврида содир бўлади ва барча босқичларда бир вақтнинг ўзида кузатилмайди, фақат уларнинг бир қисмида. Ўтказгич рақсига қарши курашиш учун улар орасидаги масофани ошириш ва фазаларнинг горизонтал жойлашишини қўллашдан ташқари ҳеч қандай кескин чоралар ҳали яратилмаган. Симларда муз ва совуқнинг пайдо бўлиши жуда юқори намлик ва нолдан бир оз паст ҳароратларда, туман ёки ўта совуқ ёмғир билан кузатилади. Шамол муз ҳосил бўлишини тезлаштиради. Шунингдек, симларга муз, совуқ ва ҳўл қорнинг ёпишиши комбинациясини ҳосил қилиш мумкин. Муз қатламининг (деворининг) қалинлиги ўтказгичнинг диаметридан ўнлаб марта ошиб кетадиган қийматларга еришади. Муз билан курашишнинг энг самарали воситаси-бу электр токи билан музнинг ериши, фойдаланиш пайтида: қисқа туташув, фазали коммутация, юкламани қайта тақсимлаш, қўшимча ўстама токлари билан иситиш.

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Ҳаво электр узатиш линиясининг асосий таркибий элементлари қайсилар?
2. Оралиқ таянч ва анкерли таянчнинг асосий фарқи нимада?
3. Юқори кучланишли (35 кВ ва ундан юқори) ҳаво линияларида ўтказгичлар қайси материалдан тайёрланади ва энг кенг тарқалгани қайсиси?
4. Тож разряди (корона) пайдо бўлишининг олдини олиш учун ўтказгич диаметрини қандай оширилади?
5. 500 кВ номинал кучланишли ҳаво линиясида тож разряди бўйича рухсат этилган минимал ўтказгич кесими ва маркаси қандай (2.1-жадвал)?
6. Ўз-ўзини кўтарувчи изоляцияланган ўтказгичлар (ЎЎҚИЎ / СИП) қайси кучланиш синфларида асосан қўлланади ва уларнинг асосий афзаллиги нима?
7. Ҳаво линиялари таянчлари қайси материаллардан ясалади ва қайси кучланишда қайси материал афзал кўрилади?
8. 35 кВ ва ундан юқори кучланишли линияларда қайси турдаги изоляторлар ишлатилади?
9. Симларнинг тебраниши (вибрация) ва рақси (данс)нинг асосий фарқи нима?
10. Ҳаво линияларида сим тебранишидан ҳимоя қилишнинг энг кенг тарқалган фаол воситаси қайси?

3. КАБЕЛ ЛИНИЯЛАРИ

3.1. Кабел линияларининг конструкция элементлари

Электр энергетикасида кабел линиялари 0,4 кВ дан 500 кВ гача бўлган кучланиш синфларида қўлланилади. Кабел линиялари хавфсизлик шароитлари, меъморий ва режалаштириш кўрсаткичлари ёки бошқа шартлар туфайли ҳаво линияларини қуриш амалий бўлмаган жойларда ётқизилади, масалан, катта сув бўшлиқлари орқали электр энергиясини узатиш зарур бўлса. Кабел линиялари электр станциялари ва подстансиялар, саноат корхоналари, шаҳарлар ва электрлаштирилган транспортнинг ўз эҳтиёжлари учун электр таъминоти тизимларида энг кўп қўлланилади [7, 8].

Кабел линияларининг ҳаво линияларига нисбатан афзалликлари уларнинг атмосфера таъсиридан мустақиллиги ва аҳоли зич жойлашган жойларда ва саноат корхоналари ҳудудида кабел линияларини ётқизиш имконияти, шунингдек рухсатсиз шахслар учун маршрутларнинг махфийлиги ва қириш имконияти, ихчамликдир.

Кабел линияларининг камчиликлари уларнинг ҳаво линияларига нисбатан анча юқори нархи, қурилиш ва эксплуатациянинг мураккаблиги.

Кабел линияси – бу қурилиш иншоотларида жойлашган ва уланиш, қулфлаш ва тугатиш муфтлари ва маҳкамлагичлари бўлган бир ёки бир нечта parallel кабеллардан иборат электр узатиш линияси.

Қувват кабеллари заводда ишлаб чиқарилади ва қуйидаги элементлардан иборат: ток ўтказувчилар толаси, изоляция, ғилофлар ва химоя қопламалари. Бундан ташқари, кабел конструкциясида экранлар, нол толаси, химоя ерлатиш толалари ва бўшлиқни тўлдирувчи моддалари мавжуд бўлиши мумкин.

Ток ўтказувчи толалар ток ўтказиш учун мўлжалланган. Куч кабеллари бирдан тўрттагача мис ёки алюминий толали бўлиши мумкин, уларнинг кесим юзаси 1,5–2000 мм² ни ташкил қилади. 16 мм² гача бўлган кесимга эга толалар бир симли, катта кесимларда эса кўп симли қилиб ишланади. Толалар шакли бўйича думалоқ ёки фасонли (секторли, сегментли) бўлиши мумкин. 1 кВ гача бўлган кучланишли кабеллар одатда тўрт толали, 6–35 кВ кучланишда уч толали, 110–500 кВ кучланишда эса бир толали қилиб ишланади. Тўрт толали кабеллар барча толалар бир хил кесимга эга бўлиши ёки улардан бири (нол ёки ерга уланувчи тола) кичикроқ кесимга эга бўлиши мумкин.

Изоляция толалар ўртасида ва ерга уланган қобиқ (ер) га нисбатан зарур электр мустаҳкамлигини таъминлаш учун хизмат қилади. Толага бевосита қўйилган изоляция тола изоляцияси деб аталади. Барча толалар

устига қўйилган изоляция эса камар изоляцияси деб аталади. Куч кабеллари учун қоғозли пропитланган ёки пластик изоляция қўлланилади. Қоғозли изоляция кабел қоғози ленталаридан бир неча қатламларда ясаиб, махсус моддалар (канифол, полиэтилен мум, нефть мойи ва церезин) билан шимдирилади. Пластик изоляцияга эга кабеллар поливинилхлорид пластикат ёки композит полиэтилендан ясалган тўлиқ қатламли изоляцияга эга. Белбоғ изоляцияси эса прессланган пластикат шланги, бир неча қатламли плёнка ёки қоғоз ва плёнка комбинацияси шаклида бўлиши мумкин.

Экранлар кабелда оқиб ўтаётган тоklarнинг электромагнит майдонларидан ташқи электр таъминоти тизими занжирларини ҳимоя қилади. Юқори кучланишли куч кабелларида электр майдонини тенглаштириш учун ток ўтказувчи экранлар қўлланилади. Экран сифатида ацетилен қораси мавжуд бўлган ток ўтказувчи кабел қоғози ёки яримўтказгич металлацияланган қоғоз, устига алюминий фольга қўйилади. Пластик изоляцияга эга кабелларда экранлар толалар ва белбоғ изоляцияси устида ток ўтказувчи полиэтилендан ясалади.

Тўлдиргичлар кабелнинг конструктив элементлари ўртасидаги бўшлиқларни исроф, герметикликни таъминлаш, кабелга зарур шакл ва механик мустаҳкамлик бериш учун мўлжалланган.

Қобиклар изоляцияга намлик киришининг олдини олиш, ёруғлик, кимёвий моддалар ва механик таъсирлардан ҳимоя қилиш учун хизмат қилади. Ҳимоя қобиклари алюминий, қўрғошин, резина ва полихлорвинилдан ясалади. Алюминий қобиклар юқори механик хусусиятлари (мустаҳкамлик, титрашларга чидамлилик ва бошқалар) туфайли брон қилишни талаб қилмайди. Алюминийнинг юқори электр ўтказувчанлиги экранларсиз ишлатиш ва қобикни нол тола сифатида фойдаланиш имконини беради. Қўрғошин қобиклари алюминий қобикларга нисбатан камроқ мустаҳкам бўлиб, тупроқ ва электрохимик коррозияга дучор бўлади, титрашлар ва чўзиш кучлари таъсирида уларда ёриқлар пайдо бўлиши мумкин. Қўрғошиннинг суррилиши туфайли эгри ва вертикал трассаларда қобикларнинг қайтарилмас чўзилиш жараёнлари юзага келиши мумкин. Полиэтилен ва поливинилхлорид қобиклари алюминий ва қўрғошинга нисбатан агрессив муҳитларга чидамлироқдир.

Ҳимоя қопламалари кабел қобикларини ташқи таъсирлардан ҳимоя қилиш учун ишлатилади ва ёстик, брон қоплами ва ташқи қопламадан иборат бўлиши мумкин. Конструкцияга қараб, улардан бири ёки иккиси бўлмаслиги мумкин. Ёстик қобик устига қўйилади ва уни брон ленталари ёки симларидан механик шикастланишлардан ҳимоя қилади. Брон қоплами кабелни ташқи механик таъсирлардан ҳимоя қилади ва металл ленталар ёки симлардан

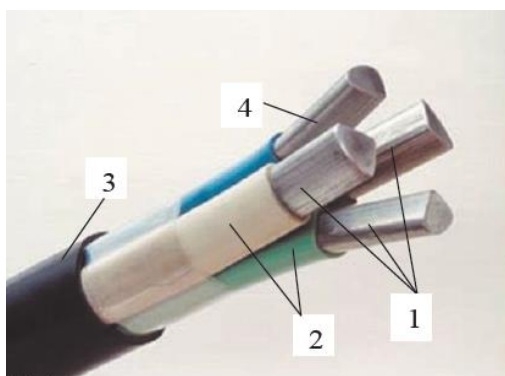
иборат. Ташқи қоплама бронни коррозиядан ҳимоя қилиш учун мўлжалланган бўлиб, пластик шланг ёки махсус чиришга қарши моддалар билан пропитланган тола материаллари шаклида ясалади.

Қуйида баъзи кабеллар конструкциялари келтирилган.

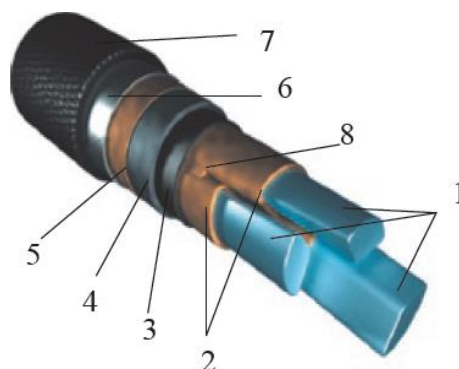
3.1-расмда 380 В кучланишли тўрт толали кабел кўрсатилган ва унинг конструкция элементлари белгиланган: 1 – ток ўтказувчи фазали толалар; 2 – фазали изоляция; 3 – ҳимоя қобиғи; 4 – нол тола.

3.2-расмда 10 кВ кучланишли қоғозли изоляцияга эга уч толали кабел тасвирланган ва унинг элементлари кўрсатилган: 1 – ток ўтказувчи толалар; 2 – фазали изоляция; 3 – умумий камар изоляцияси; 4 – ҳимоя қобиғи; 5 – ёстик; 6 – пўлат зирх; 7 – ҳимоя қопламаси; 8 – тўлдиргич.

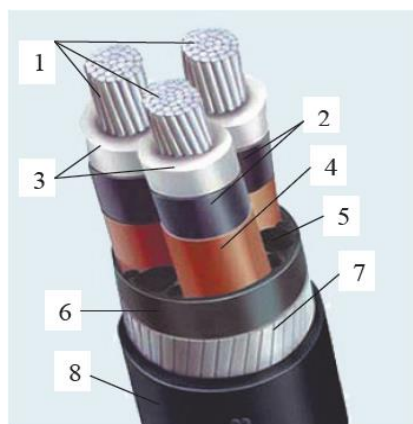
35 кВ кучланишли уч толали кабел 3.3 – расмда кўрсатилган. Кабел таркибига қуйидагилар киради: 1 – думалоқ ток ўтказувчи толалар; 2 – полупроводник экранлар; 3 – фазали изоляция; 4 – кўрғошин қобиғи; 5 – ёстик; 6 – кабел ипи тўлдиргичи; 7 – пўлат зирх; 8 – ҳимоя қопламаси.



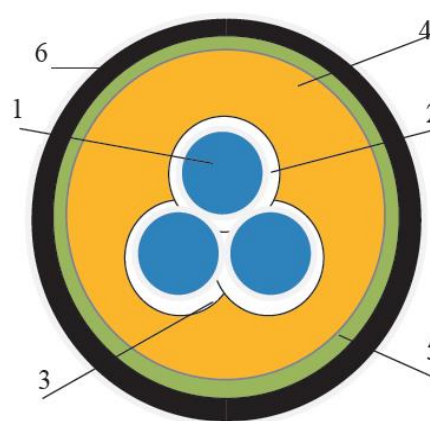
Расм - 3.1. 380 В кучланишли тўрт толали кабел.



Расм - 3.2. 10 кВ кучланишли уч толали кабел.



Расм - 3.3. 35 кВ кучланишли уч толали кабел.



Расм - 3.4. 110–220 кВ кучланишли мой билан тўлдирилган кабел.

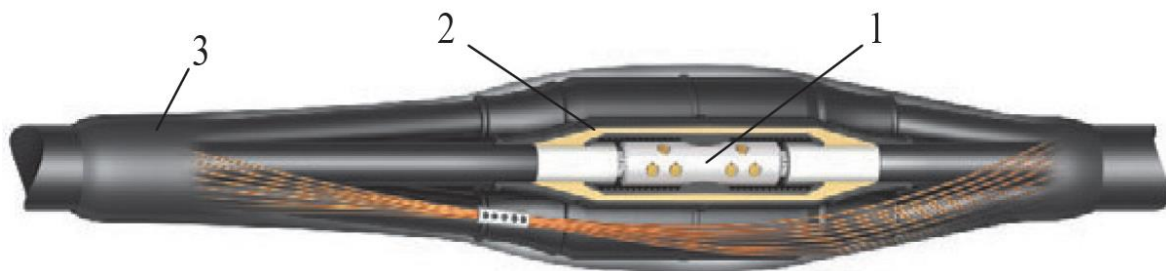
Мой билан тўлдирилган кабел ва уларнинг уланиши тавсифи

Расм – 3.4 да 110–220 кВ кучланишли мой билан тўлдирилган кабел кўрсатилган. Учта бир фазали кабел пўлат қувурга – 5 жойлаштирилган, у химоя қоплами – 6 билан қопланган ва ортиқча босим остида мой билан тўлдирилган – 4. Мис ток ўтказувчи толалар – 1 думалоқ симлардан ясалган бўлиб, қоғозли изоляция билан қопланган ва ёпишқоқ шимдиргич билан ишлов берилган. Изоляция устига экран — 3 қўйилган, у бронза симлардан ясалган мис перфорацияланган лента шаклидадир.

Ҳозирги вақтда 110–500 кВ кучланишли, сшитый полиэтилен изоляциясига эга кабеллар кенг тарқалмоқда.

Кабеллар кучланиш ва кесимга қараб чекланган узунликдаги парчалар ҳолида ишлаб чиқарилади. Ётқизишда бу парчалар бир-бирига уланувчи муфталар ёрдамида уланади, бу муфталар уланиш жойларини герметиклаштиради. Бунда кабел толаларининг ушлари изоляциядан озод қилинади ва уланувчи қисқичларга ўрнатилади.

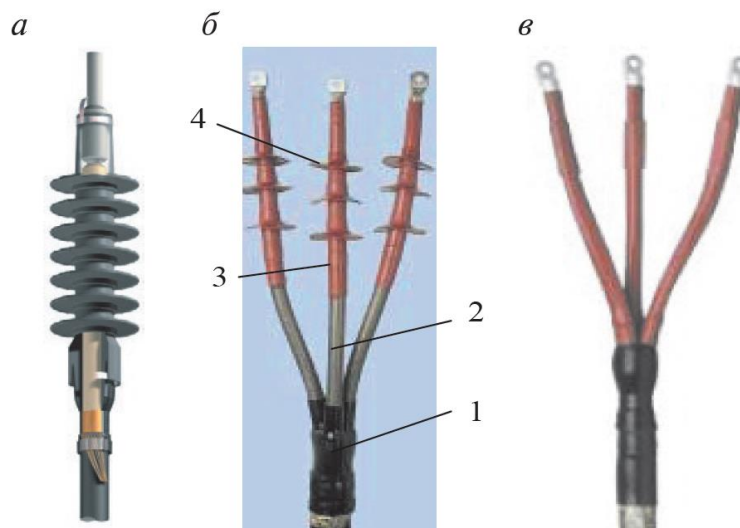
0,38–10 кВ кучланишли кабелларни ерга ётқизишда коррозия ва механик шикастланишлардан химоя қилиш учун уланиш жойлари чўян қобиқларга жойлаштирилади. 35 кВ кучланишли кабеллар учун пўлат ёки шиша пластик қобиқлар ишлатилади. Пластик изоляцияга эга кабелларнинг уланиши, расм 3.5 да кўрсатилганидек, ҳар бир тола учун алоҳида уланувчи муфталар ёрдамида амалга оширилади.



Расм – 3.5. Уланувчи муфта: 1 — болтли уланувчи; 2 — фазали изоляция трубка; 3 — химоя қобиғи.

Кабелларнинг охирида тугатувчи муфталар қўлланилади. Расм – 3.6, а да ташқи ўрнатиш учун мастика билан тўлдирилган, фарфор изоляторларига эга муфта келтирилган. Пластик изоляцияга эга уч толали кабеллар учун расм – 3.6, б да кўрсатилган муфта ишлатилади. У қуйидагилардан иборат: термоушлаб қолувчи қўлқоп – 1; уч толали кабелнинг охирида учта бир толали кабел яратиш учун яримўтказгичли

термоушлаб қолувчи трубкалар – 2. Толаларга изоляцияли термоушлаб қолувчи трубкалар – 3 кийдирилади ва термоушлаб қолувчи – 4 ўрнатилади.



Расм - 3.6. 10 кВ кучланишли кабеллар учун тугатувчи муфталар.

10 кВ ва ундан паст кучланишли, пластик изоляцияга эга кабеллар учун ички хоналарда қуруқ бўлиниш (разделка) қўлланилади (Расм 3.6, в).

3.2. Кабел линияларини ётқизиш (прокладка) усуллари

Шаҳарлар ва саноат корхоналаридаги эркин ҳудуднинг чекланганлиги ва қурилишнинг зичлиги кабел линияларини махсус иншоотларда ётқизишни белгилайди. Кабелларни ётқизиш усули линия трассаси шартларига қараб аниқланади. Кабел линияси трассаси кабел сарфини минималлаштириш ва уни механик шикастланишлар, коррозия ва зилзилалардан ҳимоя қилишни таъминлашни ҳисобга олиб танланади.

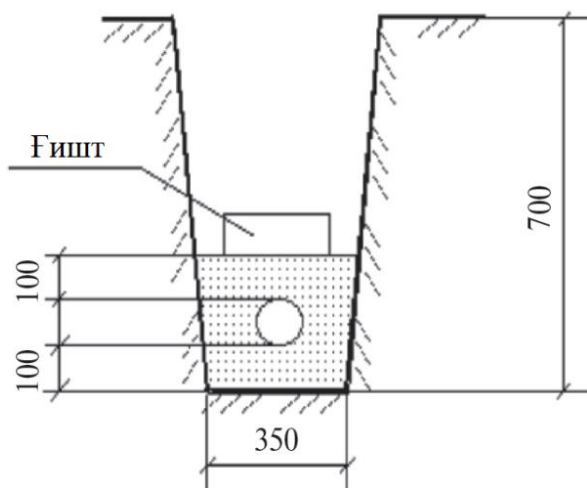
Кабел линияларини ётқизиш кабел траншеялари, туннеллар, каналлар, короблар, лотоклар, шахталар, кабел эстакадалари ва галереяларида, шунингдек биноларнинг ўрта қаватларида амалга оширилади [7,8].

Кабел траншеяси — ерда қазилган очик сунъий иншоот (Расм 3.7), унда кабеллар ётқизилади. Кабеллар ётқизилиб ва синовдан ўтказилгандан сўнг траншея ер билан тўлдирилади. Кабелларни механик шикастланишлар, агрессив тупроқлар ва дайди тоқлар таъсиридан ҳимоя қилиш учун улар пўлат, чўян, асбоцемент, керамика ёки пластик қувурларда ётқизилиши мумкин.

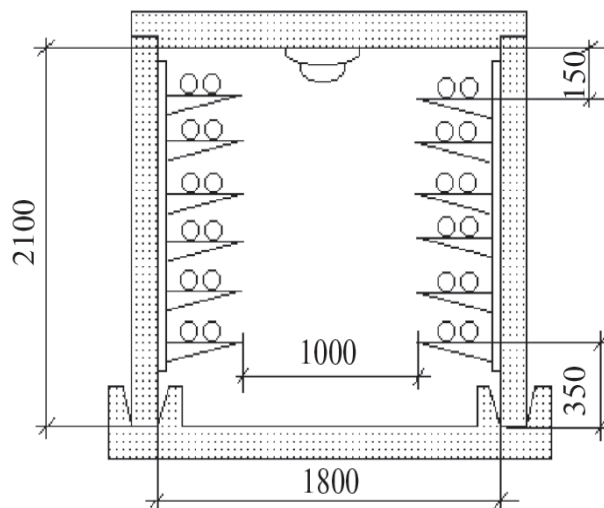
Кабел иншооти — кабеллар, кабел муфталар ва кабелларнинг нормал ишлашини таъминловчи бошқа жиҳозларни жойлаштириш учун махсус

мўлжалланган иншоот. Кабел иншоотларига кабел туннеллари, каналлар, эстакадалар, короблар, блоклар, шахталар, галереялар ва бошқалар киради.

Кабел туннели, расм 3.8 да кўрсатилганидек, кабеллар ва кабел муфталарни жойлаштириш учун таянч конструкциялари мавжуд бўлган ёпиқ иншоот (коридор) бўлиб, у тўлиқ узунлиги бўйлаб эркин ўтиш имконини беради ва прокладка, таъмирлаш ва хизмат кўрсатиш ишларини амалга оширишга имкон беради. Шаҳар электр тармоқларининг кабел линиялари кабел туннеллари ва коллекторларда ётқизилади.



Расм - 3.7. Траншеяда кабелларни ётқизиш



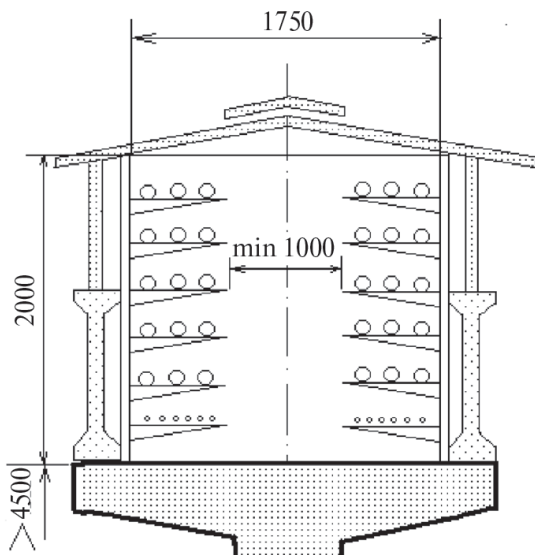
Расм - 3.8. Икки томонлама хизмат кўрсатиладиган ўтувчи кабел туннели.

Кабел эстакадаси — ер устида кабеллар ётқизиш учун мўлжалланган горизонтал ёки эгри иншоот (расм 3.9). Кабел эстакадаси ўтувчи ёки ўтувсиз бўлиши мумкин.

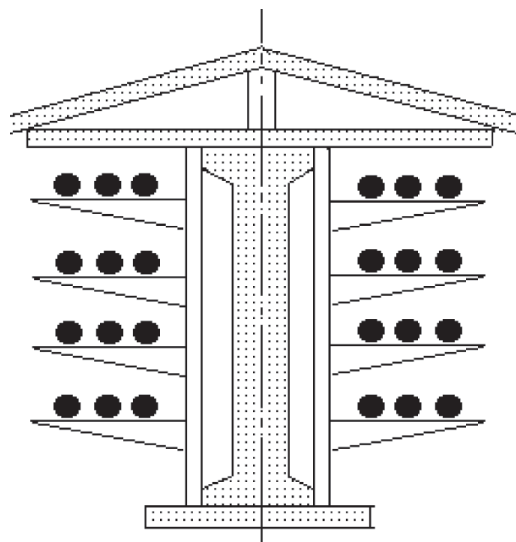
Кабел канали — кабелларни жойлаштириш учун мўлжалланган, қисман ёки тўлиқ кўмилган, ўтувсиз ёпиқ иншоот. Кабелларни каналларда ётқизиш, таъмирлаш ва хизмат кўрсатиш фақат ўрта қаватлари олинганида амалга оширилади. Каналларда ётқизиш одатда саноат корхоналарида қўлланилади. Каналлар унификацияланган темирбетон лотоклардан, ўрта қаватлари билан темирбетон плиталардан, монолит темирбетондан ёки ғиштан ясалади.

Кабел короби — ёнмайдиган материаллардан (металл, асбоцемент ва бошқалар) ясалган ёпиқ конструкция бўлиб, унда кабеллар ётқизилади. Короблар тўлиқ ёпиқ ёки очиладиган қопқоқли, тўлиқ ёки перфорацияланган деворлар ва қопқоқлар билан бўлиши мумкин. Короблар ички хоналарда ва ташқи ўрнатишларда ишлатилади.

Кабел блоқи — кабеллар ётқизиш учун қувурлар (каналлар) ва уларга тегишли қудуқлар билан кабел иншооти. Кабелларни блоklarда ётқизиш темир ва автомобиль йўллари билан кесишуви жойларида, трассада зичлик бўлганда ёки йўналишсиз тоқлардан ҳимоя қилиш зарур бўлганда қўлланилади.



Расм - 3.9. Икки томонлама хизмат кўрсатиладиган ўтувчи кабел эстакадаси.



Расм - 3.10. Кабел галереяси.

Кабел шахтаси — бинода вертикал ётқизилган кабелларни ушлаб туриш учун металл конструкциялар ўрнатиладиган, деворларида қўювчи деталлар мавжуд махсус вертикал иншоот.

Кабел галереяси — ер устида ёки ерда, тўлиқ ёки қисман ёпиқ (масалан, ён деворларисиз, расм 3.10 да кўрсатилганидек) горизонтал ёки эгри ўтувчи кабел иншооти бўлиб, у тўлиқ узунлиги бўйлаб эркин ўтиш имконини беради ва кабел линияларини ётқизиш, таъмирлаш ва хизмат кўрсатишга имкон беради.

Кабел линияларини ётқизишда хизмат кўрсатувчи персоналнинг хавфсизлигини таъминлаш ва изоляция тешилишида (пробой) қобикларнинг эриб кетишининг олдини олиш учун кабелларнинг металл қобиклари ва зирх, муфталарнинг металл корпуслари ва кабеллар жойлашган конструкциялар ерга уланади.

Кабел линиялари монтаж ишлари технологияси ва ПУЭ талабларига риоя қилинганда узоқ муддатли ва ишончли ишлайди.

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Кабел линиялари қайси кучланиш синфларида қўлланади ва асосан қаерларда ҳаво линиялари ўрнига ишлатилади?
2. Кабел линияларининг ҳаво линияларига нисбатан асосий афзалликлари нималар?
3. Қувват кабелининг асосий конструктив элементлари қайсилар?
4. 10 кВ кучланишли кабеллар одатда неча толали бўлади ва қайси изоляция тури кўпроқ ишлатилади?
5. 110–500 кВ юқори кучланишли кабелларда нега кўтказувчи толалар сони бир та бўлади?
6. Мой билан тўлдирилган кабеллар қайси кучланишда ишлатилади ва уларнинг асосий конструктив хусусияти нима?
7. Кабел қобиғи (ғилофи) қайси материаллардан тайёрланади ва алюминий қобиғининг асосий афзаллиги нима?
8. Кабел линияларининг уланиш жойлари қандай аталади ва уларнинг асосий вазифаси нима?
9. Кабел линияларини ётқизишнинг энг кенг тарқалган усуллари қайсилар?
10. Кабел линияларида нега металл қобиклар, зирхлар ва муфталарнинг корпуслари мажбурий равишда ерга уланади?

4. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАЛАРИ ВА ПАРАМЕТРЛАРИ

Уч фазали ўзгарувчан ток электр тармоқларининг мустақил режимларини ҳисоблашнинг мақсади – режим параметрларини аниқлашдир, улар қуйидагилардан иборат: тармоқ тугунларидаги фазалар ўртасидаги кучланишлар векторлари (U); фазали тоқлар векторлари, тармоқ участкаларидаги уч фазали қувват оқимлари ва қувват исрофлари. Мустақил режимларни таҳлил қилиш учун тармоқ элементларида юз берадиган жараёнларни ва уларнинг режим параметрларига таъсирини ҳисобга олиш зарур. Элементда мустақил режимларда юз берадиган жараёнларни ҳисобга олиш электр тармоқ элементларининг алмаштириш схемалари асосида амалга оширилади. Электр тармоқ элементининг алмаштириш схемаси деганда, мустақил режимларни ҳисоблаш ва таҳлил қилишда элементни етарли даражада аниқ моделлаштирадиган қаршилик ва ўтказувчанлик тўплами тушунилади [3, 5].

Уч фазали ўзгарувчан ток электр тармоқларининг мустақил режимларини ҳисоблашда кўпинча аксиома сифатида таҳлил қилинаётган тармоқ фазалар бўйича симметрик деб ҳисобланади ёки тармоқ фазалари параметрларининг носимметриклигини камайтиришга қаратилган баъзи чора-тадбирлар амалга оширилгандан сўнг шундай бўлиб қолади.

50 Гц частотали уч фазали ўзгарувчан ток электр тармоқларининг фазалар бўйича симметрик элементининг алмаштириш схемаси деганда, мустақил режимларни ҳисоблаш ва таҳлил қилишда элементни етарли даражада аниқ моделлаштирадиган фазали қаршилик ва ўтказувчанлик тўплами тушунилади.

4.1. Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемаси параметрлари

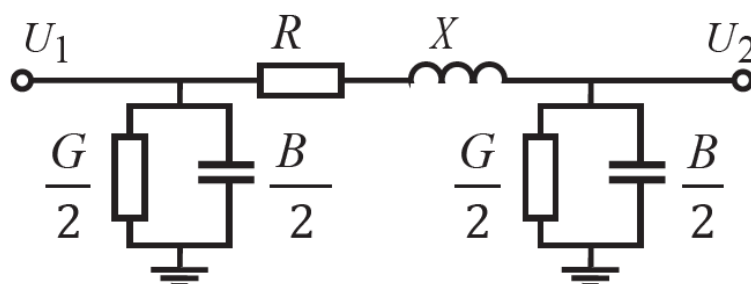
Электр қуввати ва энергиясини манбалардан истеъмолчиларга узатиш ҳаво (ХЭУЛ) ва кабел (КЭУЛ) электр узатиш линиялари орқали амалга оширилади.

Электр узатиш линияси – бу параметрлари линиянинг бутун узунлиги бўйлаб тенг тарқалган узун объектдир. Бу ҳолатни ҳисобга олиш учун линиянинг алмаштириш схемаси тўрт полюсли тўплам сифатида тасвирланиши керак, бу эса узун линиядаги тўлқин жараёнларини ҳисобга олиш имконини беради, лекин тармоқнинг мустақил режимини таҳлил қилиш жараёнини сезиларли даражада мураккаблаштиради.

Агар электромагнит тўлқиннинг узунлиги λ электромагнит тўлқинларининг тарқалиш тезлиги $V = 300000$ км/сек ни ўзгарувчан ток частотаси $f = 50$ Гц га бўлиш орқали аниқланадиган бўлса, унда $\lambda = 300000/50 = 6000$ км. Электр узатиш линиясининг узунлиги электромагнит тўлқини узунлиги билан таққосланса, тўлқин жараёнларини ҳисобга олиш зарурдир.

Реал электр узатиш линияларининг кўпчилиги анча қисқа узунликка эга бўлганлиги сабабли, одатда электр тармоқларининг мустақил режимларини ҳисоблашда тўлқин жараёнлари ва линия параметрларининг тарқалганлиги ҳисобга олинмайди. Бу тахмин ҳаво линиялари учун 200–250 км дан ва кабел линиялари учун 50–70 км дан ошмайдиган узунликда ҳисоблашларга сезиларли хатоликлар киритмайди. Агар тармоқни ҳисоблашда узунроқ электр узатиш линиясини ҳисобга олиш зарур бўлса, уни икки ёки ундан кўп последовательно уланган, сосредоточенный параметрларга эга алмаштириш схемалари сифатида тасвирлаш мумкин.

Электр узатиш линияларининг мустақил режимларини ҳисоблаш ва таҳлил қилиш учун энг қулай алмаштириш схемаси Расм 4.1 да кўрсатилган П-шаклли алмаштириш схемасидир. Бу схема ХЭУЛ ва КЭУЛ ни тасвирлаш учун бир хил даражада мос келади.



Расм - 4.1. Электр узатиш линиясининг П-шаклли алмаштириш схемаси

Ҳаво электр узатиш линияси фазасининг актив қаршилиги (R) бир линияли алмаштириш схемасига электр токи оқиши натижасида ўтказгичларнинг қизиш жараёнини ҳисобга олиш учун киритилади ва уни соддалаштирилган тарзда ўтказгичнинг кристалл решёткасининг йўналтирилган зарядлар ҳаракатига қаршилиги деб талқин қилиш мумкин. Ҳаво электр узатиш линияларининг учала фазасининг актив қаршиликлари бир хил бўлиб, уларнинг линия устунидаги жойлашувига боғлиқ эмас.

Ўтказгичнинг ўзгарувчан токка актив қаршилигини аниқлашда юзавий эффектни ҳисобга олиш зарур. Ўзгарувчан токнинг частотаси қанчалик

юқори бўлса, ток ўтказгич юзасига шунчалик кучлироқ сурғун қилинади, бу эса унинг актив қаршилигининг ошишига олиб келади.

Кичкина кесимга эга, рангли металлдан (мис, алюминий) ясалган ўтказгичлар учун саноат частотаси 50 Гц да токнинг юзага сурғун қилиниши эффекти сезиларли эмас (1% дан кўп эмас), шу сабабли ўтказгичнинг актив қаршилиги унинг омик (доимий токка қаршилик) қаршилигига тенг деб қабул қилинади. Катта кесимли ўтказгичларда (240 мм² дан юқори) саноат частотаси 50 Гц да юзавий эффект сезиларли бўлиб, электр узатиш линияларининг актив қаршиликларини ҳисоблашда ҳисобга олиниши керак.

Энергетика тизимларининг ҳаво электр узатиш линиялари учун асосий бўлган пўлат-алюминий ўтказгичларда юзавий эффект ва пўлат билан алюминийнинг ўзига хос қаршилик фарқи сабабли токнинг асосий қисми алюминий ўтказгичлар орқали оқади. Шу сабабли, бу ерда ва кейинги ўринларда пўлат-алюминий ўтказгичнинг кесими деб унинг алюминий қобиғининг кесими тушунилади. Пўлат-алюминий ўтказгичларда ток алюминийдан ясалган алоҳида ўтказгичлар орқали оқади, улар пўлат ўзаги атрофига ўралган бўлиб, шу сабабли ўтказгичнинг узунлигидан 3–4 % узунроқ бўлади, бу эса ўтказгичнинг ўзига хос қаршилигини алюминийнинг ўзига хос қаршилигига нисбатан оширади: $\rho_{Al} = 31,5, \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$.

Ўтказгичнинг актив қаршилиги ўтказгич материали, унинг узунлиги ва кесимига боғлиқ бўлиб, қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$R = \rho \frac{l}{F}, \quad (4.1)$$

бу ерда: ρ – ўтказгичнинг ўзига хос қаршилиги, Ом · мм²/км; l – линия узунлиги, км; F — кесим юзаси, мм².

Маълумотнома материалларида [9] стандарт кесимлар учун электр узатиш линияларининг ўзига хос (погонли) фазали қаршилик параметрлари — (R_0 , Ом/км келтирилган.

Унда линия фазасининг эквивалент қаршилиги (R), Ом билан аниқланади.

$$R = \frac{R_0 l}{n}, \quad (4.2)$$

бу ерда l — линия узунлиги, км; n – параллел электр узатиш линиялари сони.

Одатда маълумотнома адабиётларида линияларнинг ўзига хос қаршилик параметрлари атроф-муҳит температураси 20 °С учун келтирилган. Атроф-муҳит температураси ўзгарганда ўтказгичнинг масофасидаги

узушлиги ва шунга мувофиқ линиянинг актив қаршилиги ўзгаради. R_0 нинг температура t , Ом га нисбатан боғлиқлик тури қуйидагича:

$$R_{0,t} = R_{0,20^\circ} [1 + 0,004(t - 20^\circ)] \quad (4.3)$$

ХЭУЛнинг R_0 қаршилигининг температурага боғлиқлиги фақат линия экстремал шартларда ишлагандагина ҳисобга олинади.

50 Гц частотали ўзгарувчан ток тармоғидаги ҳаво электр узатиш линияларининг ўзига хос фазали актив қаршилиги R_0 қиймати линияларнинг номинал кучланиш синфи ошиши билан сезиларли даражада камаяди, бу эса қўлланиладиган кесимларнинг ошиши билан боғлиқ. Пўлат-алюминий ўтказгичларга эга ҳаво электр узатиш линияларининг ўзига хос фазали актив қаршилиқ қийматлари диапазони кўрсаткичлари.

Номинал кучланиш, кВ	Солиштирма актив қаршилиелар, Ом/км
≤ 10	2,060–0,460
35	0,650–0,198
110	0,428–0,120
220	0, 121–0,075
330	0,060–0,030
500	0,034–0,020
750	0,024–0,015
1150	0,012–0,011

Ҳаво электр узатиш линияси фазасининг индуктив қаршилиги x ўтказгич атрофида ва ичида ўзгарувчан ток оқиши натижасида юзага келадиган магнит майдони билан шартланган. Ўтказгичда ўз индукция ЭЮКЛАМАи юзага келади, бу ЭЮКЛАМА манба ЭЮКЛАМАига қарши йўналтирилган. Ўз индукция ЭЮКЛАМАининг манба ЭЮКЛАМАига қаршилиқ кўрсатиши индуктив қаршилиқнинг сабаби бўлиб, у ток частотаси ва линия фазаларининг ерга нисбатан индуктивлиги ҳамда фазалар ўртасидаги ўзаро индукция қанчалик юқори бўлса, шунчалик катта бўлади.

Линия фазаларининг ерга нисбатан индуктивлиги ва фазалар ўртасидаги ўзаро индукция электр узатиш линиясининг конструкциясига боғлиқ: фазаларнинг устундаги ўзаро жойлашуви, фазалар ўртасидаги масофа ва ўтказгич диаметри.

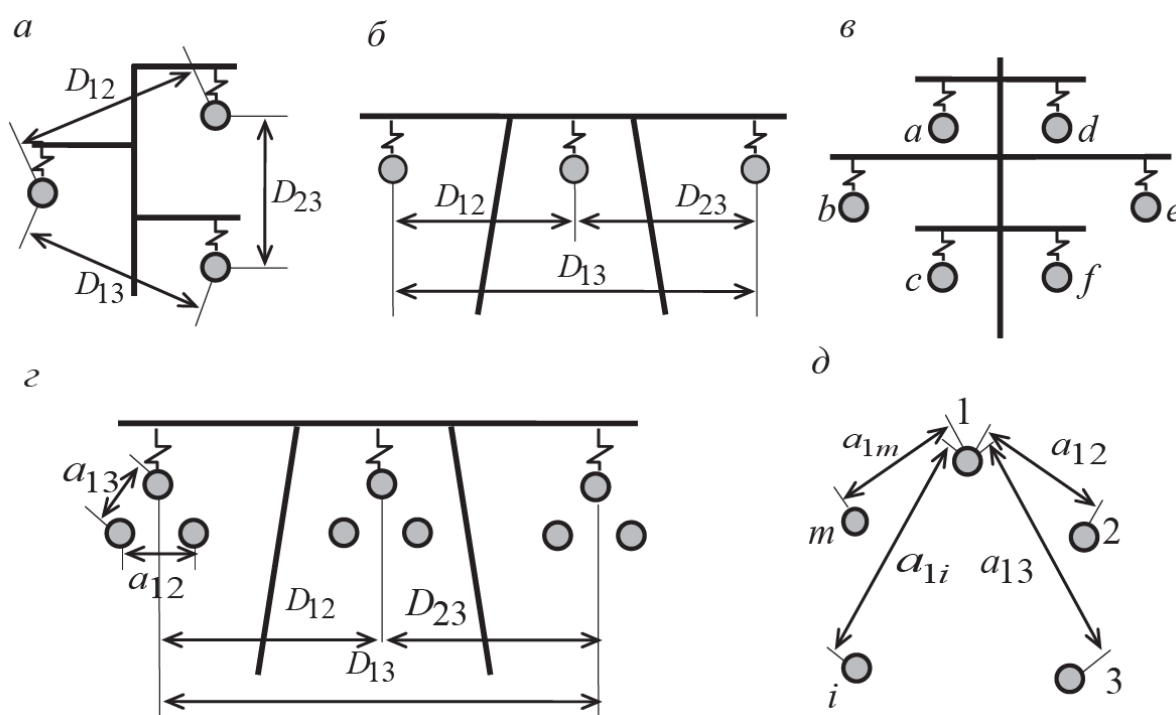
ХЭУЛ ўтказгичларининг устунлардаги жойлашуви, ушбу қўлланманинг 2-бобида кўрсатилганидек, турлича бўлиши мумкин, ва шунга кўра

фазаларнинг параметрлари фарқ қилади. Агар фазалар параметрларининг тенгсизлигини бартараф қилиш учун чоралар кўрилмаса, уч фазали тизим носимметрик бўлиб қолади. Фазаларнинг индуктив қаршилик қийматлари ва бошқа параметрлардаги фарқни бартараф қилиш учун линия трассаси бўйлаб фазали ўтказгичларнинг ўзаро алмашинуви — ўтказгичлар транспозицияси амалга оширилади, унинг принципи расм – 4.2 да кўрсатилган.



Расм - 4.2. ХЭУЛ ўтказгичларининг транспозицияси

4.3 расмда, устунда ўтказгичларнинг жойлашуви ва фазалар ўртасидаги масофалари келтирилган.



Расм – 4.3. Ҳаво электр узатиш линияларининг устунлардаги жойлашуви:
а – учбурчак шаклида; б – горизонтал; в – икки занжирли линия; г – фазалари бўлинган линия; д - (m) та ўтказгичга бўлиниш.

Бир занжирли транспозиция қилинган линия фазасининг реактив (индуктив) қаршилиги, рангли металл (мис, алюминий, пўлат-алюминий) ўтказгичлардан иборат бўлган ҳолда, саноат частотали токи учун

фазаларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда, қуйидаги нисбатлар бўйича, Ом/км да ҳисобланади:

$$X_0 = 0,1445lg \frac{D_{\text{ўрт}}}{r_3} + \frac{0,60157}{m}, \quad (4,4)$$

бу ерда: $D_{\text{ўрт}}$ – фазалар ўртасидаги ўрта геометрик масофа, м; r_3 – фаза эквивалент радиуси, м; m – фазадаги ўтказгичлар сони.

Фазалар ўртасидаги ўрта геометрик масофа қуйидагича аниқланади

$$D_{\text{ўрт}} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}}, \quad (4,5)$$

бу ерда: D_{12} , D_{13} , D_{23} — тегишли фазалар ўртасидаги масофалар.

Ҳар бир фазада фақат битта ўтказгич бўлган линиялар учун фаза эквивалент радиуси ўтказгич радиусига тенг, яъни $r_3 = r$.

Агар линия фазасида m та ўтказгич бўлса, фаза эквивалент радиуси r_3 қуйидаги нисбат бўйича аниқланади, м,

$$r_3 = \sqrt[m]{r \prod_{i=2}^m a_{1i}} \quad (4.6)$$

бу ерда a_{1i} - фазадаги 1-чи ва i -нчи ўтказгичлар ўртасидаги масофа, м (см. рис. 4.3, ε , δ -га қаранг); Π - кўпайтириш белгиси.

Фазаларнинг горизонтал жойлашувида кўшни фазалар ўртасидаги минимал масофалар турли номинал кучланиш синфларига эга ХЭУЛ учун жадвал 4.1 да кўрсатилган.

Жадвал 4.1

ХЭУЛ даги кўшни фазалар ўртасидаги минимал масофалар

Номинал кучланиш, кВ	Фазалар аро масофалар, м	Номинал кучланиш, кВ	Фазалар аро масофалар, м	Номинал кучланиш, кВ	Фазалар аро масофалар, м
1 гача	0,5	110	4,0	330	9,0
6-10	1,0	154	5,5	500	12,0
35	3,0	220	7,0	750	15,0

Икки занжирли ХЭУЛ лар учун, яъни иккита уч фазали ўтказгичлар тизими (икки занжир) умумий устунларга осилган бўлса, расм 4.3, ε да

кўрсатилганидек, линия фазасининг индуктив қаршилиги занжирлар ўртасидаги ўзаро индукцияни ҳисобга олган ҳолда, Ом/км да аниқланади:

$$X_{0\Sigma} = X_{0(L)} + X_{0(M)} \quad (4.7)$$

$$X_{0(M)} = 0,1447lg \sqrt{\frac{d_{ae}d_{bf}d_{cd}}{d_{ad}d_{be}d_{cf}}} \quad (4.8)$$

$X_{0(L)}$ (4.4) нисбат бўйича ҳисобланади.

n -та параллел линияларнинг эквивалент фазали реактив қаршилиги, Ом:

$$X = \frac{X_0 l}{n} \quad (4.9)$$

Ҳаво электр узатиш линияларининг ўзига хос индуктив қаршилиқ параметрлари номинал кучланиш синфлари, линияларнинг габаритлари, ўтказгичлар кесими ва ўтказгичларнинг бўлиниш даражаси ўзгарганда сезиларли даражада ўзгармайди. Шу сабабли, маълумотнома адабиётларида [9] одатда устунлар тури ва фазаларнинг устундаги жойлашуви кўрсатилмасдан, ўзига хос индуктив қаршилиқнинг ўртача қийматлари келтирилади. Пўлат-алюминий ўтказгичларга эга ҳаво электр узатиш линияларининг фазали ўзига хос индуктив қаршилиқ параметрлари X_0 диапазонлари қуйида кўрсатилган.

Номинал кучланиш, кВ	Солиштирма индуктив қаршилиқ, Ом/км
≤ 10	1,038–0,422
35	0,435–0,406
110	0,444–0,405
220	0,435–0,413
330	0,331–0,320
500	0,310–0,304
750	0,308–0,304
1150	0,270–0,193

Ҳаво электр узатиш линияларининг ўзига хос индуктив қаршилиқ параметрлари ўзига хос актив қаршилиқ параметрларига нисбатан биров, сезиларли даражада камроқ бўлиб, номинал кучланиш синфи ошиши билан пасаяди.

Актив ўтказувчанлик алмаштириш схемасига тож юзага келишидаги актив қувват исрофларини, шунингдек ВЛЭП изоляторлари орқали оқиш токлари сабабли юзага келадиган исрофларни ҳисобга олиш учун киритилади.

110 кВ ва ундан юқори кучланишли ҳаво линияларида ҳавонинг электр мустаҳкамлиги пасайганда (юқори намлик, қиров) ўтказгичлар атрофидаги электр майдонининг кучланиши критик қийматдан ($E > E_{кр}$) ошиши мумкин. Бундай ҳолда ўтказгич атрофида тлеющий электр разряди (тож) юзага келади, унинг давомийлигини таъминлаш учун электр энергияси сарфланади. Маълумки, бошқа шартлар тенг бўлганда, электр майдонининг кучлилиги унинг норавшанлиги қанчалик катта бўлса, шунчалик юқори бўлади. Тожнинг пайдо бўлишини камайтириш ёки унинг олдини олиш электр майдони кучланишини ўтказгичлар юзасини (радиусни) ошириш орқали камайтириш билан амалга оширилади.

110–220 кВ ҲЭУЛда электр майдони кучланишини камайтириш ёки бартараф қилиш учун ўтказгичнинг минимал рўйхатга олинган кесими чекланади (110 кВ — 70 мм², 150 кВ — 120 мм², 220 кВ — 240 мм²).

220 кВ дан юқори номинал кучланишларда юқоридаги усул техник ва иқтисодий жиҳатдан мақбул эмас, шу сабабли ўтказгичнинг эквивалент радиусини фазаларни бўлиш орқали ошириш қўлланилади. Ҳаво линияларида фазалар иккита ($U_{ном} = 330$ кВ), учта ($U_{ном} = 500$ кВ) ёки ундан кўп ($U_{ном} \geq 500$ кВ) ўтказгичга бўлинади.

Ҳаво электр узатиш линияларининг алмаштириш схемалари параметрларини таҳлил қилишда ҲЭУЛ изоляторлари орқали оқиш токлари сабабли юзага келадиган актив қувват исрофларини ҳисобга олиш керак.

Маълумотнома адабиётларида [9] ҲЭУЛ нинг 1 км узунлигига нисбатан уч фазали тождаги актив қувват исрофлари ва ҳаво электр узатиш линиялари изоляторлари орқали оқиш токларидан келиб чиқадиган ўзига хос исрофлар турли об-ҳаво шароитлари учун келтирилган. Агар линия ишлайдиган об-ҳаво шароитлари тўғрисида маълумот бўлмаса, ушбу қийматларнинг ўртача қийматлари қўлланилади. Бунда коронодаги ўзига хос актив қувват исрофларининг максимал қийматлари фақат донали қиров ва музлаш хавфи юқори бўлган ҳудудларда ҳисобга олинади.

Турли об-ҳаво шароитлари (m) учун солиштирма уч фазали актив қувват исрофларининг ўртача қийматлари: тожда ($\Delta P_{тож.0}$), ҳаво линиялари изоляторлари орқали оқиш токларидан келиб чиқадиган исрофлар ($\Delta P_{из.оқиш.0}$), МВт/км:

$$\Delta P_{\text{тож.0}} = \sum_i^m \frac{\Delta P_{i\text{тож.0}}}{m} \quad (4.10)$$

$$\Delta P_{\text{изю оқиш.0}} = \sum_i^m \frac{\Delta P_{i\text{из.оқиш.0}}}{m} \quad (4.10)$$

бу ерда $\Delta P_{\text{из.оқиш.0}}$ ва $\Delta P_{\text{тож.0}}$ – мос равишда об-ҳаво шароитлари $i = 1, 2, m$ - даги ҳаво электр узатиш линияларидаги тождаги ўзига хос уч фазали актив қувват исрофлари ва изоляторлар орқали оқиш токлари сабабли юзага келадиган исрофлар.

(4.10) ва (4.11) параметрлари бўйича ҳаво электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасида солиштирма фазали актив ўтказувчанлик, см/км да аниқланади:

$$G_0 = \frac{\Delta P_{\text{тож.0}} + \Delta P_{\text{из.оқиш.0}}}{U_{\text{ном}}^2} \quad (4.12)$$

n -та параллел линияларнинг узунлиги l бўлган эквивалент фазали актив ўтказувчанлиги қуйидаги формула бўйича аниқланади, См,

$$G = G_0 l n \quad (4.13)$$

Ҳаво линияларидаги масофавий актив қувват исрофлари, яъни тождаги ва изоляторлар орқали оқиш токлари сабабли юзага келадиган исрофлар об-ҳаво шароитлари ва кучланишга сезиларли даражада боғлиқ. Шу сабабли, актив масофавий ўтказувчанлик ўзгарувчан ва нохаттий параметр ҳисобланади.

Турли кучланиш синфларига эга ҳаво электр узатиш линияларидаги тождаги ва изоляторлар орқали оқиш токлари сабабли актив қувват исрофларининг диапазонлари жадвал 4.2 да келтирилган.

Жадвал 4.2

Ҳаво электр узатиш линияларидаги тождаги ва изоляторлар орқали оқиш токлари сабабли уч фазали актив қувват исрофларининг диапазонлари.

Номинал кучланиш, кВ	Тождаги солиштирма исрофлар, кВт/км	Оқиш токлари сабабли солиштирма исрофлар, кВт/км
110	0,027-0,70	0,055-0,85
150	0,09-2,74	0,06-0,98
220	0,35-8,7	0,07-1,06
330	1,0-16,8	0,1-1,60
500	1,6-46,7	0,16-2,4
750	3,9-77	0,24-3,6

Ҳаво электр узатиш линияларидаги тождаги ва изоляторлар орқали оқиш токлари сабабли солиштира актив қувват исрофлари номинал кучланиш синфи ошиши билан сезиларли даражада камроқ ўсади.

Линиянинг сиғимли ўтказувчанлиги линиянинг электростатик майдони (фазалар ўртасида ва ерга нисбатан) сабабли юзага келадиган сурғун токлари билан аниқланади. Бу ўтказувчанлик зарядловчи, яъни сиғимли токни юзага келтиради, унинг вектори линия кучланиши векторидан 90° га олдинда бўлади.

Ўзига хос фазали сиғимли ўтказувчанлик қиймати, См/км,

$$B_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{\text{ўрт.}}}{r_3}} \cdot 10^{-6} \quad (4.14)$$

бу ерда $D_{\text{ўрт.}}$ фазалар орасидаги геометрик ўртача масофа, м; r_3 фазанинг эквивалент радиуси. l узунликдаги паралел чизиқларнинг эквивалент фазали сиғимли ўтказувчанлиги, қуйидаги формуласи бўйича аниқланади, См,

$$B = B_0 l n \quad (4.15)$$

Электр узатиш линияларининг ўзига хос сиғимли ўтказувчанлиги номинал кучланиш синфининг ошиши билан ортади. Малумот адабиётида солиштира сиғимли ўтказувчанликнинг ўртача қийматлари одатда таянчларнинг турини ва таянчдаги фазаларнинг жойлашишини кўрсатмасдан берилади [9]. Алюминий-пўлат симлар билан ҳаво электр узатиш линияларининг фазага солиштира сиғимли ўтказувчанлиги диапазонлари:

Номинал кучланиш, кВ	Солиштира сиғимли ўтказувчанлиги, 10^{-6} См/км
110	2,55-2,81
220	2,60-2,74
330	3,38-3,50
500	3,60-3,64
750	3,76-4,13
1150	4,408-5,95

Сиғимли линия ўтказувчанлигининг мавжудлиги $Q_{\text{ген.}}$ реактив қувватини ишлаб чиқариш учун сабабдир. Уч фазали реактив қувватни

ишлаб чиқариш катталиги квадрат равишда электр узатиш линиясининг кучланиш синфига боғлиқ ва ифодаси билан ҳисобланади, Мвар,

$$Q_{\text{ген.}} = U^2 \cdot B \quad (4.16)$$

Кабел линияларининг алмашиш схемаларининг хусусиятлари. Электр узатиш кабел линияларининг узунасига R , X ва кўндаланг G , B параметрлари ҳаво линиялари параметрлари каби (4.2), (4.9) ва (4.13), (4.15) нисбатлари асосида, махсус актив R_0 ва реактив X_0 каршиликлари ҳамда махсус актив G_0 ва сиғимли B_0 ўтказувчанликлари асосида ҳисобланади.

X_0 ва B_0 ни ҳисоблаш учун (4.4) ва (4.14) ифодалар таҳлили шуни кўрсатадики, фазалар яқинлашганда X_0 камаяди, B_0 эса ошади. Кабел линияларида фазалар орасидаги масофа ҳаво линияларига нисбатан анча кичик бўлиб, шунга кўра X_0 сезиларли даражада кичик, B_0 эса ҳаво линияларига нисбатан анча катта бўлади.

Кабел линияларида махсус сиғимли ўтказувчанлик B_0 нинг ошиши туфайли сиғимли ток ва реактив қувват ишлаб чиқариш бир хил номинал кучланиш синфига эга ҳаво линияларига нисбатан анча юқори бўлади.

Кабел линияларининг актив ўтказувчанлиги кабел изоляциясидаги актив қувват исрофлари билан боғлиқ бўлиб, бу кабелнинг тури ва конструкциясига боғлиқ. Кабел изоляциясидаги махсус қувват исрофлари ΔP ҳисоблари [9] да келтирилган.

Кабел линиясининг махсус фазали актив ўтказувчанлиги G_0 , См,

$$G_0 = \frac{\Delta P_{\text{из.0}}}{U_{\text{ном}}^2} \quad (4.17)$$

ΔP – кабел изоляциясида 1 км узунликка нисбатан солиштирма актив қувват исрофлари, МВт/км.

Эквивалент фазали актив ўтказувчанлик n та параллел линияларнинг узунлиги ℓ билан қуйидаги формула орқали аниқланади, См,

$$G = C_0 \cdot l \cdot n$$

Кабел линияларининг солиштирма параметрлари, маълумот адабиётда [9] келтирилган, анча тахминийдир ва юқори аниқликдаги КЭУЛни ҳисобга олиш учун завод маълумотларидан фойдаланиш керак. Электр узатиш линияларининг соддалаштирилган алмаштириш схемалари. Устувор режимларни ҳисоблашда баъзида электр узатиш линияларининг

соддалаштирилган алмаштириш схемаларидан фойдаланиш қулайдир. Бундай алмаштириш схемаларини ҳисоблаш формулаларини таҳлил қилиш ва электр узатиш линияларининг тармоқлар ва элементлар параметрларининг кучланиш синфига боғлиқлигини баҳолаш орқали олиш мумкин. Авваламбор шуни таъкидлаш керакки, ҳаво ва кабел линияларининг алмаштириш схемаларида актив ўтказувчанлик шартли доимий исрофлар асосида ҳисобланади, бу исрофларни юкламалар сифатида тасаввур қилиш мумкин. Кўп ҳолларда суммар уч фазали тож исрофлари ва изоляторлар орқали оқиш токи туфайли юзага келадиган исрофларни ҳаво линиясининг алмаштириш схемасида қўшимча юкламалар $\Delta P_{и\Sigma}$, МВт сифатида бевосита ҳисобга олиш мақсадга мувофиқдир.

Бунда суммар уч фазали тож исрофлари ва изоляторлар орқали оқиш токи туфайли юзага келадиган исрофларни қуйидаги нисбат орқали топиш мумкин

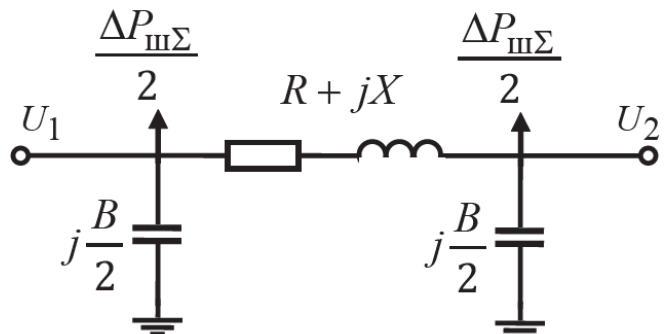
$$\Delta P_{и\Sigma} = (\Delta P_{тож.} + \Delta P_{оқиш.}) \cdot l \cdot n \quad (4.18)$$

Худди шундай тарзда кабел линиялари изоляциясидаги исрофларни $\Delta P_{и\Sigma}$, МВт сифатида топиш мумкин,

$$\Delta P_{и\Sigma} = (\Delta P_{и3.0} \cdot l \cdot n \quad (4.19)$$

ушбу ҳолда, ҳаво ва кабел электр узатиш линияларининг доимий исрофларга эга актив шунтлар билан алмаштириш схемалари бир хил кўринишга эга бўлиб, 4.4-расмда келтирилган кўринишда бўлади. Ушбу линиялар алмаштириш схемаси ҳеч қандай тахминларни ўз ичига олмайди ва электр тармоқларининг устувор режимларини юқори аниқлик билан ҳисоблашда қўлланиши мумкин.

Юқорида кўрсатилганидек, линиялар алмаштириш схемаларининг параметрлари номинал кучланиш синфларига турлича боғлиқ бўлади, шунинг учун қуйида электр узатиш линиялари алмаштириш схемаларидан алоҳида элементларни чиқариб ташлаш имкониятлари кўриб чиқилади. Ушбу вазифани ҳал қилиш учун



Расм – 4.4. Актив шунтларда доимий йўқотишларга эга алмаштириш схемаси

ҳаво ва кабел линиялари алмаштириш схемаларидан ҳар бир параметр чиқариб ташланганда электр тармоқларининг устувор режимлари параметрларини баҳолашдаги хатоликни баҳолаш керак.

Авваламбор шуни таъкидлаш керакки, электр тармоғидаги энергия исрофларини ҳисоблашда исталган кучланиш синфига эга электр узатиш линияларининг актив қаршиликларини чиқариб ташлаш мумкин эмас.

Электр узатиш линияларининг актив ва индуктив қаршиликларини солиштириш шуни кўрсатадики, 35 кВ ва ундан паст кучланиш синфларида актив қаршиликларнинг қийматлари одатда индуктив қаршиликлардан юқори бўлади. Кучланиш синфи ошгани сари актив қаршиликларнинг роли пасаяди, реактив қаршиликларнинг роли эса ортади ва бу, ўз навбатида, электр тармоқларининг устувор режимлари параметрларини ҳисоблаш аниқлигига таъсир қилади. Шуни таъкидлаш керакки, электр тармоғидаги энергия исрофларини ҳисоблашда исталган кучланиш синфига эга электр узатиш линияларининг актив қаршиликларини чиқариб ташлаш мумкин эмас.

Ҳаво электр узатиш линияларининг алмаштириш схемаларида актив ўтказувчанликларни ҳисобга олиш заруратини аниқлаш учун линия орқали узатиладиган қувват миқдори ва тождаги актив қувват исрофлари ҳамда изоляторлар орқали оқиш токи туфайли исрофларнинг солиштириш таҳлили амалга оширилди, бу 4.3-жадвалда кўрсатилган.

4.3-жадвал

Ҳаво линияларидаги тож ва изоляторлар орқали оқиш токи туфайли уч фазали актив қувват исрофлари диапазони

Кучла ниш, кВ	Қувватни узатиш ($P_{\max}$), МВт	Линия узуниги, км	Тожли солишти рма исрофлар , кВт/км	Оқиш токи туфайли солиштира ма исрофлар, кВт/км	Тўлиқ доимий исрофлар , МВт	$\frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{\max}}$
≤10	0,4-5	0,2-6	-	0,001-0,25	0,0001-0,001	0,001-0,03
35	5-10	8-25	-	0,035-0,54	0,0001-0,01	0,003-0,23
110	15-50	25-80	0,03-0,70	0,055-0,85	0,001-0,01	0,003-0,83
150	30-80	30-200	0,09-2,74	0,06-0,98	0,004-0,74	0,015-0,24
220	90-150	100-400	0,35-8,7	0,07-0,106	0,04-3,90	0,03-2,60
330	300-450	130-700	1,0-16,8	0,1-1,60	0,14-12,88	0,03-4,29
500	700-1300	280-1200	1,6-46,7	0,16-2,4	0,49-58,92	0,04-8,42
750	1500-2000	300-2000	3,9-77	0,24-3,6	1,24-61,2	0,06-10,74

4.3-жадвалдан кўришиб турибдики, 220 кВдан паст кучланишли ҳаво линияларидаги корона ва изоляторлар орқали оқиш токи туфайли актив қувват исрофлари линиялар орқали узатиладиган қувватлар билан солиштирганда жуда камдир. Шунинг учун, агар электр энергияси исрофларини баҳолаш талаб қилинмаса, 220 кВдан паст кучланишли ҳаво линияларининг алмаштириш схемаларини тузишда устувор режимлар параметрларини ҳисоблаш учун ушбу исрофларни ҳисобга олиш шарт эмас. Кабел линияларининг алмаштириш схемаларида актив ўтказувчанликларни ҳисобга олиш, юқорида айтилганидек, кабеллар изоляциясидаги актив қувват исрофларига боғлиқ бўлиб, бу кабеллар конструкциясига боғлиқдир.

Одатда, кабеллар изоляциясидаги актив қувват исрофлари кабелларнинг номинал кучланишлари 110 кВ ва ундан юқори бўлганда ҳисобга олинади, шунинг учун 35 кВ ва ундан паст кучланишли кабел линияларининг алмаштириш схемалари одатда актив шунтларни ўз ичига олмайди. Ҳаво электр узатиш линияларининг алмаштириш схемаларида сиғимли ўтказувчанликни ҳисобга олиш заруратини аниқлаш учун линия орқали узатиладиган қувват миқдори ва ҳаво линиялари томонидан реактив қувват генерациясининг солиштириш таҳлили амалга оширилади, бу 4.4-жадвалда келтирилган.

Жадвал – 4.4

Ҳаво линиялари томонидан реактив қувват генерациясининг диапазони

Кучланиш, кВ	Симнинг кесим юзаси, мм ²	Линия бўйича қувватни узатиш, МВт	Линия узунлиги, км	Сиғимли ўтказувчанлик, 10 ⁻⁴ См	Реактив қувватнинг генерацияси, Мвар	$\frac{Q_{ген}}{P_{тах}}$, %
35	50-150	5-10	5-40	0,13-1,20	0,016-0,15	0,16-0,3
110	70-240	15-50	25-80	0,64-2,25	0,77-2,73	1,5-18,2
150	150-300	30-80	30-200	0,74-5,45	0,74-5,45	2,6-18,4
220	240-400	90-150	100-400	2,62-10,8	12,6-52,3	8,4-58,1
330	2x240- 2x400	300-450	130-700	4,40-24,2	52,8-290	17,6-99,7
500	3x300- 3x500	700-1300	280-1200	11,1-43,7	278-1090	21,4-156
750	5x300- 3x500	1500- 2000	300-2000	12,3-82,6	692-4646	34,6-10
1150	8x300- 8x500	4000- 6000	3000	132,9	16520	275-413

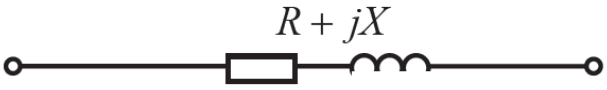
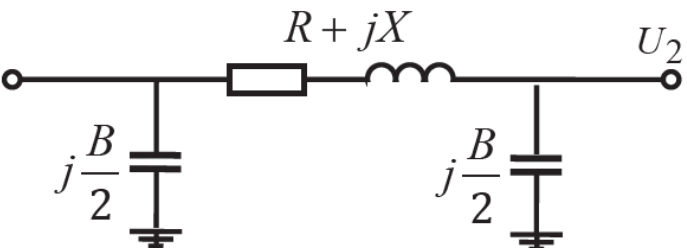
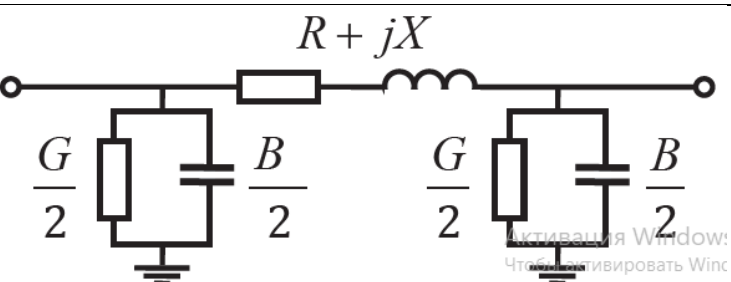
4.4-жадвалдан кўриниб турибдики, 110 кВ ва ундан юқори кучланишли ҳаво электр узатиш линиялари томонидан реактив қувват генерацияси линия орқали узатиладиган қувват билан солиштирилади ва шунинг учун электр тармоқларининг устувор режимларини ҳисоблашда ҳисобга олиниши керак. 110 кВдан паст кучланишли ҳаво линиялари томонидан реактив қувват генерацияси линия орқали узатиладиган қувват билан солиштирганда анча кичикдир, шунинг учун 35 кВ ва ундан паст кучланишли ҳаво линияларининг алмаштириш схемалари одатда сифимли шунтларни ўз ичига олмайди.

Кабел линияларининг солиштира реактив қувват генерацияси ҳаво линияларига нисбатан сезиларли даражада юқоридир, шунинг учун кабел линиялари томонидан реактив қувват генерацияси одатда 35 кВ ва ундан юқори кучланишли линияларда ҳисобга олинади.

Амалга оширилган таҳлил ҳаво ва кабел электр узатиш линияларининг соддалаштирилган алмаштириш схемаларини тузиш имконини беради, улар электр тармоқларининг устувор режимларини ҳисоблашда юқори аниқлик билан қўлланиши мумкин, бу схемалар 4.5-жадвалда кўрсатилган.

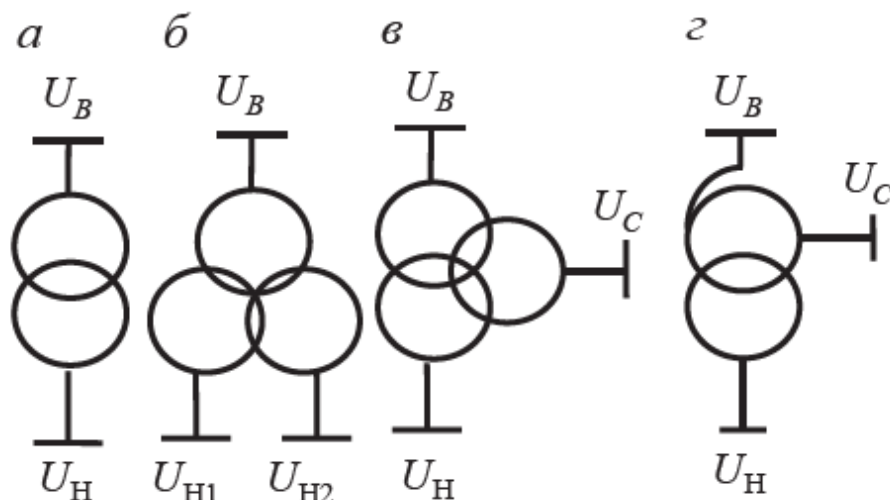
Жадвал – 4.5

Электр узатиш линияларининг соддалаштирилган алмаштириш схемалари

№ схема	U, кВ	Линия	Алмаштириш схемаси
1	>35 ≥35	КЭУЛ ХЭУЛ	
2	35 110	КЭУЛ ХЭУЛ	
3	≥110 >110	КЭУЛ ХЭУЛ	

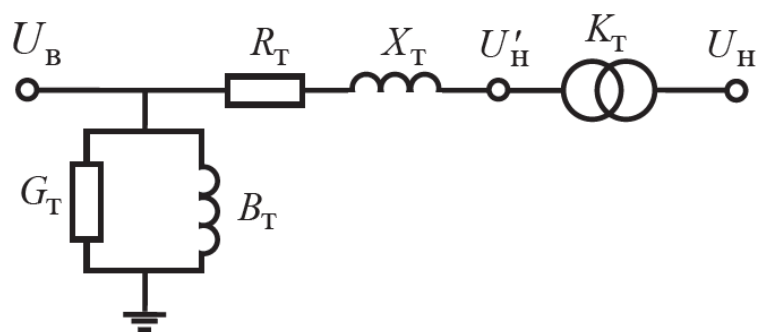
4.2. Трансформаторлар ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари параметрлари

Трансформаторларнинг турлари. Электроэнергетика тизимларининг подстанцияларида икки чўлғамли ва уч чўлғамли трансформаторлар ҳамда автотрансформаторлар қўлланилади (4.5-расм).



Расм - 4.5. Трансформаторлар турлари: *a* — икки чўлғамли; *б* — иккинчи чўлғами бўлинган икки чўлғамли; *в* — уч чўлғамли; *г* — автотрансформатор

Трансформаторлар уч фазали ёки бир фазали сифатида ишлаб чиқарилади. Подстанцияларда учта бир фазали трансформатор бир уч фазали гуруҳни ташкил қилади. Уч фазали электр тизимлари учун мўлжалланган бир фазали трансформаторлар, агар трансформаторларнинг қуввати катта бўлса (уч фазали номинал қувват камида 400 МВА), улар темир йўл орқали ташиш учун ноқулай юклама бўлиб қолса, қўлланилади. Куч трансформаторларининг маркировкаси [9] да келтирилган. Икки чўлғамли трансформаторнинг параметрлари ва алмаштириш схемаси. Икки чўлғамли трансформатор каталогида қуйидаги параметрлар кўрсатилади: S_H — трансформаторнинг номинал қуввати, кВА; $U_{\text{ю.к.}}$, $U_{\text{н.к.}}$ — чўлғамларнинг номинал кучланишлари, кВ; $u_{\text{к.т.}}$, % - қисқа туташув кучланиши юқори номинал кучланишининг фоизида; $\Delta P_{\text{к.т.}}$ — қисқа туташув исрофлари, кВт; $i_{\text{с.иш.}}$, % - салт ишлаш токи юқори кучланишли чўлғамнинг номинал токи фоизида; $\Delta P_{\text{с.иш.}}$ — салт ишлаш исрофлари, кВт. Электр тармоқларининг устувор режимларини ҳисоблаш ва таҳлил қилиш учун икки чўлғамли трансформаторнинг энг қулай алмаштириш схемаси 4.6-расмда кўрсатилган бир линияли Г-шаклли алмаштириш схемасидир.



Расм - 4.6. Икки чўлғамли трансформаторнинг Γ -шаклли алмаштириш схемаси

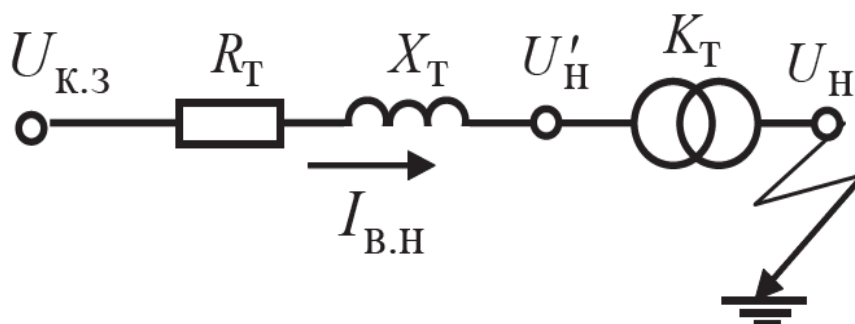
Икки чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемасида кўрсатилган U'_H кучланиши трансформаторнинг паст кучланишли томонидаги чиқиш кучланиши бўлиб, юқори кучланиш томонига келтирилган:

$$U'_H = U_H \cdot K_T \quad (4.20)$$

бу ерда K_T – трансформатор трансформациясининг номинал коэффиценти:

$$K_T = \frac{U_{\text{ю.к.}}}{U_{\text{н.к.}}} \quad (4.21)$$

Трансформаторнинг узунасига актив ва индуктив қаршиликлари мутаносиб равишда чўлғамлар мисининг юкламалар токи ўтганда қизиши ва тарқалиш майдони мавжудлиги билан боғлиқдир. Узунасига қаршиликлар қисқа туташув тажрибаси орқали бир фаза учун аниқланади (4.7-расм). Қисқа туташув тажрибаси ўтказилаётганда трансформаторнинг иккинчи чўлғамси қисқа туташувга уланади, биринчи чўлғамга эса номинал ток $I_{\text{ю.к.}}$ ўтиши учун кучланиш берилади.



Расм - 4.7. Икки чўлғамли трансформаторнинг қисқа туташув тажрибаси

Бунда трансформаторнинг уч фазасидаги актив қувват йўқотишлари $\Delta P_{\text{к.т.}}$ ва биринчи чўлғамга бериладиган фаза оралик кучланиш $u_{\text{к.т.}}$ ўлчанади. Уч фазали актив қувват йўқотишларини фаза токи I ва трансформатор фазасининг актив қаршилиги R_T орқали ифодалаш мумкин:

$$\Delta P_{\text{к.т.}} = 3 I_{\text{ю.к.}}^2 R_T$$

бу ердан

$$R_T = \frac{\Delta P_{\text{к.т.}}}{3 I_{\text{ю.к.}}^2}$$

Актив қаршилиқ R_T ни трансформаторнинг каталог параметрлари орқали, Ом да ифодалаш:

$$R_T = \frac{\Delta P_{\text{к.т.}} \cdot U_{\text{ю.к.}}^2}{S_H^2} \quad (4.22)$$

бу ерда $U_{\text{ю.к.}}$ — номинал юқори фаза оралик кучланиш; S_H — трансформаторнинг номинал уч фазали қуввати. Қисқа туташувнинг фаза оралик кучланиши $u_{\text{к.т.}}$, кВ, номинал ток $I_{\text{ю.к.}}$ ўтганда актив ва реактив қаршилиқлардаги кучланиш пасайишидан иборат (4.7-расмга қаранг):

$$u_{\text{к.т.}} = \Delta U_R + \Delta U_X = \sqrt{3} I_{\text{ю.к.}} R_T + \sqrt{3} I_{\text{ю.к.}} X_T$$

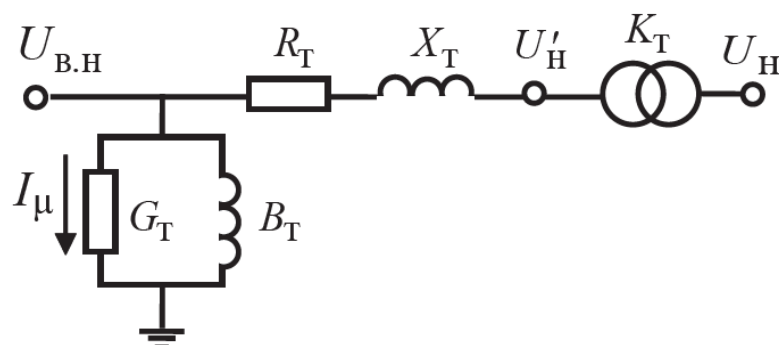
Замонавий йирик трансформаторларда ($S_H > 1$ МВА) актив қаршилиқ реактив қаршилиқдан сезиларли даражада кичик, $R_T \ll X_T$, шунинг учун $u_{\text{к.т.}} \approx \Delta U_X = \sqrt{3} I_{\text{ю.к.}} \cdot X_T$ деб ҳисоблаш мумкин. Унда трансформатор фазасининг реактив қаршилиги

$$X_T = \frac{u_{\text{к.т.}}}{\sqrt{3} I_{\text{ю.к.}}}$$

ёки каталог маълумотлари бўйича, Ом-да

$$X_T = \frac{u_{\text{к.т.}} \% U_{\text{ю.к.}}^2}{100 \cdot S_H} \quad (4.23)$$

Трансформаторнинг актив ва индуктив ўтказувчанлиги мутаносиб равишда пўлатнинг қизиши уярма токлари ҳисобига ва магнитланиш йўқотишлари билан боғлиқ бўлиб, булар салт ишлаш тажрибасидан аниқланади (4.8-расм).



Расм - 4.8. Икки чўлғамли трансформаторнинг салт ишлаш тажрибаси

Салт ишлаш тажрибаси ўтказилаётганда иккиламчи чўлғам очик бўлади, биринчи чўлғамга эса номинал кучланиш берилади, биринчи чўлғамдаги салт ишлаш токи $i_{с.иш.}$ ва актив қувват йўқотишлари $\Delta P_{с.иш.}$ ўлчанади. Уч фазали актив қувват йўқотишларини трансформатор фазасининг актив ўтказувчанлиги орқали ифодалаш мумкин.

Уч фазали актив қувват йўқотишларини трансформатор фазасининг актив ўтказувчанлиги орқали ифодалаш мумкин

$$\Delta P_{с.иш.} = 3I_{\mu}^2 \frac{1}{G_T} = U_{ю.к.}^2 G_T$$

бу ердан, См

$$G_T = \frac{\Delta P_{с.иш.}}{U_{ю.к.}^2} \quad (4.24)$$

Салт ишлаш токи G_T ва B_T ўтказувчанликларидаги токлардан иборат:

$$I_{с.иш.} = I_G + I_B$$

Замонавий трансформаторларда $B_T \gg G_T$ эканлигини ҳисобга олганда, $i_{с.иш.} \approx I_B$ деб тахмин қилиш мумкин, шунда

$$i_{с.иш.} = \frac{U_{ю.к.} \cdot B_T}{\sqrt{3}},$$

$$B_T = \frac{\sqrt{3} i_{с.иш.}}{U_{ю.к.}}$$

B_T ни каталог маълумотлари орқали ифодалаш

$$B_T = \frac{\sqrt{3} i_{c.иш.} \% I_{ю.к.}}{100 \cdot U_{ю.к.}} \cdot \frac{U_{ю.к.}}{U_{ю.к.}}$$

шунда трансформатор фазасининг реактив ўтказувчанлиги қуйидагича ифодаланади, См

$$B_T = \frac{i_{c.иш.} \% S_H}{100 \cdot U_{ю.к.}^2} \quad (4.25)$$

Электрик тизимлар параметрларини ҳисоблашда киритилган формулалардан фойдаланилганда ўтказувчи коэффицентларини ишлатиш зарурати юзага келмаслиги учун электрик катталикларни қуйидаги ўлчов бирликларида ифодалаш тавсия этилади: қувват, қувват йўқотишлари (МВА, МВт, Мвар); кучланиш, кучланиш йўқотишлари (кВ); ток (кА); қаршилик (Ом); ўтказувчанлик (См).

Бир фазали трансформаторларнинг алмаштириш схемалари параметрларини аниқлашда шуни ёдда тутиш керакки, уларнинг каталогида бир фазанинг номинал қуввати кўрсатилган бўлиб, қисқа туташув ва салт ишлаш тажрибаларида бир фазадаги қувват йўқотишлари аниқланади. Уч фазали гуруҳларнинг эквивалент қаршилик ва ўтказувчанликлари бир фазали трансформаторларнинг номинал ва паспорт маълумотлари асосида қуйидаги формулалар ёрдамида ҳисобланади:

$$\left. \begin{aligned} R_T &= \frac{\Delta P_{к.т.} U_{ю.к.}^2}{3 S_{н.ф.}^2}; & X_T &= \frac{u_{к.т.} \% U_{ю.к.}^2}{100 \cdot 3 S_{н.ф.}}; \\ G_T &= \frac{3 \Delta P_{с.иш.}}{U_{ю.к.}^2}; & B_T &= \frac{i_{с.иш.} \% S_H}{100 \cdot U_{ю.к.}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

Трансформаторларнинг алмаштириш схемалари параметрлари (4.22) - (4.26) формулаларда энг юқори номинал кучланиш синфига келтирилган (кўпинча адабиётларда ана шу кўринишда берилади). Зарурат бўлса, барча параметрлар паст номинал кучланиш синфига келтирилиши мумкин. Параллел уланган n та бир хил икки чўлғамли трансформаторларнинг алмаштириш схемасининг эквивалент фазавий қаршилик ва ўтказувчанликлари қуйидаги нисбатлар ёрдамида аниқланади:

$$R_э = \frac{R_T}{n}; \quad X_э = \frac{X_T}{n}; \quad G_э = G_T n; \quad B_э = B_T n. \quad (4.27)$$

Уч чўлғамли трансформаторнинг параметрлари ва алмаштириш схемаси. Уч чўлғамли трансформаторлар чўлғамларнинг номинал қувватлари

($S_{Ю.К.}$, $S_{Ў.К.}$, $S_{Н.К.}$) нисбатларига кўра уч хил ишлаб чиқарилиш турларига эга бўлиши мумкин. Саноатда қуйидаги қувват нисбатларига (трансформаторнинг номинал қувватига нисбатан) эга бўлган уч чўлғамли трансформаторлар ишлаб чиқарилади, %:

($S_{Ю.К.}$, $S_{Ў.К.}$, $S_{Н.К.}$) - (100/100/100);

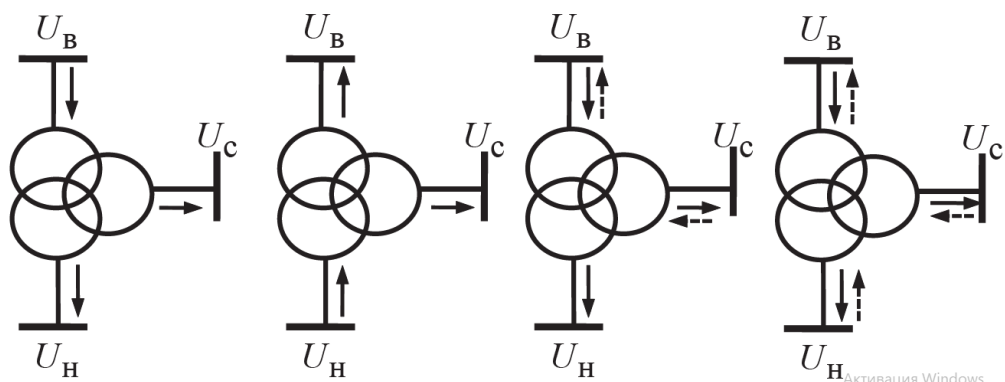
($S_{Ю.К.}$, $S_{Ў.К.}$, $S_{Н.К.}$) — (100/100/66,7);

($S_{Ю.К.}$, $S_{Ў.К.}$, $S_{Н.К.}$) — (100/66,7/100).

Ушбу ёки бошқа ишлаб чиқарилиш турини танлаш чўлғамлар орқали оқиб ўтадиган қувватлар миқдорига боғлиқ (4.9-расм).

Уч чўлғамли трансформаторнинг каталогда қуйидагилар кўрсатилган: S_H , кВА; $U_{Ю.К.}$, $U_{Ў.К.}$, $U_{Н.К.}$, кВ; $\Delta P_{К.З.}$, кВт; $u_{К.Т.Ю-Ў}$, $u_{К.Т.Ю-К.}$, %; $\Delta P_{С.ИШ.}$, кВт; $i_{С.ИШ.}$, %.

Одатда каталогларда уч чўлғамли трансформаторнинг ҳар бир чўлғам жуфтлиги учун ўтказилган учта тажрибада қисқа туташув кучланишларини ўлчаш натижалари кўрсатилган. Лекин кўпинча қисқа туташув йўқотишлари улар максимал қийматга эга бўлган тажриба учун кўрсатилади. Бу тажриба номинал қувватлари уч чўлғамли трансформаторнинг номинал қуввати S_H га тенг бўлган чўлғамлар учун ўтказилади.



Расм - 4.9. Уч чўлғамли трансформатордаги қувват оқимларининг йўналишлари

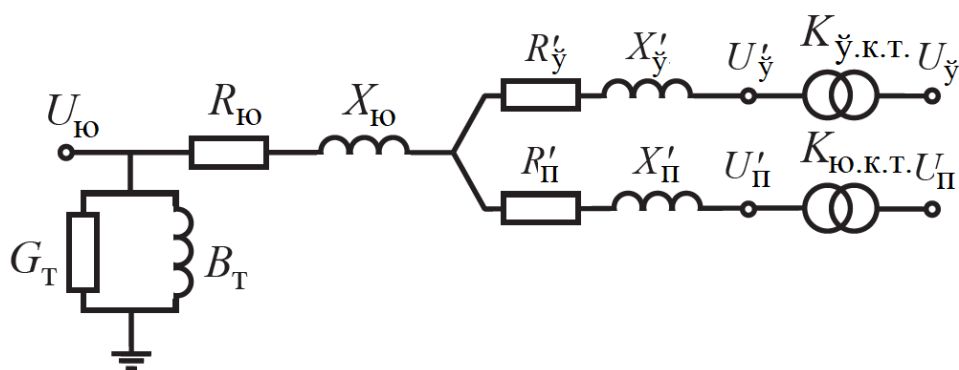
Уч чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси. Электрик тармоқларнинг ўрнатилган режимларини ҳисоблаш ва таҳлил қилиш учун энг қулай бўлган бир чизиқли Г-шаклли алмаштириш схемаси 4.10-расмда келтирилган. Схемада кўрсатилган ўрта (R'_{ψ} , X'_{ψ}) ва паст (R'_{π} , X'_{π}) кучланишли чўлғамларнинг фазавий қаршиликлари трансформаторнинг энг юқори номинал кучланишига тегишли номинал трансформация коэффициентлари орқали келтирилган

$$R'_i = R_i \left(\frac{U_{\text{Ю.К.}}}{U_{\text{ик}}} \right)^2, \quad X'_i = X_i \left(\frac{U_{\text{Ю.К.}}}{U_{\text{ик}}} \right)^2, \quad i = \check{y}, \text{к} \quad (4.28)$$

Чўлғамларнинг актив ва индуктив фазавий қаршиликлари учта қисқа туташув тажрибаси (Ю–Ў, Ю–П, Ў–П) асосида аниқланади. Қисқа туташув тажрибаси (Ю–Ў) ўтказилаётганда юқори кучланиш чўлғамига шундай кучланиш бериладики, унда номинал ток $I_{\text{Ю.Н}}$ оқиб ўтсин, ўрта кучланиш чўлғами қисқа туташувга уланган, паст кучланиш чўлғами эса очик бўлади.

Уч фазали трансформаторнинг қисқа туташув тажрибасида (Ю–Ў) уч фазали актив қувват йўқотишлари $\Delta P_{\text{к.т.ю-ў}}$ ўлчанади, бу йўқотишлар юқори ва ўрта кучланиш чўлғамларидаги қувват йўқотишларининг йиғиндисини ифодалайди ($\Delta P_{\text{к.т.ю-ў}} = \Delta P_{\text{к.т.ю}} + \Delta P_{\text{к.т.ў}}$), шунингдек, қисқа туташув кучланиши $u_{\text{к.т.ю}}$ – ўлчанади, бу юқори ва ўрта кучланиш чўлғамларидаги кучланиш пасайишининг йиғиндисига тенг ($u_{\text{к.т.ю-ў}} = \Delta u_{\text{к.т.ю}} + \Delta u_{\text{к.т.ў}}$).

Ю–П ва Ў–П қисқа туташув тажрибалари худди шундай тарзда ўтказилади ва тегишли равишда ($\Delta P_{\text{к.т.ю-п}}$, $u_{\text{к.т.ю-п}}$) ва ($\Delta P_{\text{к.т.ў-п}}$, $u_{\text{к.т.ў-п}}$) аниқланади.



Расм - 4.10. Уч чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси

Агар барча чўлғамларнинг номинал қувватлари тенг бўлса ($S_{\text{Ю.К.}} = S_{\text{ў.К.}} = S_{\text{Н.К.}}$), уларнинг бир кучланиш синфига келтирилган актив қаршиликлари ҳам тенг бўлади ($R_{\text{Ю}} = R'_{\text{ў}} = R'_{\text{П}}$) ва уларни икки чўлғамнинг қисқа туташув йўқотишларидан бири, масалан, $\Delta P_{\text{к.т.ю-ў}}$ асосида ҳисоблаш мумкин:

$$R_{\text{Ю}} = R'_{\text{ў}} = R'_{\text{П}} = \frac{\Delta P_{\text{к.т.ю.к.}} U_{\text{Ю.К.}}^2}{2 S_{\text{П}}^2} \quad (4.29)$$

Агар i -рақамли чўлғамнинг номинал қуввати камроқ бўлса, яъни $S_i = 0,667 S_{\text{П}} = S_{\text{П}}/1,5$, унда унинг келтирилган актив қаршилиги мос равишда каттароқ бўлади, $R'_i = 1,5 R_{\text{Ю}}$.

Чўлғамларнинг фазавий индуктив қаршиликларини аниқлаш учун, агар ($S_{\text{Ю.К.}} = S_{\text{Ў.К.}} = S_{\text{Н.К.}}$) шарт бажарилса, урта қисқа туташув кучланишлари ($u_{\text{К.Т.,Ю-К}}, u_{\text{К.Т.,Ю-П}}, u_{\text{К.Т.,Ў-П}}$) учун ифодаларни ёзиш керак:

$$\begin{aligned} u_{\text{К.Т.,Ю-Ў}} &= u_{\text{К.Т.,Ю}} + u_{\text{К.Т.,Ў}}; \\ u_{\text{К.Т.,Ю-П}} &= u_{\text{К.Т.,Ю}} + u_{\text{К.Т.,П}}; \\ u_{\text{К.Т.,Ў-П}} &= u_{\text{К.Т.,Ў}} + u_{\text{К.Т.,П}}; \end{aligned} \quad (4.30)$$

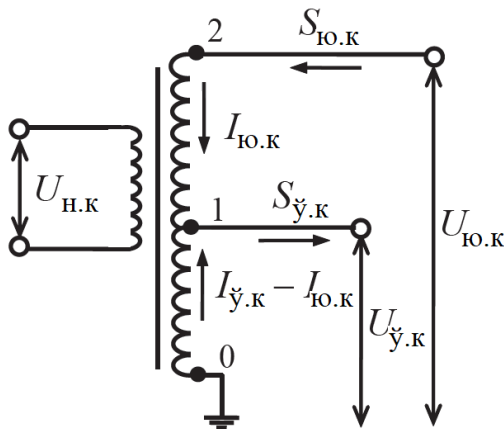
(4.30) тенгламалар тизимини ечишда уч чўлғамли трансформаторнинг ҳар бир чўлғами учун қисқа туташув кучланишларининг қийматларини аниқлаш мумкин:

$$\begin{aligned} u_{\text{К.Т.,Ю}} &= \frac{u_{\text{К.Т.,Ю-Ў}} + u_{\text{К.Т.,Ю-П}} - u_{\text{К.Т.,Ў-П}}}{2}; \\ u_{\text{К.Т.,Ў}} &= \frac{u_{\text{К.Т.,Ю-Ў}} + u_{\text{К.Т.,Ў-П}} - u_{\text{К.Т.,Ю-П}}}{2}; \\ u_{\text{К.Т.,П}} &= \frac{u_{\text{К.Т.,Ю-П}} + u_{\text{К.Т.,Ў-П}} - u_{\text{К.Т.,Ю-Ў}}}{2}; \end{aligned} \quad (4.31)$$

Уч чўлғамли трансформаторнинг индуктив фазавий қаршиликлари икки чўлғамли трансформаторлардаги каби аниқланади:

$$X_T = \frac{u_{\text{К.Т.},i} \% U_{\text{Ю.К.}}^2}{100 \cdot S_{\text{П}}}, \quad i = \text{Ю}', \text{Ў}', \text{П}'. \quad (4.32)$$

Фазавий ўтказувчанликлар G_T ва B_T уч чўлғамли трансформаторнинг салт ишлаш тажрибаси натижалари бўйича (4.24) ва (4.25) формулалар асосида, икки чўлғамли трансформаторлар учун ҳисоблангани каби ҳисобланади.



Расм - 4.11. Автотрансформатор ўрамларида ток тақсимоти схемаси

Уч чўлғамли трансформаторнинг салт ишлаш тажрибаси ўтказилаётганда ўрта ва паст кучланиш чўлғамлари очик бўлади, юқори кучланиш чўлғамига номинал кучланиш $U_{\text{ю.к.}}$ берилади ва пўлатдаги актив йўқотишлар $\Delta P_{\text{с.иш.}}$ ўлчанади. Бу ҳолда шунт параметрлари исталган чўлғамнинг кучланишига келтирилиши мумкин, кўпинча улар юқори кучланиш сатҳига келтирилади.

Автотрансформаторларнинг алмаштириш схемаси ва хусусиятлари. Автотрансформаторнинг хусусияти шундаки, юқори ва ўрта кучланиш томонлари ўртасида электрик боғланиш мавжуд. Автотрансформаторда юқори ва ўрта кучланиш чўлғамлари алоҳида мавжуд эмас, лекин 4.11-расмда кўрсатилганидек, *умумий* (0–1) ва *кетма-кет* (1–2) чўлғамлар электр жиҳатидан ўзаро боғланган.

Автотрансформаторнинг ишини таҳлил қилиш юқори кучланиш томонидан ўрта кучланиш томонига қувват узатилишини ва паст кучланиш чўлғам очик бўлган ҳолатни кўриб чиқиш орқали қулай амалга оширилади. Агар паст кучланиш чўлғам очик бўлса, юқори кучланиш томонидан ўрта кучланиш томонига (ёки аксинча) оқиб ўтадиган қувват автотрансформаторнинг юқори ёки ўрта томони параметрлари асосида топилиши мумкин:

$$S_{\text{ю.к.}} = \sqrt{3} I_{\text{ю.к.}} U_{\text{ю.к.}}; \quad (4.33)$$

$$S_{\text{ў.к.}} = \sqrt{3} I_{\text{ў.к.}} U_{\text{ў.к.}};$$

Бу қувват автотрансформаторнинг бир томонидан иккинчи томонига ўтади, у ўтучи қувват $S_{\text{ўт.}}$ деб аталади ва автотрансформаторнинг юқори ва ўрта томонларининг номинал токлари ва кучланишлари асосида аниқланади. Ўтувчи қувват юқори ва ўрта томонларнинг номинал қуввати $S_{\text{ю.к.}}$, $S_{\text{ў.к.}}$ ва шу билан бирга автотрансформаторнинг номинал қуввати $S_{\text{н}}$ қуйидагича ҳисобланади:

$$S_{\text{н}} = S_{\text{ўт.}} = S_{\text{ю.к.}} = S_{\text{ў.к.}} \quad (4.34)$$

Номинал қувват $S_{\text{н}}$ юқори томондан ўрта томонга узатилганда, оддий трансформаторда юқори ва ўрта кучланиш чўлғамлари ушбу номинал қувватга, яъни чўлғамларнинг номинал токлари ва кучланишларига мувофиқ ҳисобланиши керак. Автотрансформаторда эса бундай вазиятда чўлғамлар анча енгилроқ бўлади.

Умумий чўлғам (0–1) бир хил чўлғамлар сонига эга, лекин камайтирилган сони ($U_{\check{y}.k.}$ га мувофиқ), аммо унинг кесими кичикроқ бўлиб, $I_{\check{y}.k.}$ токига эмас, балки $I_{y.k.}$ – $I_{\check{y}.k.}$ токига асосланади. Кетма-кет чўлғам (1–2) оддий трансформаторнинг юқори кучланиш чўлғамга нисбатан камайтирилган чўлғамлар сонига эга бўлиб, бу $U_{y.k.}$ – $U_{\check{y}.k.}$ кучланиши билан аниқланади ва $I_{y.k.}$ токида ишлайди. Шундай қилиб, автотрансформаторнинг кетма-кет ва умумий чўлғамларининг қувватлари оддий трансформаторнинг юқори ва ўрта кучланиш чўлғамларининг қувватларига нисбатан худди шу номинал қувватда камроқ бўлади.

Кетма-кет чўлғамнинг қуввати автотрансформаторда қуйидагича аниқланади:

$$S_{k.ket} = \sqrt{3} I_{y.k.} (U_{y.k.} - U_{\check{y}.k.}) \quad (4.35)$$

Умумий чўлғамнинг қуввати автотрансформаторда қуйидагича ишлаб чиқарилади:

$$S_{umum.} = \sqrt{3} U_{\check{y}.k.} (I_{\check{y}.k.} - I_{y.k.}) \quad (4.36)$$

Автотрансформаторнинг номинал қуввати

$$S_H = \sqrt{3} I_{y.k.} U_{y.k.} = \sqrt{3} I_{\check{y}.k.} U_{\check{y}.k.} \quad (4.37)$$

(4.35–4.37) ифодаларни таҳлил қилишдан кўринадики, кетма-кет ва умумий чўлғамларнинг қувватлари автотрансформаторнинг номинал қувватидан камроқдир:

$$S_{k.ket.} = \sqrt{3} I_{y.k.} (U_{y.k.} - U_{\check{y}.k.}) = \sqrt{3} I_{y.k.} U_{y.k.} - \sqrt{3} I_{y.k.} U_{\check{y}.k.} = S_H - \sqrt{3} I_{y.k.} U_{\check{y}.k.} \quad (4.38)$$

$$S_{umum.} = \sqrt{3} U_{\check{y}.k.} (I_{\check{y}.k.} - I_{y.k.}) = \sqrt{3} I_{\check{y}.k.} U_{\check{y}.k.} - \sqrt{3} I_{y.k.} U_{\check{y}.k.} = S_H - \sqrt{3} I_{y.k.} U_{\check{y}.k.}$$

(4.38) ифодасидан кўринадики, кетма-кет ва умумий чўлғамларнинг қувватлари бир хил бўлиб, автотрансформаторнинг типик қувватига тенгдир:

$$S_T = S_{охир.} = S_{umum.} = S_H - \sqrt{3} I_{y.k.} U_{\check{y}.k.} = \left(1 - \frac{U_{\check{y}.k.}}{U_{y.k.}}\right) = S_H \cdot \alpha_{y\check{y}} \quad (4.39.)$$

бу ерда $\alpha_{y\check{y}}$ – фойдалилик коэффициенти ($\alpha_{y\check{y}} < 1$). $\alpha_{y\check{y}}$ қанчалик кичик бўлса (яъни $U_{\check{y}.k.}$ $U_{y.k.}$ га қанчалик яқин бўлса), автотрансформатор шунчалик

фойдали бўлади. Баъзан $\alpha_{ю}$ ўрнига $K_{ю}$ ёзилади. Автотрансформаторнинг учинчи чўлғами баъзида типик қувватга ҳисобланади:

$$S_{п.к.}=S_T = \sqrt{3I_{п.к.}}U_{п.к.} \quad (4.40)$$

лекин кўпинча ундан камроқ қувватга эга бўлади: $S_{п.к.} = \alpha_{п} S_{н}$, $\alpha_{п} < \alpha_{ю}$.

Автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси уч чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемасидан фарқ қилмайди. Маълумотномаларда қисқа туташув тажрибаларининг кучланишлари одатда автотрансформаторнинг номинал қувватига келтирилган. Шунинг учун автотрансформаторнинг индуктив қаршиликлари уч чўлғамли трансформаторлардаги каби аниқланади.

Агар автотрансформаторнинг паспорт маълумотларида Ю – Ў қисқа туташув тажрибаси натижаси ($\Delta P_{к.т.ю-ў}$) келтирилган бўлса, актив қаршиликлар уч чўлғамли трансформаторлардаги каби ҳисобланади. Бу ҳолда $R'_{п} = R_{ю}/\alpha_{п}$. Агар Ю–П тажрибаси натижаси ($\Delta P_{к.т.ю.к}$) келтирилган бўлса, қисқа туташув йўқотишлари аввал автотрансформаторнинг номинал қувватига келтирилиши керак, чунки Ю–К тажрибасида чўлғамлар орқали паст кучланиш чўлғами параметрларига мувофиқ номинал ток $I'_{п.к.} = \alpha_{ю} I_{ю.к}$, $I_{в.н}$ оқиб ўтган.

Келтириш қуйидаги формула бўйича амалга оширилади:

$$R'_{к.т.ю-п} = \frac{\Delta P_{к.т.ю-п}}{\alpha_{п}^2} \quad (4.41)$$

Баъзи автотрансформаторларнинг паспорт маълумотларида барча тажрибалар учун қисқа туташув йўқотишлари кўрсатилган: $\Delta P_{к.т.ю-ў}$, $\Delta P_{к.т.ю-п}$, $\Delta P_{к.т.ў-п}$. Чўлғамларнинг актив қаршиликларини аниқлаш учун аввал қисқа туташув тажрибалари натижаларини автотрансформаторнинг $S_{н}$ номинал қувватига келтириш керак:

$$R'_{к.т.ю-п} = \frac{\Delta P_{к.т.ю-п}}{\alpha_{п}^2}; \quad R'_{к.т.ў-п} = \frac{\Delta P_{к.т.ў-п}}{\alpha_{п}^2},$$

сўнгра ҳар бир чўлғамнинг қисқа туташув йўқотишларини ҳисоблаш керак:

$$R_{к.т.ю} = \frac{\Delta P_{к.т.ю-ў} + \Delta P_{к.т.ю-п} - \Delta P_{к.т.ў-п}}{2};$$

$$R_{\kappa, \tau, \dot{y}} = \frac{\Delta P_{\kappa, \tau, \dot{y}-\dot{y}} + \Delta P_{\kappa, \tau, \dot{y}-\Pi} - \Delta P_{\kappa, \tau, \dot{y}-\Pi}}{2}; \quad (4.42)$$

$$R_{\kappa, \tau, \Pi} = \frac{\Delta P_{\kappa, \tau, \dot{y}-\Pi} + \Delta P_{\kappa, \tau, \dot{y}-\dot{y}} - \Delta P_{\kappa, \tau, \dot{y}-\Pi}}{2};$$

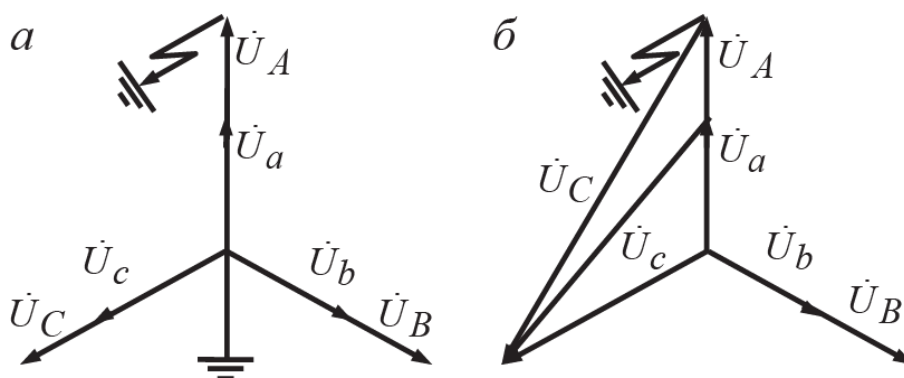
Бу ҳолда чўлғамларнинг актив қаршиликлари қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$R_i = \frac{\Delta P_{\kappa, \tau, i} \cdot U_{\dot{y}, \kappa}^2}{S_H^2}, \quad i = \dot{y}, \dot{y}, \Pi. \quad (4.43)$$

Автотрансформаторнинг юқори ва ўрта кучланиш фазавий чўлғамлари одатда нейтралли мустаҳкам ерланган юлдуз шаклида уланади. Автотрансформатор нейтраллини ерлаш зарурати юқори кучланиш томонида бир фазали қисқа туташув юзага келганда ўрта кучланиш томонида изоляциянинг тешилиш (*пробой*) хавфи билан изоҳланади.

Кучланишларнинг вектор диаграммасида, 4.12-расмда кўрсатилганидек, изоляцияланган нейтраль билан ишлаганда, юқори ва ўрта томонлар ўртасидаги электрик боғланиш туфайли юқори томонда бир фазали қисқа туташув юзага келса, умумий чўлғамнинг соғлом фазаларида линия кучланишдан анча юқори бўлган кучланиш пайдо бўлади.

Шу сабабли автотрансформаторлар фақат нейтралли мустаҳкам ерланган, кучланиши 110 кВ ва ундан юқори бўлган электрик тармоқларда қўлланилади, автотрансформаторларнинг ўзи эса юқори номинал кучланиши камида 150 кВ ва ўрта кучланиши камида 110 кВ бўлган ҳолда ишлаб чиқарилади.



Расм – 4.12. Автотрансформаторнинг кучланишлар вектор диаграммалари: ерланган нейтраль билан (а) ва изоляцияланган нейтраль билан (б)

Автотрансформаторнинг паст кучланиш чўлғами юқори ва ўрта кучланишлар ўртасидаги электрик боғланиш туфайли юзага келадиган юқори гармоник тоқларни компенсация қилиш учун учбурчак шаклида уланади.

Трансформаторларнинг соддалаштирилган алмаштириш схемалари. Кўпинча электр тармоқларнинг ўрнатилган режимларини ҳисоблашда трансформаторнинг юқори томонидаги кучланиш ўзгаришида пўлатдаги йўқотишларнинг ўзгаришига эътибор берилмайди.

Трансформаторнинг пўлатдаги уч фазали қувват йўқотишлари қуйидаги нисбат бўйича аниқланади:

$$\Delta \underline{S}_{\text{ст}} = U_{\text{ю}}^2 \cdot \hat{Y} = \Delta P_{\text{ст}} + j\Delta Q_{\text{ст}}.$$

Салт ишлаш тажрибаси натижалари бўйича юқори томондаги кучланиш $U_{\text{ю}} = U_{\text{ю.к.}}$ бўлганда пўлатдаги йўқотишлар аниқланади, бу ҳолда:

$$\Delta \underline{S}_{\text{салт иш.}} = U_{\text{ю.к.}}^2 \cdot \hat{Y} = \Delta P_{\text{салт иш.}} + j\Delta Q_{\text{салт и ш.}},$$

очиги,

$$\Delta \underline{S}_{\text{ст}} = \Delta \underline{S}_{\text{салт иш.}} \cdot U_{\text{ю}}^2 / U_{\text{ю.к.}}^2. \quad (4.44)$$

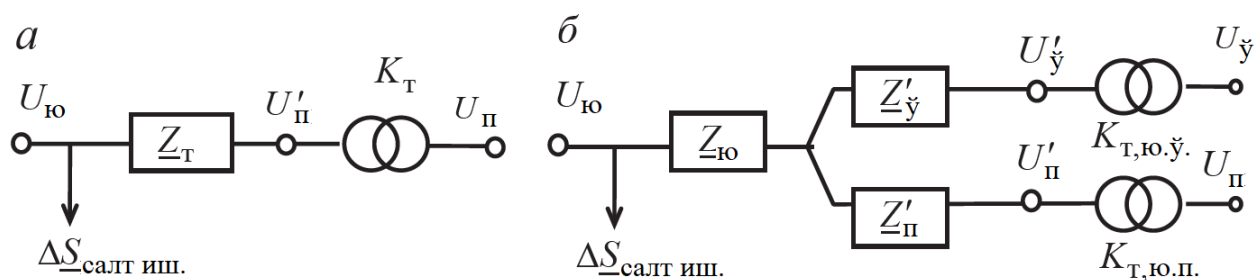
Агар тармоқдаги кучланишлар ДавСТ талабларига мувофиқ бўлса, улар номинал қийматдан 10% дан ортиқ четга чиқмаса, трансформаторларнинг пўлатдаги йўқотишларини шартли равишда доимий деб ҳисоблаш ва уларни бўш юриш тажрибасидаги йўқотишларга тенг бўлган доимий юкламалар сифатида ҳисобга олиш мумкин.

n та параллел уланган бир хил трансформаторларнинг пўлатдаги эквивалент йўқотишлари:

$$\Delta \underline{S}_{\text{э.салт иш.}} = \Delta \underline{S}_{\text{салт иш.}} \cdot n \quad (4.45)$$

Пўлатда доимий йўқотишларга эга трансформаторларнинг алмаштириш схемалари 4.13-расмда келтирилган.

Тармоқнинг умумлаштирилган алмаштириш схемалари. Баъзан ўрнатилган режимларни ҳисоблашда қаршилиқ ва ўтказувчанлик турлари кўрсатилган алмаштириш схемалари ўрнига, электр узатиш линиясининг умумлаштирилган бир чизиқли алмаштириш схемасидан фойдаланиш қулай, у 4.14-расмда келтирилган.



Расм - 4.13. Пўлатда доимий йўқотишларга эга трансформаторларнинг алмаштириш схемалари: а — икки чўлғамли; б — уч чўлғамли ва автотрансформатор

Умумлаштирилган схемада электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасидаги бўйлама фазавий қаршилиқ $\underline{Z}_{12}$ ва кўндаланг фазавий ўтказувчанликлар $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2$ қийматларини кўрсатиш қулай:

$$\underline{Z}_{12} = R + jX;$$

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \frac{G}{2} + j\frac{B}{2}$$

Ўрнатилган режимларни ҳисоблашда схемада одатда ҳарфли белгилаш ўрнига тўртбўричакларда параметрларнинг белгилари ва рақамли қийматлари кўрсатилади, бу эса тармоқ фазалари параметрларининг тури ва катталиги ҳақида хулоса чиқариш имконини беради.

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Электр тармоқлари элементларининг алмаштириш схемаси нима деб аталади ва унинг мақсади қандай?
2. Ҳаво электр узатиш линияларининг ўзига хос актив қаршилиги R_0 қандай ҳисобланади ва у қайси омилларга боғлиқ?
3. Ҳаво электр узатиш линияси фазасининг индуктив қаршилиги X_0 қандай формула билан аниқланади?
4. Транспозиция нима учун амалга оширилади ва у қандай принципга асосланади?
5. Тож разряди ва изоляторлар орқали оқиш токи туфайли юзага келадиган актив исрофларнинг формуласи қандай?
6. Ҳаво электр узатиш линиясининг сиғимли ўтказувчанлиги B_0 қандай аниқланади?

7. Икки чўлғамли трансформаторнинг актив қаршилиги R_T қандай ҳисобланади?
8. Автотрансформаторнинг ўтувчи қуввати $S_{ўт}$ нимага тенг?
9. Трансформаторларнинг салт ишлаш тажрибасида нималар ўлчанади ва ўтказувчанлик B_T қандай аниқланади?

5. ЭЛЕКТР ЮКЛАМАЛАР ВА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ МАНБАЛАРИ

5.1. Комплекс юкламалар тугунининг хусусияти

Электр энергетиканинг асосий мақсади электр энергияси истеъмолчиларини ишончли ва сифатли электр таъминоти билан таъминлашдир. Электроэнергетик тизимларнинг иш режимларини таҳлил қилишда истеъмолчилар сифатида одатда электр тармоғининг комплекс юкламалар тугунлари кўриб чиқилади, улар кўпинча электр қабул қилувчиларнинг (ушбу қўлланманинг 1.3 бўлимига қаранг) мажмуасини ташкил қилади.

Мамлакатнинг умумий энергетика балансида саноат ва қурилишда истеъмол қилинадиган энергия 50% дан ортиқни ташкил этади, демак, саноат корхоналари электр энергиясининг асосий истеъмолчиларидир. Шаҳарлар ва қишлоқларда электр энергияси истеъмолининг асосий улуши жамоат-коммунал ва маиший эҳтиёжларга тўғри келади. Истеъмолчиларнинг кўпчилиги электр энергиясини энергетика тизимларидан (марказлашган электр таъминоти) олади, шу билан бирга маҳаллий манбалар — ТЭЦ, дизель генераторлари ва бошқалар ҳам ишлатилади. Қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари асосан иссиқликни қозонхоналардан, электр энергиясини эса марказлашган ва маҳаллий манбалар ҳисобига таъминланади.

Электр тармоқларининг иш режимларини таҳлил қилиш ва ривожланишни лойиҳалаштириш тармоқ тугунларининг комплекс юкламаларини ҳисобга олган ҳолда амалга оширилади, бу юкламалар одатда пасайтирувчи подстанцияларнинг юқори ёки паст кучланишли шиналарида аниқланади, бу электр энергиясининг энергетика тизимидан истеъмолчига узатилиши нуқтасига боғлиқ.

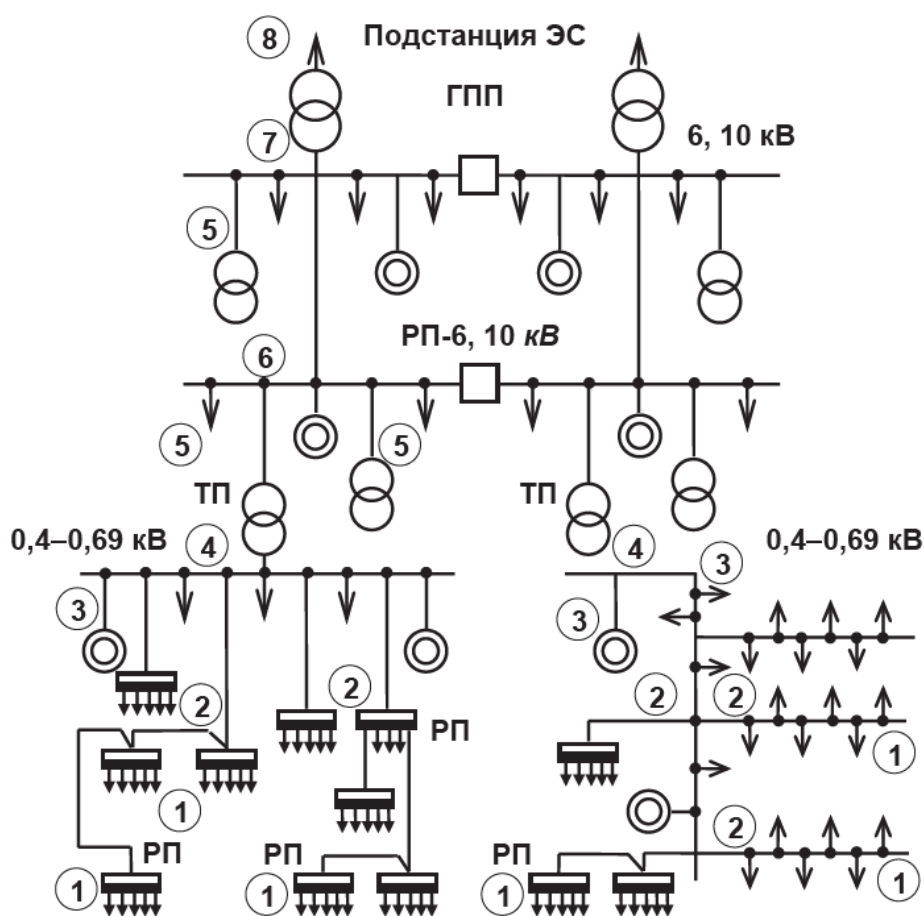
5.1-расмда электр тармоғи тугунининг комплекс юкламаларини аниқлаш мисоли келтирилган (саноат корхонасининг электр таъминоти схемаси). Ҳисоб комплекс юкламаларини аниқлаш электр таъминоти тизимининг паст сатҳларидан юқори сатҳларга (1, 2 нуқталардан 7 ёки 8 нуқталарга, 5.1-расмда) кетма-кет амалга оширилади.

Электр таъминоти тизимида ҳисобларнинг электр юкламаларини аниқлаш зарур бўлган бир қанча хос нуқталар мавжуд.

Ҳисобларнинг электр юкламаларини аниқлаш учун хос нуқталар:

1. Кучланиши 1000 В гача бўлган алоҳида электр қабул қилувчилар (1-нуқта).
2. Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қабул қилувчилар гуруҳи (2-нуқта).

3. Кучланиши 1000 В гача бўлган цех трансформатор подстанциялари (ТП) шиналари, йирик электр қабул қилувчилар, тақсимот пунктлари, магистраллар (3-нуқта).
 4. Цех ТП сининг кучланиши 1000 В гача бўлган шиналар секциялари ёки трансформатор-магистрал блогининг асосий магистрالي (4-нуқта).
 5. Кучланиши 6, 10 кВ бўлган тақсимот пунктига (РП) уланган линиялар (5-нуқта).
 6. Кучланиши 6, 10 кВ бўлган тақсимот пункти шиналарининг секциялари (6-нуқта).
 7. Кучланиши 6, 10 кВ бўлган асосий пасайтирувчи подстанция шиналарининг секциялари (7-нуқта).
 8. Асосий пасайтирувчи подстанциянинг (ГПП) юқори кучланишли 35...220 кВ шиналари (8-нуқта).
- 7 ва 8-нуқталарда юкламаларни аниқлаш электр энергиясининг энергетика тизимидан истеъмолчига узатилиши нуқталаридаги комплекс юкламаларни баҳолаш имконини беради.



Расм - 5.1. Саноат корхонасининг электр таъминоти схемаси

Ҳозирда қўлланиладиган ҳисоб электр юкламаларини аниқлашнинг асосий усуллари уч гуруҳга бўлинади [7, 8]:

1. Номинал қувватни бирдан кичик бўлган коэффицентга кўпайтириш орқали ҳисоб юкламаларини аниқлаш усуллари:

$$P_x = k_1 \cdot P_{\text{ном}}$$

Биринчи гуруҳга ўрнатилган қувват ва талаб коэффиценти бўйича ҳисоб юкламаларини аниқлаш усулини киритиш керак.

2. Ўртача юкламаларни бирдан катта ёки унга тенг бўлган коэффицентга кўпайтириш орқали ҳисоб юкламаларини аниқлаш усуллари:

$$P_x = k_2 \cdot P_{\text{ў}}$$

Иккинчи гуруҳга ҳисоб юкламаларини аниқлашнинг қуйидаги усуллари киради:

ўртача юкламалар ва юкламалар графиги шакли коэффиценти бўйича;

ўртача юкламалар ва юкламалар максимуми коэффиценти бўйича (тартибланган диаграммалар усули);

ўртача юкламалар ва ўртача квадратлик четланиш бўйича (статистик усул).

3. Алоҳида гуруҳни ишлаб чиқаришнинг солиштирма кўрсаткичлари бўйича ҳисоб юкламаларини аниқлаш усуллари ташкил этади:

маҳсулот бирлигига удель электр энергияси сарфи бўйича;

ишлаб чиқариш майдони бирлигига удель юкламалар бўйича.

Тугуннинг умумий максимал комплекс юкламалари уланган қувватни ҳисоблаш асосида аниқланади: $P_{\text{мах}} < P_{\text{ўрнат.}}$:

$$P_{\text{мах}} = K_0 \cdot K_{\text{юклама.}} \cdot P_{\text{ул.}\Sigma} = K_{\text{ў}} \cdot P_{\text{ўт.}\Sigma} \quad (5.3)$$

бу ерда $K_{\text{б.в.и.}}$ — бир вақтда ишлайдиган истеъмолчиларнинг максимум давридаги ўртача нисбий сонини кўрсатувчи бир вақтда ишлаш коэффиценти; $K_{\text{юклама.}}$ — истеъмолчининг иш қувватининг уланган қувватига нисбатини кўрсатувчи юкламалар коэффиценти; $K_{\text{т}}$ — талаб коэффиценти:

$$K_{\text{т}} = K_{\text{б.в.и.}} = K_{\text{юклама.}}$$

Талаб коэффицентлари турли саноат тармоқлари учун фарқ қилади, 5.1-жадвалда баъзи тармоқларнинг талаб коэффицентлари келтирилган.

Баъзи тармоқларнинг талаб коэффициентлари

№ к/к		K_T
1	Машинасозлик	0,25–0,3
2	Тўқимачилик	0,25
3	Электростанцияларнинг ўз эҳтиёжлари	0,7–0,95
4	Металлургия	0,7–0,8

Умумий уланган қувват қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$P_{ул.Σ} = \sum_{i=1}^n P_{ул.,i} \quad (5.5)$$

бу ерда n – тармоқ тугуни истеъмолчиларининг сони. Алоҳида электр қабул қилувчилар ва улар гуруҳларининг уланган қувватлари уларнинг турига қараб ҳисобланади. Масалан, электр юритмалар учун уланган қувват уларнинг номинал қувватлари $P_{ном,э.ю.}$ – ФИК (фойдали иш коэффициентини) ни ҳисобга олган ҳолда топилади:

$$P_{ул.э.ю.} = \frac{P_{ном,э.ю.}}{\eta}, \quad (5.6)$$

Лампочкалар учун уланган қувват уларнинг ўрнатилган қувватлари бўйича ҳисобланади:

$$P_{ул.л.} = P_{ўрн}$$

Кўпинча тармоқ минтақаси ёки энергетика тизимининг максимал юкламаларини уни таркибига кирувчи қисм тизимларнинг максимал юкламалари $P_{max i}$, $i = 1, \dots, n$ бўйича аниқлаш вазифаси юзага келади (бириккан энергетика тизимининг максимал юкламаларини маълум минтақавий энергетика тизимларининг максимал юкламалари бўйича, минтақавий юкламаларни энергорайонларнинг маълум максимал юкламалари бўйича, тармоқ минтақаларининг юкламаларини тугунларнинг максимал юкламалари бўйича ва ҳоказо). Бу ерда қисм тизимларнинг максимал юкламалари ва тизимнинг максимал юкламалари вақти бўйича тўғри келмаслиги i -қисм тизимининг тизим максимум юкламаларини шакллантиришда иштирок этиш коэффициентини киритиш орқали ҳисобга олинади, i , $i = 1, \dots, n$ [3, 5]:

$$k_{max i} = \frac{P_{max i}}{P_{max}}, \quad (5.8)$$

бу ерда $P_{\max,i}$ – тизимнинг максимал юкламалар давридаги i – қисм тизимининг юкламалари; $P_{\max}$ – тизимнинг максимал қуввати бўлиб, уни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$P_{\max} = \sum_{i=1}^n P_{\max,i} \cdot k_{\max,i} \quad (5.9)$$

5.2. Комплекс юкламалар тугунининг статик хусусиятлари

Электр тизимларида электр энергиясини ишлаб чиқариш ва истеъмол қилиш электр энергияси сифати параметрларига – тармоқдаги частота f ва электростанция ёки истеъмолчи шиналаридаги кучланиш U га боғлиқ. Юкламалар томонидан актив ва реактив қувватларни истеъмол қилиш электр тармоғидаги частота ва кучланишларнинг ўзгариши билан ўзгаради. Электр тизимларининг ўрнатилган режимларини таҳлил қилишда юкламаларнинг қувват истеъмоли кучланиш бўйича $P(U)$, $Q(U)$ ва частота бўйича $P(f)$, $Q(f)$ статик хусусиятлари билан тавсифланади. Статик хусусиятлар f ва U секин ўзгарганда тузилиб, улардаги барча нукталар ўрнатилган режимларга мос келади, бу эса электр тизимларининг ўтиш режимларига мос келувчи динамик хусусиятлардан фарқ қилади.

Статик хусусиятларнинг турлари электр қабул қилувчиларнинг типларига боғлиқ бўлиб, турли истеъмолчилар (асинхрон ва синхрон двигателлар, тармоқдаги қувват йўқотишлари, ёритиш юкламалари ва бошқалар) учун сезиларли даражада фарқ қилади.

Тизим тугуни ва тақсимот тармоқларининг ўрнатилган режимлари параметрларини ҳисоблашда биринчи навбатда кучланиш бўйича юкламаларнинг статик хусусиятлари, яъни алоҳида электр қабул қилувчилар эмас, балки уларнинг мажмуалари, яъни электр тармоғи тугунларининг комплекс юкламалари хусусиятлари қизиқиш уйғотади. Электр тармоғи тугунларининг комплекс юкламаларининг тахминий таркиби 5.2-жадвалда келтирилган [5, 7].

Комплекс юкламаларнинг хос таркибини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, юкламаларнинг асосий қисмини асинхрон ва синхрон двигателлар ташкил қилади, улар комплекс юкламаларнинг актив ва реактив қувватларининг кучланишга боғлиқлигини аниқлайди.

Ҳар бир аниқ ҳолатда электр тармоғи тугунларининг комплекс юкламаларининг статик хусусиятларини тажриба йўли билан олиш мақсадга мувофиқдир, бунинг учун подстанция шиналаридаги кучланишни ўзгартириб, истеъмол қувватларини ўлчаш амалга оширилади.

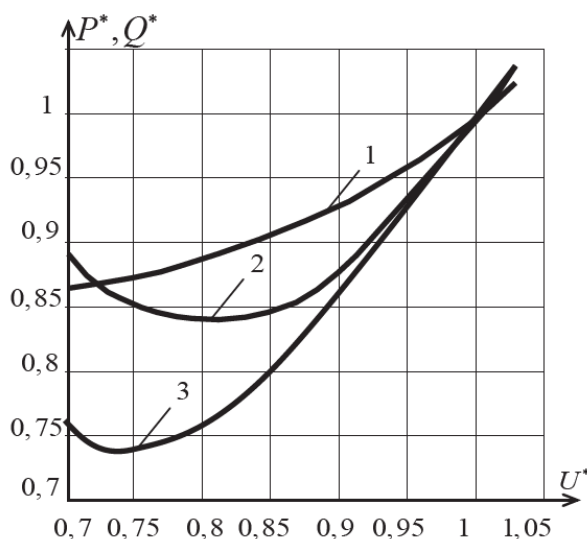
Комплекс юкламаларнинг тахминий таркиби

№т/р	Истеъмолчилар	Улуши, %
1	Асинхрон двигателлар	55
2	Синхрон двигателлар	8
3	Ёритиш юкламалари	20
4	Тўғрилагич, инверторлар, печлар, иситиш қурилмалари	10
5	Тармоқдаги қувват йўқотишлари	7

Эслатма: Жадвалдаги маълумотлар тахминий бўлиб, муайян тармоқ ёки истеъмолчи турларига қараб ўзгариши мумкин. Аниқ қийматларни аниқлаш учун ишлаб чиқариш хусусиятлари ва юкламалар тавсифларини таҳлил қилиш талаб қилинади.

Агар электр тармоғи тугунларининг комплекс юкламаларининг реал статик хусусиятлари мавжуд бўлмаса, 5.2-расмда кўрсатилган типик умумлаштирилган статик хусусиятлардан фойдаланиш мумкин.

Умумлаштирилган статик хусусиятлар тугуннинг комплекс юкламаларининг номинал қувватларига нисбатан нисбий бирликларда тузилган.



Расм - 5.2. Кучланиш бўйича умумлаштирилган статик хусусиятлар: актив қувват (1); 110 кВ (2) ва 6–10 кВ (3) тугунларининг реактив қуввати

Статик хусусиятлар юкламалар қувватининг унга уланган шиналардаги кучланиш ўзгаришида қай даражада ўзгаришини аниқлаш имконини беради. Бу ҳодиса кучланиш бўйича юкламаларнинг *ростлаш эффекти* деб аталади.

Юкламаларнинг регулятор эффекти миқдорий жиҳатдан актив ва реактив қувватларнинг кучланиш бўйича хусусий hosilalari $\partial P/\partial U$ ва $\partial Q/\partial U$

билан аниқланади. Бу қийматлар қанчалик катта бўлса, юкламалар миқдори истеъмолчи шиналаридаги кучланишга шунчалик кўпроқ боғлиқ бўлади.

Юкламалар шиналаридаги кучланишлар номиналга яқин бўлганда, типик статик хусусиятлар учун комплекс юкламаларнинг нисбий бирликлардаги ростлагич эффектининг тахминий қийматлари:

$$\frac{\partial P^*}{\partial U^*} = 0,6; \quad \frac{\partial Q^*}{\partial U^*} = 1,6 - 2,3.$$

Кучланиш бўйича юкламаларнинг рјснкfubx эффектини баҳолаш учун хусусий ҳосилалардан фойдаланиш қувват истеъмолининг ўзгариши нафақат кучланиш даражасига, балки тармоқдаги частотага ҳам боғлиқ экани билан изоҳланади. Частота бўйича юкламаларнинг статик хусусиятлари электроэнергетик тизимларда частотани тартибга солиш масалаларини таҳлил қилишда кўриб чиқилади.

5.3. Электр тармоқларининг ҳисобий схемаларида юкламаларнинг тасвири

Электр тармоқларининг ҳисобий схемаларида юкламаларни тасвирлаш тармоқнинг ўрнатилган режимларини таҳлил қилиш ва лойиҳалаштиришда муҳим аҳамиятга эга. Комплекс юкламалар одатда актив (P) ва реактив (Q) қувватлар сифатида кўрсатилади, улар тармоқ тугунларидаги кучланиш (U) ва частота (f) га боғлиқ бўлган статик хусусиятлар билан ифодаланади.

Юкламаларнинг ҳисобий схемаларида тасвири қуйидаги шаклларда амалга оширилиши мумкин:

- 1. Доимий қувват сифатида.** Юкламалар муайян актив (P) ва реактив (Q) қувватлар билан соддалаштирилган тарзда ифодаланади, бу ерда кучланиш ва частота ўзгаришларига нисбатан доимий деб ҳисобланади.
- 2. Кучланишга боғлиқ юкламалар сифатида.** Юкламаларнинг статик хусусиятлари $P(U)$, $Q(U)$ кўринишида кўрсатилади, бу ерда қувват истеъмоли шиналардаги кучланишга боғлиқ бўлади.
- 3. Комплекс юкламалар сифатида.** Юкламалар тармоқ тугунидаги актив ва реактив қувватларнинг комбинацияси сифатида моделлаштирилади, бунда $\cos\varphi$ (қувват коэффиценти) ва умумий қувват $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ ҳисобга олинади.

Ҳисобий схемаларида юкламаларни тасвирлашда кўпинча умумлаштирилган бир чизикли схемалар қўлланилади, уларда юкламалар тармоқ тугунларида муайян қаршилик (Z) ёки ўтказувчанлик (Y) сифатида

ифодаланади. Бу тармоқнинг умумий қувват балансини ва кучланиш йўқотишларини аниқ ҳисоблаш имконини беради.

Юкламаларнинг тасвири тармоқнинг ишлаш режимига, юкламалар турига (масалан, саноат, маиший ёки коммунал) ва ҳисобийнинг мақсадига (масалан, қувват оқимларини таҳлил қилиш ёки тармоқни оптималлаштириш) қараб фарқ қилиши мумкин. Тугунлардаги юкламаларни аниқ тасвирлаш тармоқнинг барқарорлиги ва самарадорлигини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга.

Электр тармоқларининг ўрнатилган режимлари параметрларини ҳисоблаш тармоқнинг алмаштириш схемаси мавжуд бўлганда амалга оширилади, у энергетика тизимининг барча элементларини: генераторлар, трансформаторлар, электр узатиш линиялари ва юкламаларни ўз ичига олади.

Бундай ҳисоблашларни бажаришда юкламалар аниқ истеъмолчиларнинг статик хусусиятлари ёрдамида энг тўғри ҳисобга олиниши мумкин. Бироқ, кўпчилик ҳисоблашларда юкламаларнинг бундай батафсил ҳисоби истеъмолчилар таркиби тўғрисида аниқ маълумотларнинг йўқлиги туфайли қийинчилик туғдиради. Аксар ҳолларда электр тармоқларининг ўрнатилган режимлари параметрларини ҳисоблашда комплекс юкламаларнинг умумлаштирилган статик хусусиятлари қўлланилади.

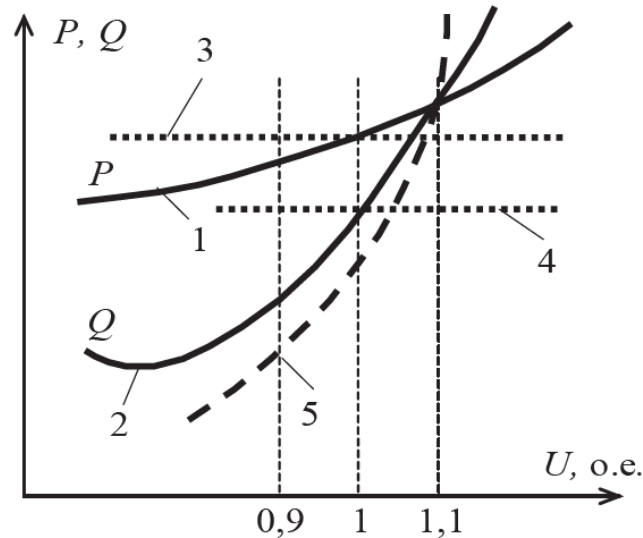
Юкламаларнинг статик хусусиятларини ҳисобга олиш электр тармоғи режимлари параметрларини ҳисоблашни биров мураккаблаштиради, шу сабабли юкламаларнинг статик хусусиятлари фақат уларни ҳисобга олмаслик натижаларнинг сезиларли даражада бузилишига олиб келган ҳоллардагина ишлатилади.

Электр тармоқларининг ишчи ўрнатилган режимларини ҳисоблашда юкламалар кўпинча юкламалар уланиш тугунидаги кучланишнинг ўзгаришларида ўзгармас актив ва реактив қувватлар сифатида кўрсатилади.

Бундай юкламалар тасвири юкламаларнинг реал хусусиятларини доимий қиймат билан алмаштиришга мос келади (5.3-расм, 3 ва 4 тўғри чизиқлар). Расмдан кўринадики, бундай идеаллаштириш жуда қўпол бўлиб, фақат кучланишнинг номинал қийматдан кичик четланишларида қўлланиши мумкин. ДавСТ 32144–2013 электр энергияси сифати талабларига риоя қилинганда кучланишларнинг четланиши номиналдан 10% дан ошмайди. Комплекс юкламаларни доимий қувват сифатида кўрсатиш лойиҳа ҳисоблашларида тугунлар юкламаларининг прогноз қийматларидан фойдаланилганда жоиздир.

Кучланишларнинг ўзгариш диапазони катта ва юкламалар қувватларининг кучланишга нисбатан нолиний боғлиқлиги бўлган тармоқлар

режимларини ҳисоблашда юкламалар доимий қаршилик $R_{\text{юклама}}$ ва $X_{\text{юклама}}$ сифатида кўрсатилиши мумкин. Юкламаларнинг қаршиликлари шундай танланадики, улардаги қувват йўқотишлари истеъмолчилар юкламаларига мос келсин.



Расм – 5.3. Юкламаларни тасвирлаш турлари: 1, 2 — статик хусусиятлар билан; 3, 4 — доимий қувват билан; 5 — доимий қаршилик билан

5.4-расмда юкламаларнинг алмаштириш схемаси параллел (а) ва кетма-кет (б) уланишдаги $R_{\text{юклама}}$ ва $X_{\text{юклама}}$ кўрсатилган. Параллел уланишда актив қаршилик $R_{\text{юклама}}$ юкламаларнинг актив қуввати бўйича, реактив қаршилик $X_{\text{юклама}}$ эса юкламаларнинг реактив қуввати бўйича ҳисобланади:

$$R_{\text{юклама}} = \frac{U^2}{P_{\text{юклама}}}; \quad X_{\text{юклама}} = \frac{U^2}{Q_{\text{юклама}}}; \quad (5.10)$$

Қаршиликларнинг кетма-кет уланишида уларнинг қийматлари юкламаларнинг тўлиқ қуввати модули S_n S_n дан фойдаланиб топилади:

$$R_{\text{юклама}} = \frac{U^2}{S_{\text{юклама}}} \cdot \cos\varphi_{\text{юклама}}; \quad X_{\text{юклама}} = \frac{U^2}{S_{\text{юклама}}} \cdot \sin\varphi_{\text{юклама}}; \quad (5.11)$$

Юкламаларни доимий қаршилик Z_n сифатида кўрсатишда қувват кучланишнинг квадратиға тўғри пропорционал равишда ўзгаради (5.3-расм, 5-эгри чизиқни қаранг). Юкламаларни доимий қувват сифатида кўрсатиш хатоси уни доимий қаршилик сифатида кўрсатишдан кам бўлмаса-да, 5.3-расмдан кўринадики, ҳисоблашларда сўнги усул камроқ қўлланилади. Бу

пасайган кучланишлар билан тавсифланувчи «оғир» электр режимларида юкламаларни доимий қаршилик сифатида белгилаш асоссиз оптимистик натижа бериши билан изоҳланади.

Юкламаларни тугунда ўзгармас ток сифатида кўрсатиш усули ҳам маълум. Бироқ, бу ҳолда токнинг тугундаги кучланишга боғлиқлиги ҳисобга олинмагани учун сезиларли хато қўйилади.

Юкламаларни аралаш шаклда кўрсатиш кенгроқ тарқалган: доимий қаршилик (ўтказувчанлик) ва ўзгармас ток сифатида (5.5-расм), бунда юкламаларнинг қуввати қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$\underline{S} = \dot{U} \left(\sqrt{3} \dot{I}_{\text{юклама}} + \frac{\dot{U}}{Z} \right) \quad (5.12)$$

Юкламалар токи векторини координата ўқлари бўйича парчалашда $\dot{I}_{\text{юклама}} = \dot{I}'_{\text{юклама}} - j\dot{I}''_{\text{юклама}}$, юкламалар ўтказувчанлигини комплекс шаклда $\underline{Y}_{\text{юклама}} = G_{\text{юклама}} - jB_{\text{юклама}}$ сифатида кўрсатиб ва ҳақиқий ўқни $\dot{U}$, вектори билан мослаштириб, қувватларнинг кучланишга боғлиқлигининг аналитик ифодаларини олиш мумкин:

$$P_{\text{юклама}} = \gamma_1 + \gamma_2 U^2; Q_{\text{юклама}} = \gamma'_1 + \gamma'_2 U^2, \quad (5.13)$$

бу ерда

$$\gamma_1 = \sqrt{3} \cdot \dot{I}'_{\text{юклама}}; \quad \gamma_2 = G_{\text{юклама}}; \gamma'_1 = \sqrt{3} \dot{I}''_{\text{юклама}} \quad (5.14)$$

Коэффициентларнинг (5.14) рационал яқинлаштиришларини статик хусусиятларнинг иш диапазонида математик моделлаштириш усулларидадан фойдаланиб танлаб олиш мумкин. Кўрсатилган юкламаларни тасвирлаш усули мураккаб электр тизимлари схемаларининг режимларини тугун кучланишлари тенгламалари усулидан фойдаланиб ҳисоблаш учун мақсадга мувофиқдир. Бу усул юкламаларнинг статик хусусиятларини ҳисобга олиш имконини беради ва шу билан бирга ечиладиган тенгламалар тизимининг чизиқлилигини сақлайди.

5.4. Электр тармоқларнинг ҳисоб-китоб схемаларида манбаларни тасвирлаш

Электр тармоқлари ҳудудининг мустақил режимларини ҳисоблашда электр юкламаларини таъминловчи манбалар сифатида энергетика тизими электр станцияларининг синхрон генераторлари хизмат қилади. Синхрон генераторнинг энг содда алмаштириш схемаси 5.6-расмда кўрсатилган. Агар генератор шиналаридаги линия ёки фазалараро кучланиш вектори $\overline{U}_r$ ни

модуль шаклида ва нол бурчак билан $\overline{U}_r = U_r \cdot \angle 0^\circ = U_r e^0 = U_r$ деб тасаввур қилинса, унда генераторнинг ЭЮКЛАМА қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\dot{E}_q = \dot{E}_r = E_r \cdot \angle \delta^\circ = E_r e^{\delta} = E_r (\cos \delta + j \sin \delta), \quad (5.15)$$

бу ерда генератор статоридаги фаза токи

$$i_r = \frac{\dot{E}_r - \dot{U}_r}{j\sqrt{3} \cdot X_r} \quad (5.16)$$

Энди (5.15) ва (5.16) ифодалардан фойдаланиб, синхрон генератор шиналаридаги уч фазали умумий қувват $\underline{S}_r$ учун ифода топиш мумкин:

$$\begin{aligned} \underline{S}_r = P_r + jQ_r &= \sqrt{3} \cdot \dot{U}_r \cdot i_r \sqrt{3} \cdot \dot{U}_r \frac{\dot{E}_r - \dot{U}_r}{-j\sqrt{3} \cdot X_r} = jU_r \frac{E_r (\cos \delta - j \sin \delta) - U_r}{X_r} = \\ &= \frac{E_r \cdot U_r}{X_r} \sin \delta + j \left(\frac{E_r \cdot U_r}{X_r} \cos \delta - \frac{U_r^2}{X_r} \right) \end{aligned} \quad (5.17)$$

Кейинчалик, генераторнинг актив ва реактив қувватлари учун ифодаларни олиш мумкин:

$$P_r = \frac{E_r \cdot U_r}{X_r} \sin \delta; \quad (5.18)$$

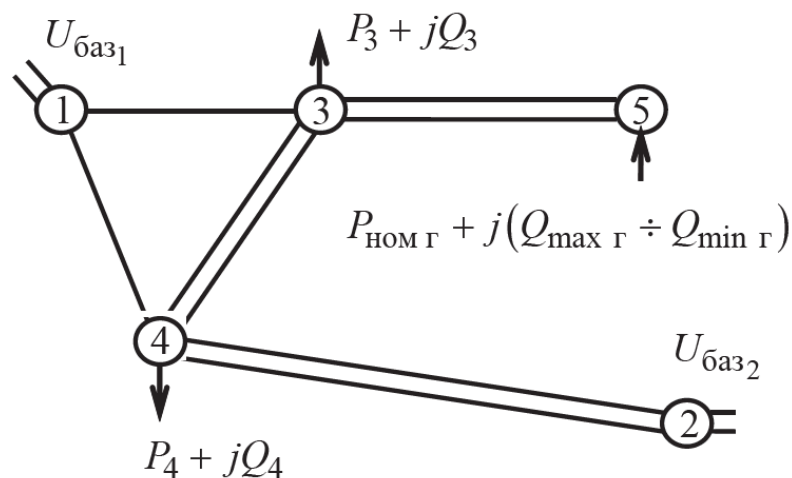
$$Q_r = \frac{E_r \cdot U_r}{X_r} \cos \delta - \frac{U_r^2}{X_r}. \quad (5.19)$$

Электр тармоғи туманининг мустақил режимларини ҳисоблашда энергетика тизими электр станцияларининг синхрон генераторларига мувофиқ манбалар ечилган масала шартларига қараб турли усуллар билан белгиланиши мумкин. Бунинг учун улар чекланган ва чекланмаган қувватга эга бўлган манба моделларидан фойдаланишлари мумкин. 5.7-расмда тармоқ туманининг схемаси келтирилган, унда мустақил режимнинг ҳисоб-китоби амалга оширилади.

Кўриб чиқиладиган электр тармоғи тумани учун чекланмаган қувват манбалари сифатида қўшни кучли энергетика тизимлари билан боғланган бир ёки бир неча нуқта хизмат қилиши мумкин. Бу таъминотчи энергетика тизимларининг қувватлари кўриб чиқиладиган тармоқ туманининг юкламалари ва электр станциялари қувватлари билан солиштирганда шу қадар каттаки, тармоқ туманининг юкламалари ва электр станциялари

режимидаги ҳар қандай ўзгаришлар таъминотчи энергетика тизимларининг ишлаш режими параметрларига таъсир қилмайди.

Кучли энергетика тизимларини чекланмаган қувват манбалари сифатида тасаввур қилиш реал жараённинг идеаллаштирилишидир, чунки режим параметрларининг ҳар қандай ўзгариши бутун тармоққа таъсир кўрсатади. Аммо таъминотчи энергетика тизимларининг мустақил режим параметрларининг ўзгаришлари тармоқ тугунлари қувватлари ўзгарганда жуда кичик (таъминотчи энергетика тизимларининг мустақил режим параметрларини ҳисоблаш аниқлигидан кам) бўлиб, уларни эътиборсиз қолдириш.



Расм – 5.7. Чекланмаган қувват манбаларига эга тармоқ (1, 2-тугунлар) ва чекланган қувват манбаи (5-тугун).

Шундай қилиб, ушбу электр тармоғи тумани учун таъминотчи кучли энергетика тизимлари билан боғланган тугунларни чекланмаган қувват шиналари сифатида кўриб чиқиш мумкин. Бундай тугунлар актив ва реактив қувватлар бўйича баланслаштирувчи деб аталади.

Чекланмаган қувват манбаларидан фойдаланиш мустақил режимларни ҳисоблашда генератор шиналарида ўзгармас кучланиш векторини (кучланиш модули ва бурчагининг ўзгармаслиги), $\dot{U}_Г = \text{const}$ деб белгилашга мувофиқ келади. Бунда ўзгарувчан величиналар генераторнинг актив ва реактив қувватлари бўлади: $\underline{S}_Г = P_Г + jQ_Г = \text{var}$.

Агар электр тармоғининг мустақил режими ҳисоб-китобида битта базис тугуни белгиланса, у одатда нол бурчак билан кучланиш модули сифатида берилади: $U_{баз}$. Зарурат бўлса, тармоқда бир неча базис тугунларини киритиш

мумкин, улар турли модуль ва кучланиш бурчаклари билан белгиланиши мумкин: $U_{\text{баз1}}, U_{\text{баз2}}$ (5.7-рasm, 1 ва 2-тугунлар).

Кўриб чиқиладиган электр тармоғи тумани учун чекланган қувват манбалари сифатида кўриб чиқиладиган худудда жойлашган бир ёки бир неча электр станциялари хизмат қилиши мумкин (5.7-рasm, 5-тугун). Бунинг учун электр станциялари ва тармоқ худуди юкламалари тугунларининг ишлаш режимларининг ўзаро таъсирини, манбалар ва электр энергияси истеъмолчилари қувватларининг ҳар қандай нисбатида ҳисобга олиш керак, чунки режим параметрларининг ҳар қандай ўзгариши тармоққа умумий таъсир кўрсатади.

Бу ҳолда электр тармоғи туманининг мустақил режимларини ҳисоблашда электр станциялари икки усулда белгиланиши мумкин.

Биринчи усул — манбани ўзгармас актив ва реактив қувватлар билан белгилаш: $\underline{S}_r = P_r + jQ_r = \text{const}$. Бундай ҳолда мустақил режимларни ҳисоблашда манбанинг тасвири ўзгармас қувватли юкламалар тасвиридан фақат қувватлар ишораси билан фарқ қилади ва генератор шиналаридаги кучланиш ҳисоблаш жараёнида аниқланади: $U \& = \text{var}$. Генераторларнинг бу усулда тасвири (ўзгармас реактив қувватни белгилаш) мустақил режимларни бошқаришнинг реал жараёнига мувофиқ келмайди, лекин баъзан чегара режимларини ҳисоблашда ёки генераторларнинг чегара ёки номинал қувват қийматлари берилганда тармоқ ишини таҳлил қилишда қўлланилади.

Иккинчи усул — манбани ўзгармас актив қувват билан: $P_r = \text{const}$ ва генератор шиналарида ўзгармас кучланиш модули билан белгилаш: $U_r = \text{const}$. Бунда кучланиш фазаси δ ва генераторнинг реактив қуввати ўзгарувчан катталиклар бўлади: $Q_r = \text{var}$, $\delta = \text{var}$. Бу ҳолда генератор тугуни реактив қувват бўйича баланслаштирувчи сифатида қаралади. Худди шу усулда синхрон компенсатор ўрнатилган, реактив қувват бўйича баланслаштирувчи тугун ҳам белгиланиши мумкин, бунда $P_r = 0$.

Шуни ёдда тутиш керакки, синхрон генераторнинг нормал ишлашини таъминлаш учун реактив қувватнинг ўзгариш чегаралари Q_{max} дан Q_{min} гача диапазонда чекланиши керак.

Генераторнинг максимал реактив қуввати Q_{max} генератор статорининг максимал токи билан чекланади, $I_r \leq I_{\text{ном.г}}$, ва минимал (номинал) $\cos\varphi_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/S_{\text{ном}}$ билан аниқланади. Генераторнинг номинал актив қуввати ўзгармаслиги шартида $\cos\varphi$ нинг янада пасайиши генератор томонидан реактив ва шу билан бирга умумий қувватнинг кўпайишига олиб келади. Бу эса генераторнинг статор чўлғамидаги токнинг номинал қийматдан ошишига ва генераторнинг узоқ муддатли бундай режимда ишлашида юқори иссиқликка олиб келади. Шу сабабли, мустақил режимларни ҳисоблашда

максимал реактив қувват номинал $\cos\varphi_{\text{ном}}$ ва генератор токи $I_{\text{ном}}$ га мувофиқ Q_{max} қиймати билан чекланади.

Генераторнинг минимал реактив қуввати Q_{min} генератор роторининг минимал токи билан чекланади ва максимал $\cos\varphi_{\text{max}}$ билан аниқланади. Генераторнинг қўзғалиш токи янада пасайса, статор чўлғамининг электр юклама сезиларли даражада пасайиб, генератор томонидан актив қувватнинг номиналдан пастга тушишига олиб келади.

Шундай қилиб, мустақил режимларни ҳисоблашда чекланган қувват манбаларининг актив қуввати номиналга тенг деб қабул қилинади, реактив қувват эса номинал $\cos\varphi_{\text{ном}}$ га мувофиқ максимал Q_{max} қийматдан максимал $\cos\varphi_{\text{max}} \approx 0.95$ га мувофиқ минимал Q_{min} қийматгача бўлган диапазонда чекланади, бу шартларда генератор номинал актив қувват билан узок муддат ишлай олади.

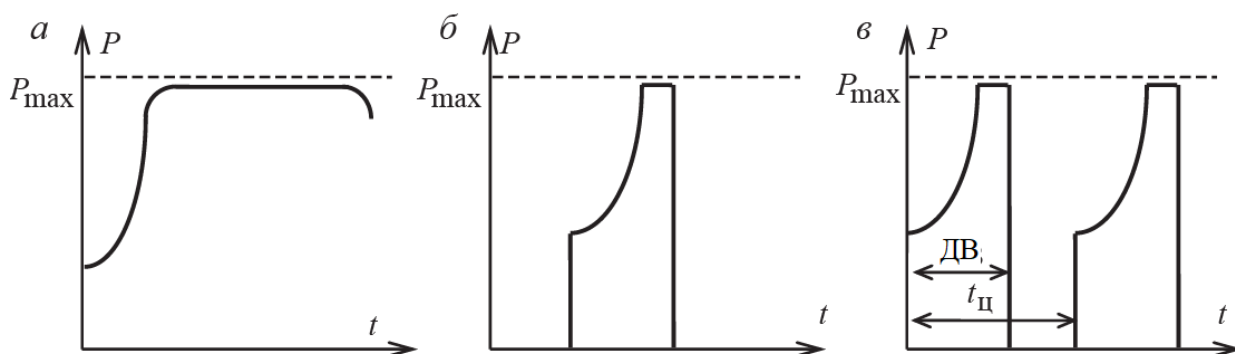
Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Электроэнергетиканинг асосий мақсади нима ва электр тармоқларининг ўрнатилган режимларини таҳлил қилишда юкламалар қандай ҳисобга олинади?
2. Электр юкламаларини ҳисоблашнинг асосий усуллари қайси гуруҳларга бўлинади ва уларнинг мисолларини келтиринг?
3. Комплекс юкламаларнинг максимал қуввати қандай формула билан ҳисобланади ва бу формуладаги коэффицентларнинг маъноси нима?
4. Электр тармоқларининг ҳисобий схемаларида юкламалар қандай шаклларда тасвирланади ва уларнинг афзалликлари нима?
5. Юкламаларнинг статик хусусиятлари нима ва улар қандай турларга бўлинади?
6. Комплекс юкламаларнинг тахминий таркиби қандай ва асосий қисми нима?
7. Юкламаларни доимий қувват сифатида тасвирлашнинг афзалликлари ва чекловлари нима?
8. Юкламаларни доимий қаршилик сифатида тасвирлаш формуласи қандай ва у қандай ҳолатларда қўлланади?
9. Юкламаларни аралаш шаклда (доимий қаршилик ва ўзгармас ток) тасвирлаш формуласи қандай?
10. Чекланган ва чекланмаган қувват манбаларининг фарқи нима ва улар қандай тасвирланади?

6. ЭЛЕКТР ЮКЛАМАЛАРНИНГ ГРАФИКАСИ

6.1. Юкламалар графиклари турлари

Электростанциялар маҳсулоти — электр ва иссиқлик энергияси — нинг ўзига хос хусусияти шундаки, уни амалий тарзда захира қилиб бўлмайди. Истеъмол ва ишлаб чиқариш бир вақтда амалга оширилади, яъни ҳар бир вақт лаҳзасида барча манбаларнинг қуввати барча юкламалар қувватига ва тармоқлардаги йўқотишларга тенг бўлади. Электр энергияси тизимларидаги манбалар ва юкламалар қувватларининг вақтга боғлиқ ўзгаришлари юклама графиклари билан ифодаланади. Юклама графиклари — бу актив $P(t)$, реактив $Q(t)$ ва тўлиқ $S(t)$ қувватларнинг вақтга нисбатан кўрсаткичларидир [7–10]. Алоҳида электр қабул қилувчиларнинг қуввати ҳар бир вақт лаҳзасида уларнинг иш режимига боғлиқ бўлиб, бу режимлар доимий, қисқа муддатли ёки такрорий-қисқа муддатли бўлиши мумкин. 6.1-расмда шундай иш режимларига эга бўлган электр қабул қилувчиларнинг актив қувватларининг тахминий графиклари кўрсатилган.



Расм – 6.1-. Юклама графиклари: а — доимий ўзгармас режим; б — қисқа муддатли режим; в — такрорий-қисқа муддатли режим.

Электр энергетика тизимларининг иш режимларини таҳлил қилишда алоҳида электр қабул қилувчиларнинг графикларини кўриб чиқиш жуда қийин, чунки уларнинг ҳар бир вақт лаҳзасидаги ҳолати, демак, улар истеъмол қиладиган қувват тасодифий микдордир. Аммо бу талаб қилинмайди, чунки электр энергияси истеъмолчилари одатда, 5-бобда кўрсатилганидек, электр тармоғининг тугунларидаги комплекс юкламалар сифатида кўриб чиқилади, бу эса кўплаб электр қабул қилувчиларнинг йиғиндисини ташкил қилади. Тармоқ тугунларининг комплекс юкламаларининг қувватлари кўпроқ барқарорликка эга, чунки алоҳида

электр қабул қилувчиларнинг тармоқ тугунининг умумий қувватига таъсири камаяди.

Электр тармоғининг тугунлари юкламалар графиклари электр энергияси истеъмолининг ҳар бир вақт лаҳзасидаги ўзгаришлар қонуниятларини ифодалайди ва корхона, туман, энергетика тизими бўйича умумий ҳолатда муайян статистик қонуниятларга бўйсунди. Комплекс юкламалар графикларини билиш энергетика ишлаб чиқаришини режалаштириш, яъни захирани аниқлаш, энергетика объектлари ва тармоқларни лойиҳалаштириш, керакли қувватни аниқлаш, иқтисодий ва ишончли электр таъминотини таъминлаш учун зарурдир.

Вақт интервалининг давомийлигига кўра, кўпинча ишлаб чиқариш, одамлар ҳаёти ва космик жараёнларнинг циклли хусусиятига мос келадиган графиклар тузилинади. Шу сабабли, ушбу жараёнлар даврларига, яъни кунлик, ҳафталик, ойлар, мавсумлар ва йиллар бўйича графикларни ажратиб кўрсатиш мақсадга мувофиқдир.

Электр тармоғининг тугунлари юклама графиклари кўриб чиқиладиган Т вақт даври учун актив, реактив ва тўлиқ қувватларнинг вақтга нисбатан ўзгаришларини тавсифлайди ва улар жадвал, график ёки аналитик шаклларда тақдим этилиши мумкин. Бунда қувватлар номланган бирликларда ёки кўриб чиқиладиган Т вақт давридаги максимал қийматга нисбатан фоизларда (нисбий бирликларда) кўрсатилиши мумкин.

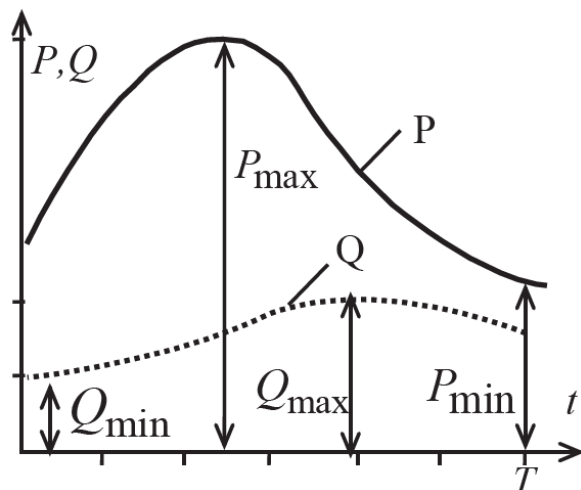
Юклама графикларини жадвал шаклида тақдим этиш одатда тугунлар қувватларини муайян қисқа вақт интерваллари Δt орқали ўлчаш орқали амалга оширилади. Масалан, 6.1-жадвалда юкламанинг актив қувватининг кунлик графиклари ($T = 24$ соат) соатлик интервалда ($\Delta t = 1$ соат) ўлчовлар асосида тузилган.

Жадвал 6.1

Кунлик актив қувват графигининг тақдимот шакли

Вақт интервали Δt , с	Ўлчов бирликлари		
	Р, Вт	Р, %	Р, нисбий бирликлар
0-1	12,0	50	0,5
1-2	3,6	30	0,3
2-3	8,0	30	0,3
...	...	...	...
10-11	24,0	100	1
...	...	...	...
23-24	12,0	50	0,5

Юклама графикларини график шаклида тақдим этиш кенг тарқалган. 6.2-расмда юкламанинг актив $P(t)$ ва реактив $Q(t)$ қувватлари графиклари кўрсатилган. Умуман олганда, бу графиклар шакл жиҳатидан бир-бирига мос келмаслиги мумкин. Бундан ташқари, максимал $P_{\max}$, $Q_{\max}$ ва минимал $P_{\min}$, $Q_{\min}$ актив ва реактив қувватлар қийматлари вақт жиҳатидан ҳам мос келмаслиги мумкин. Бу комплекс юклама тугунининг электр қабул қилувчилари турли хил қувват коэффициентларига ($\cos\varphi = \text{var}$) эга бўлиши ва кўриб чиқиладиган T вақт даврида комплекс юклама тугунининг электр қабул қилувчилари таркиби ўзгармаслиги билан изоҳланади.



Расм – 6.2. Юкламанинг актив ва реактив қувватлари

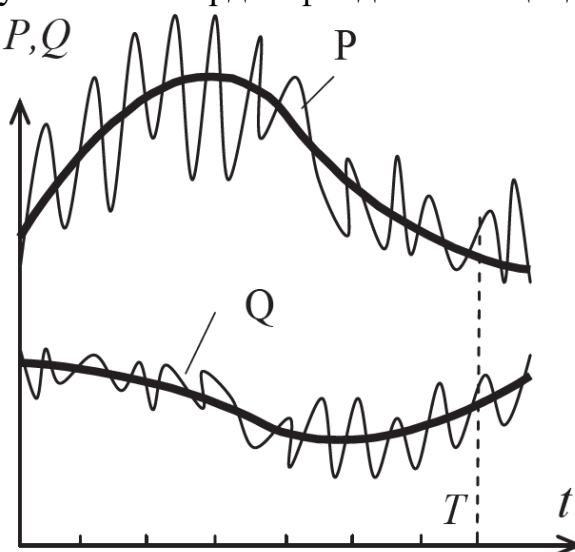
Графикларнинг аналитик тақдими қувватларнинг вақтга боғлиқ функция сифатида ёзилишни назарда тутди: $P = P(t)$; $Q = Q(t)$; $S = S(t)$.

Юклама графикларини аналитик шаклда тақдим этиш энг жозибадор усул бўлиб, лекин графикларнинг аналитик шаклини танлаш ва уларнинг ноустуворлиги туфайли амалда қийинчилик билан амалга оширилади. Бундан ташқари, юклама

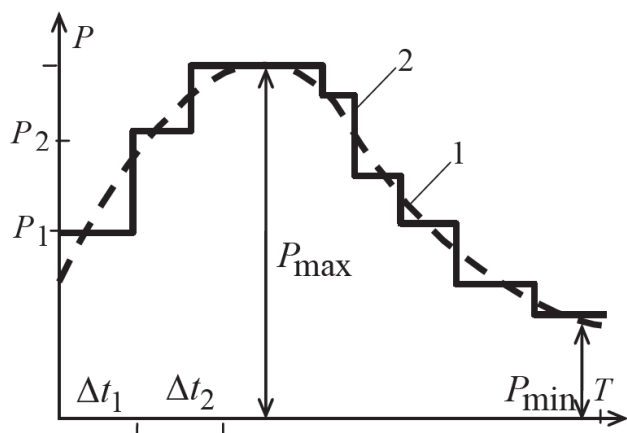
графикларининг аналитик тавсифи алоҳида электр энергияси истеъмолчиларига яқинлашган сари қийинлашади.

Узлуксиз юклама графикларини актив ёки реактив қувватларни юқори дискретлик билан қайд этувчи қайд қилувчи асбоблардан фойдаланган ҳолда олиш мумкин. Бунда графикда P, Q юкламанинг қисқа муддатли тебранишлари акс этади, бу 6.3-расмда кўрсатилган.

Одатда узлуксиз график сифатида регистратор ёзувлари асосида олинган ўртача график ишлатилади. Энг катта қизиқиш юкламанинг актив $P(t)$ қуввати графикларига тегишли. Кўпинча комплекс юклама тугунининг электр қабул қилувчилари таркиби ўзгармас ва, демак, қувват коэффициенти вақт давомида доимий ($\cos\varphi = \text{const}$) деб



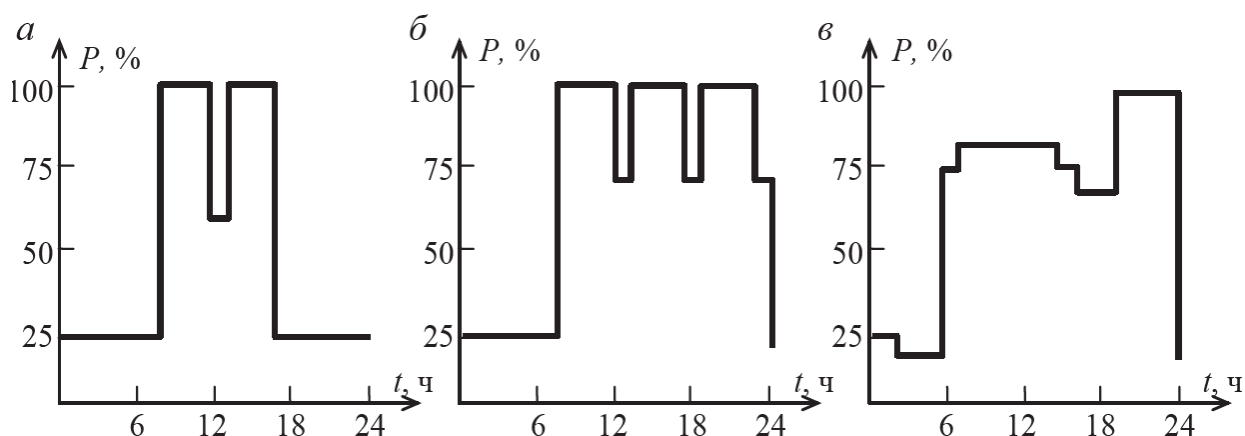
Расм – 6.3. Юклама графиклари ва уларнинг ўртача қийматлари



Расм – 6.4. Юклама графиклари ва уларнинг ўртача қийматлари

алмаштирилади, бу 6.4-расмда кўрсатилган. Бунда кичик вақт интервали Δt да қувват ўзгармас деб ҳисобланади: $P(t) = const$.

Функционал жиҳатдан графиклар эксплуатацион ва лойиҳа графикларига бўлинади [3, 5]. Эксплуатацион графиклар эксплуатация жараёнида асбобларнинг аниқ кўрсаткичлари асосида муайян вақт интервалларида тузилинади. Масалан, электростанцияларда ҳар куни аниқ график тузилади, барча электростанцияларнинг графиклари энергетика тизимининг умумий графигини олиш учун йиғилади. Ушбу графикларни таҳлил қилиш юкламанинг динамикасини ўрганиш ва уни прогноз қилиш имконини беради. Шундай графиклар истеъмолчилар — саноат корхоналари, транспорт, уй-жой ва қишлоқ хўжалиги юкламалари учун ҳам тузилади. Бу турли хил истеъмолчилар учун типик норматив графикларни яратиш имконини беради (6.5-расм).



6.5-расм. Бир сменали (а) ва икки сменали (б) корхоналар, коммунал юк (в) учун типик юк графиклари

ҳисобланади. Бундай ҳолда актив ва реактив қувватлар графиклари нисбий бирликларда ($P^* = P/P_{\max}$, $Q^* = Q/Q_{\max}$) шакл жиҳатидан мос келади.

Юклама графигини аналитик шаклда тақдим этиш жуда қийин эканини инобатга олиб, амалий фойдаланишда одатда узлуксиз график аппроксимация қилинади ва у зинасимон график билан

Типик графиклар юкламаларни лойиҳалаштириш ва ҳисоблаш усуллари яратишга имкон беради [5, 6]. Лойиҳа графиклари энергетика тизимлари ва уларнинг туманлари, подстанциялар ва бошқаларни ривожлантиришни режалаштиришда, кўпинча реал эксплуатацион графикларни акс эттирувчи типик (норматив) графиклардан фойдаланган ҳолда тузилади.

- Энергетик тизимларнинг юклама графиклари лойиҳа ва эксплуатация масалаларини ҳал қилишда қўлланилади, булар қуйидаги мақсадлар учун хизмат қилади:
- Истеъмолчиларни узлуксиз, ишончли ва иқтисодий электр таъминоти билан таъминлаш, бу эса куттилаётган режимларда ишловчи ускуналарнинг оптимал таркибини олдиндан аниқлаш имконини беради;
- Электростанцияларнинг кутилган ишлаб чиқариши, турли хил ёқилғи ва сувга бўлган эҳтиёжни аниқлаш. Бу, айнан, ГЭСнинг комплекс фойдаланилишида муҳим аҳамиятга эга;
- Электростанциялар, электр тармоқлари ва истеъмолчилар ускуналарини таъмирлашни режалаштириш;
- Бирлашган энергетик тизимларнинг графикларини қисиш бўйича тадбирлар ўтказиш учун тавсиялар ишлаб чиқиш (таътиллارни кўчириш, сменалар сонини кўпайтириш, тариф жадваллари, мавсумий истеъмолчиларни улаш);
- Энергия балансларини тузиш ва тизимнинг турли тугунларида зарур бўлган генерация қувватларини (актив ва реактив) аниқлаш учун типик графикларни ишлаб чиқиш.

6.2. Кунлик график ва унинг хусусиятлари

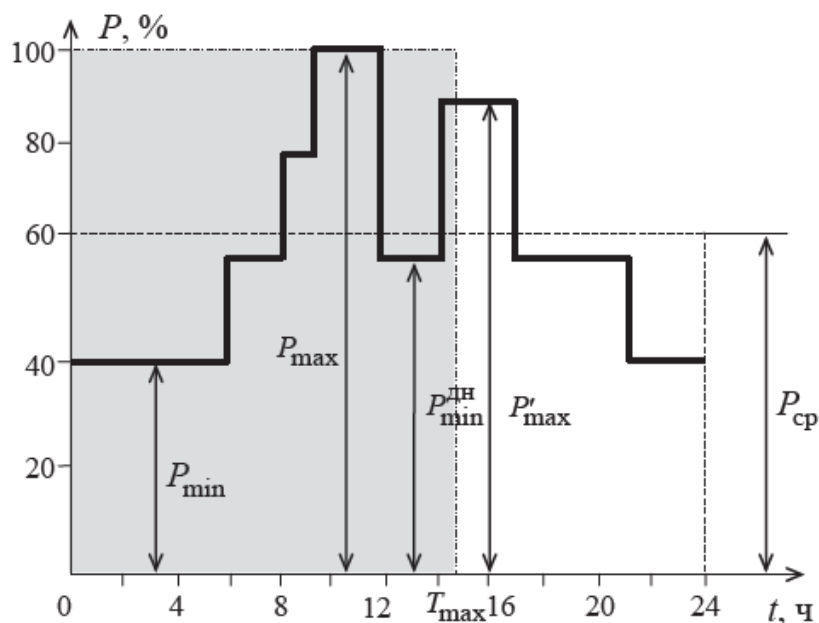
Кунлик график $T = 24$ соат даврга эга бўлган узлуксиз цикли графикнинг хусусий ҳолати бўлиб, унинг асосий кўрсаткичлари T даврли бошқа ҳар қандай график учун аниқлангани каби аниқланади [3, 5, 6].

Кунлик зинасимон юклама (ишлаб чиқариш) графиги 6.6-расмда кўрсатилган.

Узлуксиз ёки зинасимон $P(t)$ кунлик график эгри чизиғи билан чегараланган майдон юкламаларнинг кунлик электр энергияси истеъмолига (электростанциялар учун кунлик электр энергияси ишлаб чиқарилишига) мос келади W .

Исталган T даври учун электр энергияси ишлаб чиқариш ёки истеъмол қилишни аниқлаш учун ифода қуйидаги кўринишга эга

$$W_T = \int_0^T P(t)dt = \sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i \quad (6.1)$$



6.6-расм. Кунлик юк графиги

Агар шу энергияни максимал қувват $P_{\max}$ билан ишлаб чиқариш (ёки истеъмол қилиш) керак деб ҳисобланса, бу $T_{\max}$ соатда амалга оширилади. Узлуксиз график учун формула қуйидагича:

$$P_{\text{ўрт}} = \frac{W_T}{T} = \int_0^T \frac{P(t)dt}{T} \quad (6.2)$$

Агар шу энергияни максимал қувват $P_{\max}$ билан ишлаб чиқариш (ёки истеъмол қилиш) керак деб ҳисобланса, бу $T_{\max}$ соатда амалга оширилади.

Узлуксиз график учун формула қуйидагича

$$T_{\max} = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^T P(t)dt = \frac{W_T}{P_{\max}} \quad (6.3)$$

зинасимон графикда

$$T_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i}{P_{\max}} \quad (6.4)$$

бу ерда $T_{\max}$ — максимал юкламадан фойдаланиш соатлари сони, $T_{\max}$ одатда T дан кичик бўлиб, тўлиқ ишлатилмаган имкониятларни кўрсатади.

Максимал юкдан фойдаланиш соатлари сони $T_{\max}$ нинг T давр узунлигига нисбати максимал юкдан фойдаланишнинг нисбий соатлар сони $T_{\max}/T$ ёки графикнинг тўлдириш коэффициенти k_T билан ифодаланади:

$$k_T = \frac{T_{\max}}{T} = T_{\max. \text{ нисб. }} = \frac{P_{\text{ўрт.}}}{P_{\max}} \quad (6.5)$$

Кўпинча тармоқдаги электр энергияси йўқотишларини баҳолаш учун юклама графикнинг шакл коэффициенти k_ϕ ишлатилади, у қуйидаги формула орқали аниқланади [5, 8]:

$$k_\phi = \sqrt{\frac{1}{P_{\text{ўрт.}}^2 \cdot T} \sum_{i=1}^k P_i^2 \cdot \Delta t_i} \quad (6.6)$$

Йилнинг ҳар бир куни учун кунлик юк графиклари бир-биридан фарк қилади, бу юкнинг тебранишлари билан боғлиқ бўлиб, ҳафта кунлари, ҳафталар ва йил ойларининг фарқлилигидан келиб чиқади. Шу сабабли, йил давомида 365 та турли кунлик графикларни тузиш мумкин. Аммо кўпинча муҳандислик масалаларини ҳал қилишда тўртта график — қиш, ёз, куз ва баҳор учун етарли бўлади. Баъзи ҳолларда эса фақат иккита график — қиш ва ёз учун (Республиканинг ўрта зонаси учун ёзнинг давомийлиги 252 кун, қиш — 113 кун) билан чекланилади [9].

Кун давомидаги энг катта юк кунлик максимум $P_{\max}$ деб аталади, йил давомидаги энг катта юклама эса йиллик максимум деб аталади. $P_{\max}$ ни электростанциялардаги ускуналарнинг ўрнатилган қуввати $P_{\text{ўрн.}}$ билан адаштирмаслик керак, бу қувват захира қувватини ҳисобга олиб танланади. $P_{\text{ўрн.}}$ қийматига $k_{\text{ўрн.}}$ — ўрнатилган қувватдан фойдаланиш коэффициенти мос келади:

$$k_T = \frac{W_T}{P_{\text{ўрн.}} \cdot T_{\max}} \quad (6.7)$$

Кун давомида $P_{\min}$ нинг $P_{\max}$ га нисбати графикнинг нотекислик коэффициенти α ёки минимум коэффициенти $k_{\min}$ ни аниқлайди:

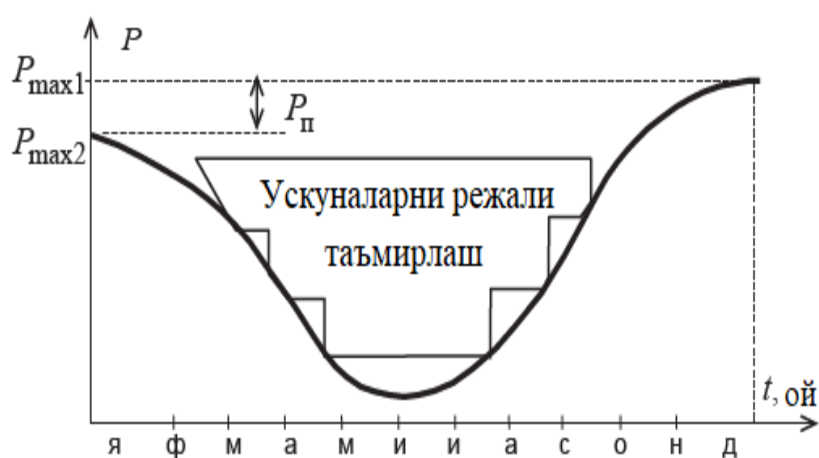
$$\alpha = k_{\min} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \leq 1 \quad (6.8)$$

Коэффициент α максимал қувват $P_{\max}$ дан фойдаланишни кўрсатади, яъни кун давомида юкламанинг пасайиши ва энг юқори чўққиларини ифодалайди ва графикнинг муҳим хусусияти ҳисобланади.

Кунлик юклама графигининг асосий кўрсаткичларини аниқлаш учун келтирилган формулалар T даврли исталган график учун тўғридир.

6.3. Йиллик графиклар ва уларнинг хусусиятлари

Кунлик юк графикларидан ташқари, ҳафталик, ойлик, мавсумий ва йиллик графиклар тузилади, тадқиқ қилинади ва умумлаштирилади. Ушбу цикларда кунлик графиклар кўп жиҳатдан ўхшаш бўлгани учун, ордината бўйича кунлик максимумлар қайд этилган графикни тузиш қизиқарлидир. Амалда кўпинча ойлик максимумларнинг йиллик графиклари ва давомийлик бўйича йиллик графиклар қўлланилади [3, 5]. 6.7-расмда йил давомидаги ойлик максимумлар графиги кўрсатилган.



Расм – 6.7. Юкламанинг ойлик максимумларининг йиллик графиги

Графикдан кўриниб турибдики, 31 декабрдаги максимал қувват ($P_{\max 1}$) шу йилнинг 1 январдаги максимал қувватдан ($P_{\max 2}$) катта бўлиши мумкин, бу истеъмолчилар ва электростанцияларнинг қуввати $P_{\text{ўрн.}}$ нинг йил давомидаги ўсиши билан изоҳланади. Ойлик максимумлар графиги йилнинг турли даврларида электростанциялар ва подстанциялардаги ускуналарга бўлган эҳтиёжни аниқлаш, яъни энергетик тизимлар ускуналарини таъмирлашни режалаштириш имконини беради.

Ойлик максимумларнинг йиллик графигидан ташқари, йил давомидаги турли юklar билан установка ишлаш давомийлигини кўрсатувчи давомийлик бўйича йиллик графиклар ҳам тузилади. Йиллик давомийлик графигини тузиш учун йилнинг барча хос даврлари учун кунлик юк графиклари талаб қилинади. Қуйида давомийлик бўйича йиллик графикни тузиш мисоли келтирилган (6.8-расм). Давомийлик графигининг ўртача ҳисоб-китоблари 6.2-жадвалда умумлаштирилган, натижалар эса 6.9-расмда тасвирланган.

Графикни тузиш (6.9-расм) йил давомида максимал юк қуввати P_1 нинг давомийлигини аниқлашдан бошланади. Бунинг учун унинг кун давомидаги давомийлиги қишда (8 соат) ва ёзда (0 соат) аниқланади ва тегишлича қиш ва ёз кунлари сонига кўпайтирилади (6.2-жадвалнинг 1-қаторига қаранг).

Шундай қилиб, P_1 юки йил давомида 1704 соат давом этади:

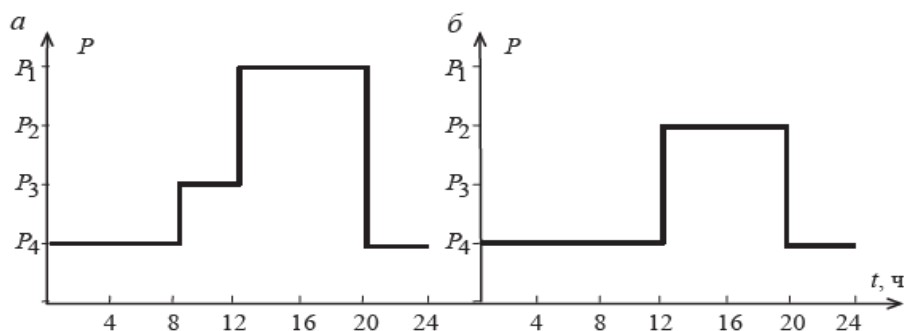
$$T_1 = 8 \cdot 213 + 0 \cdot 152 = 1704 \text{ ч.}$$

Ушбу жараён $P_2, P_3, \dots, P_4$ юклама қийматлари учун такрорланади.

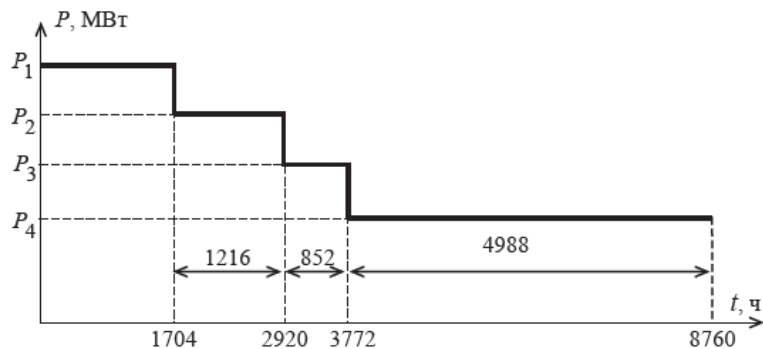
Жадвал 6.2

Давомийлик бўйича йиллик графикни тузиш

№ т/ р	Юклама даражас и, МВт	Юкламанинг давомийлиги, ч				
		Қишта		Ёзда		Жами йилига
		сутка давомида	жами	сутка давомида	жами	
1	P_1	8	$8 \cdot 213 = 1704$	0	0	1704
2	P_2	0	0	8	$8 \cdot 152 = 1216$	1216
3	P_3	4	$4 \cdot 213 = 852$	0	0	852
4	P_4	12	$12 \cdot 213 = 2556$	16	$16 \cdot 152 = 2432$	$2556 + 2432 = 4988$
					Итого:	8760



6.8-расм. Қишки (а) ва ёзги (б) юкламанинг кунлик графиклари



6.9-расм. Давомийлик бўйича йиллик график

Давомийлик бўйича йиллик график учун, худди кунлик графикдаги каби, юклар $W_{\text{йил}}$, $T_{\text{max}}^{\text{йил}}$, $P_{\text{ўрт.}}^{\text{йил}}$, k_3 билан аниқланади. Давомийлик бўйича йиллик графиклар энергетик тизимлар ва уларнинг элементларининг мавжуд ва истиқболли техник ва иқтисодий ҳолати кўрсаткичларини баҳолашда қўлланилади. Масалан, давомийлик бўйича йиллик график техник-иқтисодий ҳисоб-китобларда, хусусан, йил давомида тармоқдаги умумий энергия йўқотишларини аниқлаш, йиллик электр энергияси ишлаб чиқариш ва истеъмол қилишнинг умумий ҳажмини режалаштириш, керакли ёқилғи ҳажмларини аниқлаш ва ҳоказоларда ишлатилиши мумкин.

Режим параметрларини ҳисоблаш, қувват ва энергия йўқотишларини аниқлаш ёки электр тармоғини бир неча юклар билан таҳлил қилишда бошқа масалаларни ҳал қилишда, турли кўрсаткичларга ($\cos\varphi_i$, $T_{\text{max } i}$, $i=1, \dots, n$) эга бўлган юкламалар учун, алоҳида юк тугунлари графиклари параметрлари асосида ўртача вазнли қийматларни — $\cos\varphi_{\text{ўрт.ваз.}}$, $T_{\text{max ўрт.}}$ — ҳисоблаш зарур:

$$\cos\varphi_{\text{ўрт.ваз.}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{max } i}^2 \cos\varphi_i}{\sum_{i=1}^n S_{\text{max } i}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{max } i}^2}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{max } i}^2}{\cos\varphi_i}} \quad (6/9)$$

$$T_{\text{max ўрт.ваз.}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{max } i} T_{\text{max } i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{max } i}} \quad (6/10)$$

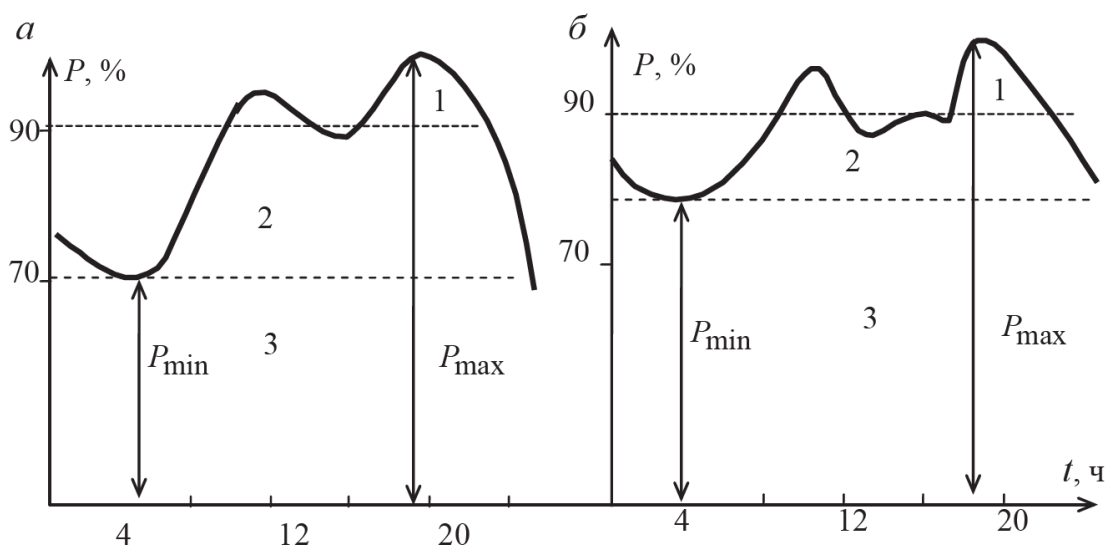
6.4.Энергетика тизимининг кунлик графикни қоплаш муаммоси

Энергетик тизимларнинг юклама графиклари кунлик, ҳафталик ва йиллик кесимларда катта нотекислик билан ажралиб туради. Бу иқлим, ишлаб чиқариш ва ижтимоий омиллар билан белгиланади.

Шу муносабат билан турли хил станциялар ҳисобига юкламани қоплашнинг техник ва иқтисодий жиҳатдан оптимал режимларини таъминлаш, истиқболда генерация қувватларининг тузилишини, уларнинг ускуналари параметрларини ва иш режимларини танлаш муаммоси юзага келади.

Кунлик графикни қоплаш алоҳида қийинчиликларни келтириб чиқаради. Булар юклама қувватининг кескин ўзгаришлари билан боғлиқ бўлиб, электростанциялар ускуналарининг маневр қобилиятига, яъни қувватни кескин ошириш ва пасайтириш қобилиятига юқори талаблар қўяди [1, 5, 7].

ЕЭЭТ ва БЭТ учун хос юк графиклари 6.10-расмда келтирилган, нотекислик коэффициентлари (6.8) а мувофиқ равишда 0,7 ва 0,8 ни ташкил қилади.



Расм – 6.10. Ягона Европа энергетик тизимининг (а) ва бирлашган энергетик тизимининг (б) юклама графиклари

Юклама графиги учта хос зонага бўлинади: чўққи (1), ярим чўққи (2), базавий (3).

Базавий қисм графикнинг тунги минимумидан пастда жойлашади ва одатда ўзгармас ёки мажбурий юклама графиги билан ишлашга мўлжалланган электростанциялар ускуналари томонидан қопланади. Бу АЭС, ТЭЦ ёки қувватли блокларга эга КЭСлардир.

Атом электростанцияларининг реакторлари (АКЭС ва АИЭМ) узлуксиз бир хил юкланиш ва электростанциянинг номинал қувватини таъминловчи бир хил иссиқлик чиқариш билан ишлайди. АЭС қувватини пасайтириш фақат иссиқликни атроф-муҳитга ташлаш орқали амалга оширилиши мумкин, бу хавфсиз ва иқтисодий жиҳатдан фойдали эмас.

ИЭМлар иссиқлик графиги бўйича ишлайди, шу сабабли уларнинг электр қуввати мажбурийдир. Қувватли блокларга эга КЭСлар иқтисодий электростанциялар бўлиб, бу уларнинг ўзгармас юк билан узлуксиз ишлашининг асосий сабабидир.

Ярим чўққи қисм тунги ва кундузги пасайишлар орасида жойлашади, ускуналарнинг 16–18 соат/кунлик бир хил юкланишини таъминлайди, аммо тунда юкломани кескин пасайтириш ва эрталаб тез юклашни талаб қилади.

Ярим чўққи қисмда ГТС, ПГУ, ГЭС ва КЭСлар ишлайди, лекин КЭС блоклари 70% гача пасайтирилган юклама билан барқарор, лекин иқтисодий жиҳатдан самарасиз ишлайди.

Чўққи қисм кундузги 3 – 4 соатлик чўққи ва кечки 6 – 8 соатлик икки тўхташ билан ускуналарнинг ишлаши билан боғлиқ.

Чўққи қисмда ГЭСлар, ГАЭСлар (агар тизимда мавжуд бўлса), газотурбинали ёки парогазли блоклар ишлайди. Энергетик тизимларнинг

чўққи юкламаларини қоплаш учун 200–300 МВт қувватли газ-мазут блокларидан фойдаланиш уларнинг иқтисодини пасайтиради.

6.10-расмда кўрсатилган энергетик тизимларнинг юклама графикларини солиштиришдан кўриниб турибдики, ЕЭЭТда электр энергияси истеъмоли бирлашган энергетика тизимига нисбатан кўпроқ нотекисликка эга. Республиканинг ғарбий туманлари учун нотекислик коэффиценти α мамлакат бўйича ўртача кўрсаткичдан анча паст бўлиб, 0,55–0,62 ни ташкил қилади. Сўнгги ўн йилда α тахминан 20% га пасайди.

Графикни яхшилаш учун қуйидаги чора-тадбирлар амалга оширилади:

- энергия талаб қилувчи истеъмолчилар-регуляторлардан фойдаланиш;
- алоҳида корхоналар графикларини ўзгартириш (сменалар сонини ўзгартириш, танаффусни кўчириш, юкнинг максимал даврида истеъмолчиларни чеклаш ва юқори тарифларни жорий қилиш).

Аммо бу чоралар муаммони тўлиқ ҳал қилмайди. Бундан ташқари, графикларнинг янада кенгайишига олиб келадиган тенденция кузатилмоқда.

Бунга сабаблар:

- уй-жой юкининг ортиши;
- иш ҳафтасининг қисқариши.

Ҳозирги вақтда режимга оид қийинчиликлар генерация қувватларининг турли хил мулк шакллари билан янада мураккаблашмоқда, лекин мобил газотурбинали ва парогазли қурилмалардан фойдаланган ҳолда тақсимланган генерация қувватларининг ортиши билан камаймоқда.

Энергетик тизимларнинг юк графикларини қоплаш муаммолари фақат комплекс тарзда ҳал қилиниши мумкин:

- генерация ускуналарининг маневр қобилиятини ошириш;
- чўққи электростанциялари ва юқори маневр қобилиятига эга махсус блоклар қуриш;
- газотурбинали ва парогазли станциялардан фойдаланиш; гидроаккумулятор электростанцияларини қуриш;
- режим чора-тадбирларини жорий қилиш ва энергетик тизимларни ягона ЭЭТга бирлаштириш.

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Электр энергиясининг ўзига хос хусусияти нима ва шу туфайли юклама графиклари нега жуда муҳим?
2. Алоҳида электр қабул қилувчилар графиклари ва комплекс юклама тугуни графиги ўртасидаги асосий фарқ нима?

3. Юклама графиклари қайси даврлар учун тузилади ва энг кўп ишлатиладиганлари қайсилари?
4. Графикнинг тўлдириш коэффиценти k_t нимани кўрсатади ва у қандай ҳисобланади?
5. Максимал юкламадан фойдаланиш соатлари сони T_{max} қандай маънога эга?
6. Юклама графигининг нотекислик коэффиценти α (ёки k_{min}) нимани кўрсатади?
7. Давомийлик бўйича йиллик график нимани кўрсатади ва у нега энг муҳим графиклардан бири ҳисобланади?
8. Кунлик юклама графигининг учта асосий зонаси қайсилар ва уларни қайси турдаги станциялар қоплайди?
9. Ўзбекистон ғарбий туманларида нотекислик коэффиценти α қанча ва сўнгги 10 йилда у қандай ўзгарди?
10. Юклама графигининг нотекислигини камайтириш (яхшилаш) учун қандай асосий чора-тадбирлар амалга оширилади?

7. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ЙЎҚОТИШЛАРИ

7.1. Тармоқ участкасида қувват йўқотишлари

Электр энергиясини манбалардан истеъмолчиларга узатиш актив ва реактив қувватлар ҳамда электр энергияси йўқотишлари билан бирга келади. Йўқотилган энергия электр узатиш линиялари (ЛЭП) симларини, чўлғамларни, трансформаторларнинг корпуслари ва ўзақларини иситишга сарфланади [2, 5, 6].

Актив қувват йўқотишлари генераторларнинг қўшимча қувватини ўрнатишга ва ёқилғининг қўшимча сарфига сабаб бўлади, бу эса йўқотишларни қоплаш учун қўшимча харажатларга олиб келади. Электр тармоқларидаги актив қувват йўқотишлари юклама қувватининг 2 дан 10 % гача бўлади.

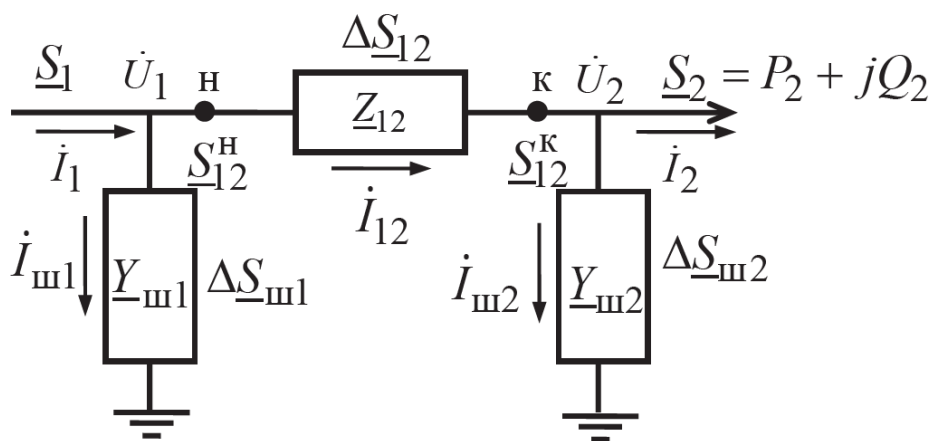
Электр тармоқлари элементларидаги реактив қувват йўқотишлари актив қувват йўқотишларининг ортишига олиб келади ва қўшимча компенсатор қурилмаларини ўрнатишни талаб қилади, бу ҳам қўшимча харажатлар билан боғлиқ. Электр тизимларидаги реактив қувват йўқотишлари актив қувват йўқотишларидан бир неча баробар кўп бўлиб, бу электр тизимлари элементларининг актив ва реактив қаршиликлари нисбати ($R < X$) билан изоҳланади. Электр тизимлари элементларидаги реактив қувват йўқотишлари юк қувватининг 6 дан 12 % гача бўлади [6]. Актив ва реактив қувват йўқотишларининг даражаси тармоқнинг кучланиш синфига боғлиқ бўлиб, кучланиш синфи ортган сари камаяди.

Қувват ва электр энергияси йўқотишлари электр энергетика тизимларининг барча элементларида — генераторлар, трансформаторлар, электр узатиш линиялари ва истеъмолчиларда юз беради.

Электр тармоғидаги ҳар қандай қаршилиқда ажралиб чиқадиган қувват йўқотишлари ΔS Жоуль-Ленц қонунига мувофиқ, ҳар бир лаҳзада қаршилиқ орқали оқиб ўтадиган токнинг квадрати ва қаршилиқ миқдорига пропорционалдир. Уч фазали тармоқдаги қувват йўқотишлари ΔS , фазали токнинг квадрати I^2 ва бир фазанинг қаршилиги Z орқали ифодаланганда, қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\Delta S = 3 I^2 Z \quad (7.1)$$

Электр тизимлари элементларидаги қувват йўқотишларини таҳлил қилиш ва аниқлаш тамойиллари уларнинг тармоқдаги ҳисоб-китоблари мисолида кўриб чиқилди, бу тармоқнинг II-шаклли алмаштириш схемаси 7.1-расмда кўрсатилган.



7.1-расм. Тармоқнинг алмаштириш схемаси

Алмаштириш схемасида қуйидагилар белгиланган:

- тармоқнинг 1–2 участкасининг боши ва охирига мувофиқ равишда «н» ва «к» ҳарфлари билан;
- тармоқ участкасининг фазали узунаси қаршилиги $\underline{Z}_{12} = R_{12} + jX_{12}$;
- тармоқ участкасининг фазали кўндаланг ўтказувчанликлари $\underline{Y}_{ш1}$ ва $\underline{Y}_{ш2}$, $\underline{Y}_i = G_i \pm jB_i$. Баъзи тармоқ элементларининг алмаштириш схемаларида, масалан, трансформаторларда ўтказувчанлик актив-индуктив хусусиятга эга бўлиб, $\underline{Y}_i = G_i - jB_i$, бошқаларида, масалан, электр узатиш линияларида эса актив-сиғимли бўлиб, $\underline{Y}_i = G_i + jB_i$;
- юклама токи I_2 , 1–2 участкасидаги ток I_{12} , шунт токлари $\underline{Y}_{ш1}$, $\underline{Y}_{ш2}$ ва бош участкадаги ток I_1 нинг амалдаги қийматлари;
- 1 ва 2 нуқталардаги чизиқли кучланишларнинг амалдаги қийматлари U_1 ва U_2 ;
- юкламанинг уч фазали қуввати (реактив қувват олдидаги «+» белгиси унинг индуктив хусусиятини кўрсатади): $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2 = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot U_2$;
- тармоқ участкасининг бошида $\underline{S}_{12}^H = P_{12}^H + jQ_{12}^H = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot U_1$ ва охирида $\underline{S}_{12}^K = P_{12}^K + jQ_{12}^K = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot U_2$ бўлган уч фазали қувват оқимлари;
- бош участкадаги уч фазали қувват оқими: $\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1 = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1$.

Тармоқнинг 1–2 участкасидаги қувват йўқотишлари $\Delta \underline{S}_{12}$ узунлама деб аталади, чунки улар узунлама (юклама токи ва қувват узатиш йўналиши бўйлаб қаршилиқ $\underline{Z}_{12} = R_{12} + jX_{12}$ да ажралиб чиқади ва уларни қуйидаги ифода орқали топиш мумкин:

$$\Delta \underline{S}_{12} = 3I_{12}^2 \underline{Z}_{12} = 3I_{12}^2 (R_{12} + jX_{12}) = 3I_{12}^2 R_{12} + j3I_{12}^2 X_{12} = \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12} \quad (7.2)$$

(7.2) ифодадан $\underline{Z}_{12} = R_{12} + jX_{12}$ қаршилигидаги актив ΔP_{12} ва реактив ΔQ_{12} қувват йўқотишларини аниқлаш формулаларини осонликча олиш мумкин.

$$\Delta P_{12} = 3I_{12}^2 R_{12} \quad (7.3)$$

$$\Delta Q_{12} = 3I_{12}^2 X_{12} \quad (7.4)$$

Қувват йўқотишларини аниқлаш кўпинча ток I_{12} ни олдиндан ҳисобламасдан, тармоқ участкасининг бошида $\underline{S}_{12}^H$ ва охирида $\underline{S}_{12}^K$ қувват оқимлари орқали амалга ошириш қулай бўлади. Қувват оқимларини ток ва кучланиш орқали қуйидагича ифодаласа бўлади $\underline{S}_{12}^H = \sqrt{3} \dot{I}_{12} \cdot U_1$, $\underline{S}_{12}^K = \sqrt{3} \dot{I}_{12} \cdot U_2$. Ушбу ифодалардан фойдаланиб, участка бошидаги параметрлар асосида $3I_{12}^2$ ни аниқлаш мумкин.

$$3I_{12}^2 = \sqrt{3} \dot{I}_{12} \cdot \sqrt{3} \dot{I}_{12} = \left(\frac{\underline{S}_{12}^H}{\dot{U}_1} \right) \cdot \left(\frac{\underline{S}_{12}^H}{U_1} \right) = \left(\frac{(\underline{S}_{12}^H)}{U_1^2} \right) = \left(\frac{(\underline{S}_{12}^K)^2}{U_2^2} \right)$$

шу тариқа - участка охиридаги параметрлар бўйича

$$3I_{12}^2 = \sqrt{3} \dot{I}_{12} \cdot \sqrt{3} I_{12}^* = \left(\frac{(\underline{S}_{12}^K)^2}{U_2^2} \right)$$

У ҳолда тармоқнинг 1–2 участкасидаги тўлиқ қувват йўқотишларини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\Delta \underline{S}_{12} = \frac{(\underline{S}_{12}^H)^2}{U_1^2} \cdot \underline{Z} = \frac{(\underline{S}_{12}^K)^2}{U_2^2} \cdot \underline{Z} \quad (7.5)$$

$\underline{S} = P + jQ$ бўлгани учун, тўлиқ қувват модулининг квадрати $S^2 = \underline{S} \cdot \underline{S}^* = P^2 + Q^2$ шаклида ифодаланади. Қаршилиқ $\underline{Z} = R + jX$ бўлса, участка охиридаги параметрлар бўйича тўлиқ ΔS_{12} , актив ΔP_{12} ва реактив ΔQ_{12} қувват йўқотишларини ҳисоблаш учун ифодалар қуйидаги кўринишга эга:

$$\Delta \underline{S}_{12} = \frac{(P_{12}^H)^2 + (Q_{12}^H)^2}{U_1^2} \cdot \underline{Z}_{12} = \frac{(P_{12}^H)^2 + (Q_{12}^H)^2}{U_1^2} \cdot (R_{12} + jX_{12}); \quad (7.9)$$

$$\Delta P_{12} = \frac{(P_{12}^H)^2 + (Q_{12}^H)^2}{U_1^2} \cdot R_{12}; \quad (7.10)$$

$$\Delta Q_{12} = \frac{(P_{12}^H)^2 + (Q_{12}^H)^2}{U_1^2} \cdot X_{12} \quad (7.11)$$

Эътибор бериш керакки, қувват йўқотишлари участканинг боши ёки охиридаги маълумотлар асосида бир хил даражада аниқлик билан аниқланиши мумкин — муҳими, *бир хил участка нуқтаси («к» ёки «н») учун қучланишлар ва қувват оқимларидан фойдаланишидир.*

Қувват узатиш (юклама токи) йўналишига кўндаланг жойлашган шунтлардаги қувват йўқотишлари ΔS_i кўндаланг йўқотишлар деб аталади. Шунтлардаги қувват йўқотишлари ΔS_i , $i = 1, 2$.

$$\Delta \underline{S}_{\text{ш}i} = 3I_{\text{ш}i}^2 \cdot \underline{Z}_{\text{ш}i} = 3I_{\text{ш}i}^2 \cdot \frac{1}{\underline{Y}_{\text{ш}i}},$$

шунини инобатга олганда

$$I_{\text{ш}i}^2 = \dot{I}_{\text{ш}i} \cdot I_{\text{ш}i}^* \cdot \dot{I}_{\text{ш}i} = \dot{U}_{\text{ш}i} \cdot \underline{Y}_{\text{ш}i} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad I_{\text{ш}i}^* = U_{\text{ш}i}^* \cdot \hat{Y}_{\text{ш}i} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}},$$

$$\Delta \underline{S}_{\text{ш}i} = U_i^2 \cdot \hat{Y}_{\text{ш}i}, \quad (7.12)$$

бу ерда $\Delta \underline{S}_{\text{ш}i} = 1, 2$ — тармоқ схемасининг шунтларидаги қувват йўқотишлари.

Шунтлардаги қувват йўқотишлари (7.12) тармоқ участкаси орқали узатилган тоklar (оқимлар) га боғлиқ эмас, шу сабабли улар доимий (шартли доимий) йўқотишлар деб аталади [2]. Шунтлардаги қувват йўқотишлари шунтларнинг ўтказувчанлик хусусиятига $\underline{Y}_{\text{ш}i} = G_{\text{ш}i} \pm jB_{\text{ш}i}$ боғлиқ бўлиб, умумий кўринишда қуйидагича ёзилади:

$$\Delta \underline{S}_{\text{ш}i} = U_i^2 \cdot \hat{Y}_{\text{ш}i} = U_i^2 (G_{\text{ш}i} \mp jB_{\text{ш}i}) = \Delta P_{\text{ш}i} \mp j\Delta Q_{\text{ш}i}, \quad (7.13)$$

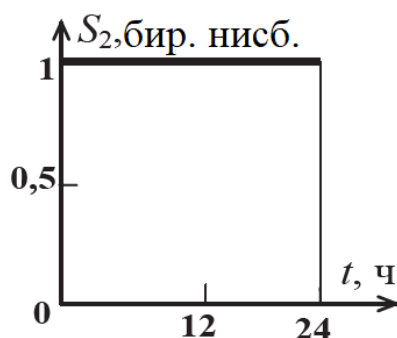
бу ерда $\Delta P_{\text{ш}i}$ — шунтлардаги актив қувват йўқотишлари; $\Delta Q_{\text{ш}i}$ — тармоқ схемаси шунтларидаги реактив қувват йўқотишлари (ёки генерацияси).

Токлар ва йўқотишлар ўртасидаги боғланиш учун қуйидаги ифодалардан фойдаланиш мумкин:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{12}^K &= \underline{S}_2 + \Delta \underline{S}_{\text{ш}2}; \\ \underline{S}_{12}^H &= \underline{S}_{12}^K + \Delta \underline{S}_{12}; \end{aligned}$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_2 + \Delta \underline{S}_{12} + \Delta \underline{S}_{ш1} + \Delta \underline{S}_{ш2}.$$

1–2 $\underline{S}_{12}^K$ участканинг охиридаги қувват оқими тармоқ юки 2 $\underline{S}_2$ дан деярли фарқ қилмайди, чунки шунтдаги қувват йўқотишлари $\Delta \underline{S}_{ш2}$ етарлича кичикдир. Шунинг учун 1–2 участкасидаги узунасидаги қувват исрофларининг қонунийлигини сифатли таҳлил қилиш учун 2- тугунинг юкланиш графигидан фойдаланиш мумкин. Бунинг учун тўлиқ қувват модули тушунчасидан фойдаланиш қулай: $S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2}$.



Расм - 7.2. Доимий юклама графиги

Агар 2- тугуннинг юкламаси сутка давомида ўзгармас бўлса, унда 1–2 участкаси охиридаги қувват оқими ва 1–2 участкасидаги узундан-узунга қувват йўқотишлари $\Delta \underline{S}_{12}$ ҳам ўзгармас бўлиб қолади. 7.2-расмда бундай юкланиш графиги максимал қувватга нисбатан нисбий бирликларда тузилган, бу ерда $\Delta \underline{S}_{12}(t) = \text{const}$.

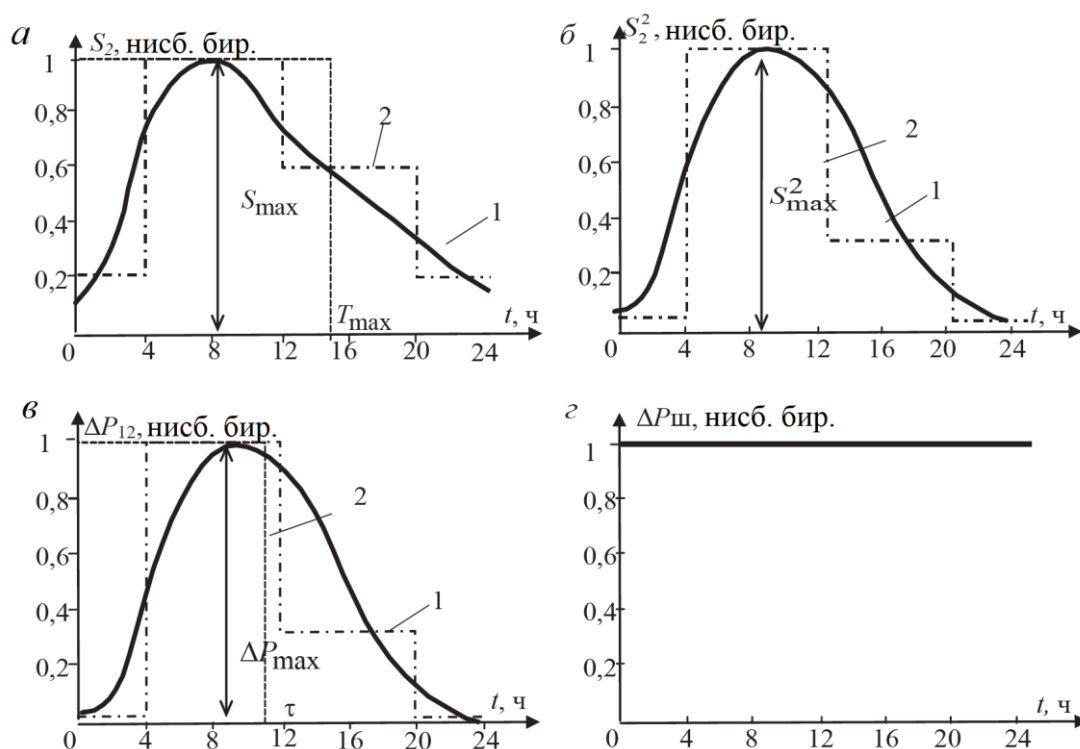
Реал ҳолатларда истеъмолчиларнинг юкланиши $S_2(t)$ узоқ вақт давомида ўзгармас бўлиб қолмайди. Шу сабабли, 1–2 участкаси охиридаги қувват оқими ва 1–2 участкасидаги узунасидаги қувват йўқотишлари $\Delta \underline{S}_{12}$ ҳам ўзгаради. Шундай қилиб, тармоқдаги узундан-узунга қувват йўқотишлари юклама токига ёки қувват оқимларига боғлиқ бўлиб, улар ўзгарувчан йўқотишлар деб аталади деган хулосага келиш мумкин.

Ҳар бир t вақт моменти учун узунасидаги ўзгарувчан қувват йўқотишлари 1–2 участкасидаги ток ёки қувват оқимига боғлиқ ҳолда (7.6)— (7.11) тенгламалар асосида аниқланиши мумкин.

7.3, а – расмда 2-тугуннинг тўлиқ қувват модули $S_2(t)$ нинг суткалик графиги максимал қувват модули S_{max} га нисбатан нисбий бирликларда тузилган.

(7.6) ифодасига кўра, узунасига қувват йўқотишлари $\Delta S_{12}(t)$ 1–2 участкаси охиридаги қувват оқими квадратага ёки юқорида айtilганидек, юкланиш қуввати оқими квадратага пропорционалдир.

7.3, б – расмда юкланиш қуввати оқими квадрати $S^2(t)$ нинг суткалик графиги S_{max}^2 га нисбатан нисбий бирликларда, 7.3, в – расмда эса актив қувватнинг узундан-узунга йўқотишлари графиги $\Delta P_{12}(t)$ максимал актив қувват йўқотишлари ΔP_{max} га нисбатан нисбий бирликларда кўрсатилган (максимал режимда).



Расм – 7.3. Графиклар: а – юклама; б — юкланишнинг квадрати; в – 1–2 участкадаги қувват исрофлари; г – шунтдаги қувват йўқотишлари

Расмдан кўриниб турибдики, юкланишнинг қувват оқими квадрати графиклари $S^2(t)$ ва узунасига йўқотишларнинг актив қувват графиклари $\Delta P_{12}(t)$, нисбий бирликларда (фойизларда) қурилганда, конфигурация бўйича мос келади.

Шуни таъкидлаш керакки, узундан-узон йўқотишлар графиклари $\Delta P_{12}(t)$ ни юкланишнинг тўлиқ қувват квадрати графиклари $S^2(t)$ билан конфигурация бўйича таққослаш, бир кун давомида 2-нуқтадаги кескинлик $U_2(t) = U_2$ (доимий) сакланиши фарзи билан амалга оширилган. Кўрсатилган фарз актив қувватнинг узундан-узон йўқотишларининг сифатли таҳлили натижаларига таъсир қилмайди, чунки нормал режимларда электр тармоқларида кескинликнинг номинал қийматлардан оғиши ДавСТ бўйича 10 % дан ошмайди.

Шунтлардаги қувват йўқотишлари, (7.12) дан кўриниб турибдики ва расм 7.3, ε да, кўрсатилганидек, юкламанинг ўзгаришига боғлиқ эмас, бир кун давомида ўзгармаслигича қолади ва доимий йўқотишлар (шартли-доимий) деб аталади. Шартлилик юкламар ўзгарганда $U_2(t) = U_2$ (доимий) нуқталардаги кескинликнинг ўзгармаслиги фарзи билан тушунтирилади.

Шунтлардаги умумий шартли доимий актив қувват йўқотишлари ΔP_{Σ} тармоқда барча таркибий қисмларни ҳисобга олган ҳолда [7] нисбат орқали топилиши мумкин:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{тр.пўл.}\Sigma} + \Delta P_{\text{к.к.пўл.}} + \Delta P_{\text{к.}\Sigma} + \Delta P_{\text{ток.ок.}} + \Delta P_{\text{к.и.}} + \Delta P_{\text{бош.}}, \quad (7.14)$$

$\Delta P_{\text{тр.пўл.}\Sigma}$ — куч трансформаторлари ва автотрансформаторлардаги пўлатдаги умумий йўқотишлар; $\Delta P_{\text{к.к.пўл.}}$ — компенсация қурилмаларидаги пўлатдаги умумий йўқотишлар (синхрон ва тиристорли компенсаторлар, конденсатор батареялари ва шунтловчи реакторлар); $\Delta P_{\text{к.}\Sigma}$ — электр узатиш хаво линияларидаги корона йўқотишларининг умумий миқдори; $\Delta P_{\text{ток.ок.}}$ — электр узатиш хаво линиялари изоляторлари орқали оқувчи токлардан умумий йўқотишлар; $\Delta P_{\text{к.и.}}$ — кабель линиялари изоляциясидаги умумий йўқотишлар; $\Delta P_{\text{бош.}}$ — бошқа шартли-доимий қувват йўқотишларининг умумий миқдори.

Тармоқдаги ΔQ_{Σ} шунтлардаги реактив қувватнинг умумий шартли-доимий йўқотишларини аниқлаш одатда амалга оширилмайди. Тармоқдаги реактив қувватлар балансини таҳлил қилишда фақат куч трансформаторлари ва автотрансформаторлардаги пўлатдаги гистерезисга боғлиқ умумий шартли-доимий реактив қувват йўқотишлари ($\Delta Q_{\text{тр.пўл.}}$) ҳисобга олинади.

Бундан ташқари, кабель ва хаво электр узатиш линиялари томонидан фаза-ер ва турли номли фазалар ўртасидаги ёмкостлар билан боғлиқ бўлган реактив қувватнинг умумий генерацияси ($\Delta Q_{\text{ген.}\Sigma}$) ҳисобга олинади.

Тармоқдаги ўзгарувчан ва шартли-доимий қувват йўқотишларини аниқлашда, тармоқдаги қувват йўқотишларининг хусусияти оқиб ўтувчи ток ёки қувват оқими турига боғлиқ эмаслигини, балки фақат тармоқнинг қаршилиги ёки ўтказувчанлиги хусусиятига боғлиқ эканлигини тушуниш керак.

Буни (7.1) ва (7.12) ифодалар таҳлили орқали осонгина кўриш мумкин. (7.1) ифодадаги фазали токнинг квадрати I^2 ток модулининг квадратини ифодалайди. Фазали токни комплекс шаклда $\dot{I} = I_a \pm jI_p$ деб ифодалаш мумкин, бу ерда $\dot{I} = I - jI_p$ актив-индуктив ток хусусиятига, $\dot{I} = I + jI_p$ эса актив-ёмкостли ток хусусиятига мос келади. Фазали токнинг квадрати I^2 соф ҳақиқий миқдор бўлиб, ток хусусиятига боғлиқ эмас, чунки ток модулининг

квадрати ток векторининг сопряжён векторга кўпайтирилганига тенг, яъни $P^2 = I \cdot I^* = I e^{j\varphi} \cdot I e^{-j\varphi}$:

- актив-индуктив токда $\dot{I} = I^a - jI_p$ бўлса, фазали токнинг квадрати

$$P^2 = I \cdot I^* = (I_a - jI_p)(I_a + jI_p) = P^2 + I_p^2$$

- актив-сигимли токда $\dot{I} = I_a + jI_p$ бўлса, фазали токнинг квадрати

$$P^2 = \dot{I} \cdot I^* = (I_a + jI_p)(I_a - jI_p) = I_a^2 + I_p^2.$$

Худди шундай тарзда, $S^2 = S \cdot S^*$ ва $U^2 = \dot{U} \cdot U^*$ соф ҳақиқий миқдорлар бўлиб, уч фазали тўлиқ қувват ва фаза ўртасидаги линиявий кучланиш модулларининг квадратларини ифодалайди.

Хулоса: қувват йўқотишларининг тури фақат тармоқ элементининг қаршилиги хусусиятига боғлиқ бўлиб, оқиб ўтувчи ток ёки қувват хусусиятига боғлиқ эмас.

Тармоқдаги қувват йўқотишларини аниқлаш мисоллари юқоридаги хулосани тасдиқлайди:

Тармоқ участкасининг қаршилиги соф актив, $\underline{Z} = 5 + j0$ (Ом), юклама индуктив хусусиятга эга, $\underline{S} = 0 + j20$ (МВА), юкламадаги кучланиш 100 кВ, унда участкадаги қувват йўқотишлари:

$$\Delta \underline{S} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} (R + jX) = \frac{0^2 + 0^2}{100^2} (5 + j0) = 0,2 + j0 \text{ (МВА)}.$$

Тармоқ участкасининг қаршилиги соф индуктив, $\underline{Z} = 0 + j5$ (Ом), юклама актив хусусиятга эга $S = 20 + j0$ (МВА), юкламадаги кучланиш 100 кВ, унда участкадаги қувват йўқотишлари:

$$\Delta \underline{S} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} (R + jX) = \frac{20^2 + 0^2}{100^2} (0 + j5) = 0,2 + j0,2 \text{ (МВА)}.$$

Шундай қилиб, актив қувват индуктив занжир орқали оқиб ўтганда, соф индуктив қувват йўқотишлари пайдо бўлади.

Шунтнинг ўтказувчанлиги соф сигимли, $Y=0+j0.5$ См, кучланиш унда шунтдаги қувват йўқотишлари:

$$\Delta \underline{S}_{\text{ш}} = U_i^2 \cdot \hat{Y}_{\text{ш}} = 100^2 \cdot (0 - j0,0005) = 0 - j5 \text{ (МВА)}.$$

7.2. Электр тармоқлари элементларида қувват исрофларини ҳисоблаш

Электр энергия тизимларининг исталган элементларида фаол ва реактив қувват исрофларининг ўзгарувчан ва шартли-доимий исрофларини аниқлаш 7.1 бўлимда келтирилган нисбатлар асосида топилиши мумкин. Бироқ, турли элементларда фаол ва реактив қувват исрофларини аниқлаш ўзига хос хусусиятларга эга бўлиб, улар қуйида кўриб чиқилади.

Электр узатиш линияларида қувват исрофлари. Электр тармоқларининг барқарор режимларини ҳисоблаш ва таҳлил қилиш учун ҳаво ва кабель линияларининг энг қулай алмаштириш схемаси бу П-шаклли алмаштириш схемаси бўлиб, у 7.4-расмда кўрсатилган.

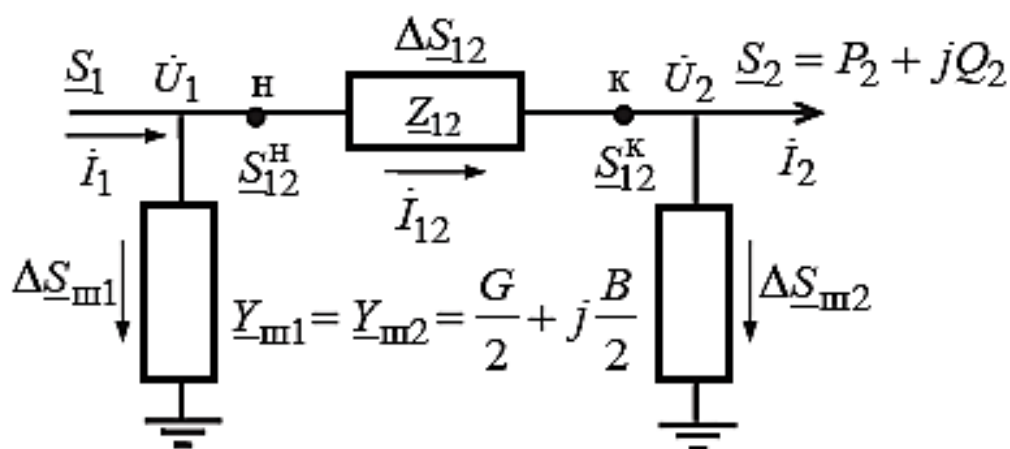
Ҳаво ва кабель линияларининг узундан-ўрин фаол-индуктив қаршилиги қуйидаги кўринишга эга:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{12} = R_{12} + jX_{12}.$$

Ҳаво ва кабель линияларининг кўндаланг ўтказувчанликлари фаол-ёмкостли хусусиятга эга бўлиб, қуйидаги кўринишга эга:

$$\underline{Y}_{\text{м}1} = \underline{Y}_{\text{м}2} = \frac{G}{2} + j\frac{B}{2}.$$

Электр узатиш линияларида фаол ва реактив қувватнинг узунасига исрофларини линия бўйлаб оқиб ўтувчи ток (7.2) орқали ёки линиянинг боши ва охиридаги қувват оқимлари ва кучланишлар (7.6)—(7.11) асосида аниқлаш мумкин.



Расм – 7.4. Электр узатиш линиясининг алмаштириш схемаси

Тақрибан ҳисоблашларда, агар электр тармоғи тугунларидаги кучланишларнинг аниқ қийматлари маълум бўлмаса, узунасига қувват йўқотишларини тақрибан (ўртача) кучланиш қийматлари U асосида баҳолаш мумкин.

Электр узатиш линияси шунтларидаги кўндаланг қувват йўқотишлари уларнинг фаол-ёмкостли хусусиятини ҳисобга олган ҳолда (7.12) формуласи ёрдамида топилиши мумкин:

$$\Delta S_{\text{ши}} = U_t^2 \hat{Y}_l = U_i^2 \left(\frac{G_{12}}{2} - \frac{B_{12}}{2} \right) = \Delta P_{\text{ши}} - j \Delta Q_{\text{ши}}, \quad (7.15)$$

Жами шартли-доимий фаол қувват исрофларининг тузилиши (7.14) ифодаси билан аниқланади. Ҳаво ва кабель линиялари учун шунтлардаги шартли-доимий фаол қувват исрофлари қуйидаги кўринишга эга:

$$\Delta P_{\text{ши}} = \frac{1}{2} \sum_j \Delta P_{\text{ши}j} = \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{к.и}} + \Delta P_{\text{ут.и}} + \Delta P_{\text{к.из.и}} + \Delta P_{\text{якл.и}}), \quad (7.16)$$

бу ерда:

$\Delta P_{\text{к.и}}$ – ҳаво электр узатиш линиясидаги корона йўқотишлари;

$\Delta P_{\text{ут.и}}$ – ҳаво электр узатиш линияси изоляторларидаги оқиш тоқлари йўқотишлари;

$\Delta P_{\text{из.к.и}}$ – кабель электр узатиш линияси изоляциясидаги йўқотишлар;

$\Delta P_{\text{якл.и}}$ – ҳаво электр узатиш линиясидаги муз эритиш исрофлари, бу исрофлар муз эритиш жараёнида ҳисобга олинади.

Шартли-доимий фаол қувват исрофларининг таркибий қисмлари тармоқнинг барқарор режимларини ҳисоблашда топилган тугунларнинг реал кучланишлари асосида аниқлаштирилиши мумкин:

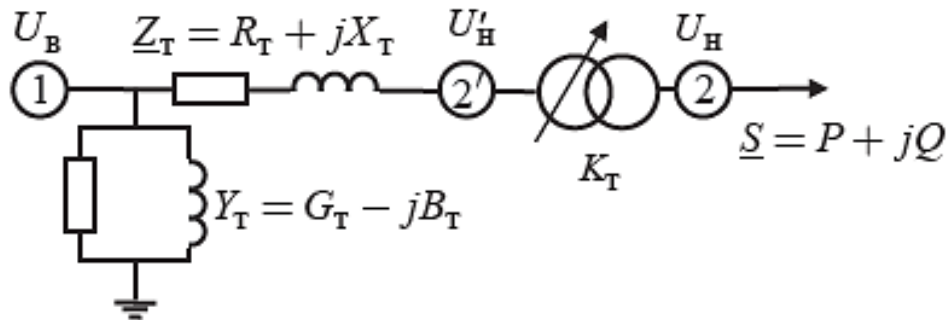
$$\Delta P_{\text{ши}j} = \frac{1}{2} \Delta P_{\text{ш.нис.и}j} \cdot l_{ij} \cdot n_{ij} \frac{U_i^2}{U_{\text{ном}}^2} \quad (7.17)$$

Шуни таъкидлаш керакки, амалий ҳисоблашларда бундай аниқлаштиришлар одатда бажарилмайди, чунки биринчи навбатда кучланишларни ўлчаш маълумотлари мавжуд эмас. Бундан ташқари, ушбу аниқлаштиришлар электр энергияси йўқотишларини ҳисоблашдаги хатоликлар доирасида қолади [8,9].

Кабель ва ҳаво электр узатиш линиялари, 4-бўлимда кўрсатилганидек, фазалар орасидаги ва фазалар билан ер орасидаги ёмкостлар, шунингдек, линияларнинг турли номдаги фазалари орасидаги ёмкостлар туфайли реактив

қувват ишлаб чиқаради. Шу сабабли, (7.15) ифодасидаги $\Delta Q_{\text{ши}}$ қўшилувчиси "-" ишораси билан киритилиши керак. Барқарор режимларни ҳисоблашда ҳаво ва кабель электр узатиш линиялари томонидан ишлаб чиқариладиган реактив қувват тармоқ тугунларининг реал кучланишлари асосида ҳисобланади.

Икки чўлғамли трансформаторлардаги қувват йўқотишлари. Икки чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси 7.5-расмда келтирилган бўлиб, унда узундан-ўрин фаол-индуктив қаршилик ва кўндаланг фаол-индуктив ўтказувчанлик кўрсатилган.



Расим – 7.5. Икки чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси

Чўлғамларнинг фаол қаршилиги трансформатор чўлғамларининг иссиқлик йўқотишларини (мисдаги йўқотишларни) ҳисобга олади, индуктив қаршилик эса магнит ўтказгичдаги ҳаво бўшлиқларида магнит оқимининг тарқалишини ҳисобга олиш учун киритилган: $Z_T = R_T + jX_T$.

Икки чўлғамли трансформаторларда узунчўз йўқотишларни (7.2) формулалар орқали ток бўйича ёки (7.6)–(7.12) формулалар орқали қувват оқимлари ва кучланишлар бўйича аниқлаш мумкин. Аниқ ҳисобларда кучланишларнинг тўғри қийматлари номаълум бўлса, йўқотишларни номинал (ўртача) кучланишлар U бўйича баҳолаш мумкин.

Трансформатор мисларидаги ўзгарувчан фаол йўқотишларни исталган барқарор режимда қисқа туташув тажрибаси натижалари асосида қисқа туташув йўқотишлари орқали баҳолаш мумкин: $\Delta P_{\text{к.т.}} = \Delta P_{\text{мис.}}$

n та параллел уланган трансформаторлар учун мисдаги эквивалент йўқотишларни қуйидаги формула бўйича аниқлаш мумкин:

$$\Delta P_{\text{мис.эқв}} = 3 \cdot I_{\text{юк.}}^2 \cdot R_{\text{эқв}},$$

бу ерда $R_{\text{эқв}}$ — n та параллел трансформаторларнинг эквивалент фаол қаршилиги; $I_{\text{юк.}}$ — юқори кучланишли чўлғамдаги ток.

(4.27) ни ҳисобга олган ҳолда

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{n} R_T = \frac{1}{n} \frac{1 \cdot \Delta P_{\text{К.Т.}} U_{\text{Ю.К.}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2},$$

Юқори кучланишли чўлғамдаги токни йўқотишларни ҳисобга олмаган ҳолда тахминий равишда юқори томон кучланиши ва паст томон юкламаси бўйича баҳолаш мумкин, $3I_{\text{Ю}}^2 \approx S^2/U_{\text{Ю}}^2$.

Энди n та параллел трансформаторларда мисдаги эквивалент йўқотишларни баҳолаш мумкин:

$$\Delta P_{\text{Мис.ЭКВ}} = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{К.Т.}} \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{U_{\text{Ю.К.}}}{U_{\text{Ю}}} \right) \quad (7.18)$$

Тахминий ҳисобларда $U_{\text{Ю}} \approx U_{\text{Ю.К.}}$, деб олсак:

$$\Delta P_{\text{Мис.ЭКВ}} = \frac{1}{n} \Delta P_{\text{К.Т.}} \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2. \quad (7.19)$$

Трансформаторнинг фаол ўтказувчанлиги ўзак пўлатининг уярма токлари туфайли иссиқлик йўқотишларини, индуктив ўтказувчанлик эса магнит ўтказгичнинг қайта магнитланишидаги гистирезис йўқотишларини ҳисобга олади:

$$\underline{Y}_T = G_T - jB_T.$$

Трансформатор шунтидаги йўқотишлар — пўлатдаги йўқотишларни (7.12) ифода орқали аниқлаш мумкин, бу ифода шунтнинг фаол-индуктив хусусиятини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги кўринишга эга:

$$\Delta S = U_{\text{Ю}}^2 \cdot \hat{Y}_T = U_{\text{Ю}}^2 (G + jB_T) = \Delta \underline{S}_{\text{пўл.}} + j\Delta Q_{\text{пўл.}} = \Delta P_{\text{пўл.}} + j\Delta Q_{\text{пўл.}} \quad (7.20)$$

Трансформатор пўлатидаги шартли-доимий йўқотишларни салт ишлаш тажрибаси параметрлари (4-боб) асосида топиш мумкин.

$$\Delta \underline{S}_{\text{пўл.}} = \Delta \underline{S}_{\text{с.иш.}} \cdot \left(\frac{U_{\text{Ю}}}{U_{\text{Ю.К.}}} \right)^2. \quad (7.21)$$

Тахминий ҳисобларда, электр тармоғи тугунларидаги аниқ кучланишлар номаълум бўлса, одатда юқори кучланишли томондаги кучланиш унинг **номинал** (каталог) қийматига тенг деб олинади. Шу сабабли

пўлатдаги шартли-доимий йўқотишлар **бўш юриш йўқотишларига** тенг ҳисобланади:

$$\Delta S_{\text{пўл.}} \approx \Delta S_{\text{с.иш.}}$$

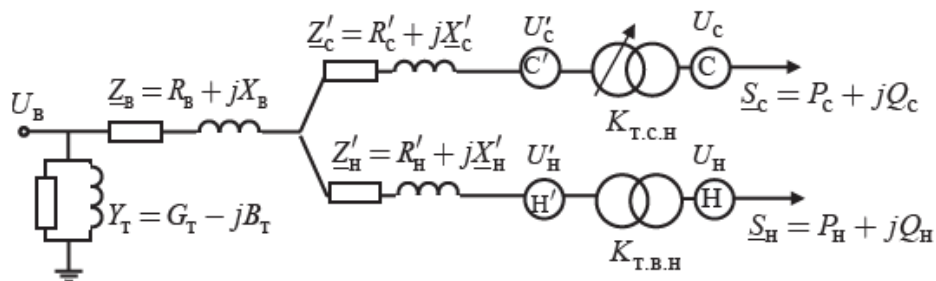
Подстанцияда n та параллел трансформатор бўлса, уларнинг эквивалент пўлат йўқотишлари:

$$\Delta S_{\text{пўл.экв}} = n \cdot \Delta S_{\text{с.иш.}} = n \cdot (\Delta P_{\text{с.иш.}} + j\Delta Q_{\text{пўл.}}), \quad (7.22)$$

$$\Delta P_{\text{пўл.экв}} = n \cdot \Delta P_{\text{с.иш.}},$$

$$\Delta Q_{\text{пўл.экв}} = n \cdot \Delta Q_{\text{пўл.}}$$

Уч чўлғамли трансформаторлардаги қувват йўқотишлари [3, 6]. Уч чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси 7.6-расмда кўрсатилган. Схемада барча уч чўлғамнинг юқори номинал кучланишга келтирилган узунасига актив-индуктив қаршиликлари ва кесма актив-индуктив ўтказувчанлиги тасвирланган.



Расм – 7.6. Уч чўлғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси

Уч чўлғамли трансформаторларда узунасига ўзгарувчан қувват йўқотишларини (7.2)-формула бўйича ток орқали ёки (7.6)–(7.12)-формулалар бўйича қувват оқимлари ва кучланишлар бўйича аниқлаш мумкин.

Уч чўлғамли трансформаторлар ва автотрансформаторларнинг мисдаги ўзгарувчан актив йўқотишларини баҳолаганда қуйидагиларни ҳисобга олиш керак:

- ҳар бир жуфт чўлғамдаги қисқа туташув йўқотишлари;
- ҳар бир чўлғамдаги қувват оқими;

- трансформаторнинг энг юқори номинал кучланишига келтирилган ҳар бир чўлғам кучланиши.

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\kappa.т.,ю} \left(\frac{S_{ю}}{S_{ном}} \right)^2 \left(\frac{S_{ю.н.}}{S_{ю}} \right)^2 + \Delta P_{\kappa.т.,\ddot{y}} \left(\frac{S_{\ddot{y}}}{S_{ном}} \right)^2 \left(\frac{S_{ю.н.}}{S_{ю'}} \right)^2 + \Delta P_{\kappa.т.,п.} \left(\frac{S_{п}}{S_{ном}} \right)^2 \left(\frac{S_{ю.н.}}{S_{п'}} \right)^2$$

Яқинлаштирилган ҳисобларда, кучланишларнинг аниқ қиймати маълум бўлмаса, ўрта ва паст кучланишлар энг юқори номинал кучланишга тенг деб қабул қилинади.

Шунда n та параллел уч чўлғамли трансформатор (ёки автотрансформатор) нинг мисдаги узунламбоси ўзгарувчан йўқотишлари қисқа туташув тажрибалари параметрлари бўйича жуда осон баҳоланади:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\kappa.т.,ю} \left(\frac{S_{ю}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_{\kappa.т.,\ddot{y}} \left(\frac{S_{\ddot{y}}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_{\kappa.т.,п.} \left(\frac{S_{п}}{S_{ном}} \right)^2 \quad (7.23)$$

бу ерда n – трансформаторлар сони; $S_{ю}$, $S_{\ddot{y}}$, $S_{п}$ – мос равишда юқори, ўрта ва паст кучланишли ўрамлар бўйлаб қувват оқимлари модуллари; $\Delta P_{\kappa.т.,ю}$, $\Delta P_{\kappa.т.,\ddot{y}}$, $\Delta P_{\kappa.т.,п.}$ – қисқа туташув йўқотишлари; $S_{ном}$ – трансформаторнинг номинал қуввати.

Параллел уч ўрамли трансформаторлар ёки автотрансформаторлардаги пўлатдаги шартли-доимий қувват йўқотишлари икки ўрамли трансформаторлардаги ўхшаш йўқотишларга ўхшаш равишда (7.22) ифода бўйича аниқланади.

Электр энергетика тизимларида электр энергияси йўқотишларини ҳисоблашда реакторлар, синхрон компенсаторлар, статик компенсация қурилмалари ва бошқа жиҳозлардаги актив қувват йўқотишларини баҳолаш зарурати пайдо бўлади.

Компенсация қурилмаларидаги қувват йўқотишлари. Шунт реакторларидаги қувват йўқотишлари [12]. Шунт реакторлари тармоқдан реактив қувватни истеъмол қилиш учун мўлжалланган ва асосан реактив қаршиликка эга.

Шунтловчи реакторлардаги фаол қувват йўқотишлари асбоблар паспорт маълумотларида келтирилган қувват йўқотишлари ΔP_p асосида аниқланади.

Статик компенсация қурилмаларидаги қувват йўқотишлари [12].

Статик компенсация қурилмаларидаги фаол қувват йўқотишлари ΔP_p — статик конденсаторлар батареялари ва статик тиристорли компенсаторларда формуласи бўйича аниқланади

$$\Delta P_{\text{к.к.}} = \Delta P_{\text{к.к.}} \cdot S_{\text{к.к.}} \quad (7.24)$$

бу ерда $\Delta P_{\text{к.к.}}$ — компенсация қурилмаси паспорт маълумотларига мувофиқ удель қувват йўқотишлари; $S_{\text{к.к.}}$ — компенсация қурилмаси қуввати (статик тиристорли компенсаторлар учун ёмкост компоненти бўйича қабул қилинади).

Асбоблар паспорт маълумотлари бўлмаганда $\Delta P_{\text{к.к.}}$ қиймати қуйидагича қабул қилинади: БК учун — 0,003 кВт/квар, СТК учун — 0,006 кВт/квар.

Синхрон машиналардаги қувват йўқотишлари. Синхрон компенсаторлар ва генераторлардаги қувват йўқотишлари [12]. Синхрон компенсатор ёки синхрон компенсатор режимига ўтказилган генератордаги фаол қувват йўқотишлари $\Delta P_{\text{с.к.}}$ формула бўйича аниқланади

$$\Delta P_{\text{с.к.}} = (0,4 + 0,1 \beta_Q^2) \quad (7.25)$$

бу ерда β_Q^2 — базавий даврдаги максимал юклама коэффиценти; $\Delta P_{\text{ном}}$ — синхрон компенсаторнинг номинал юклама режимидаги паспорт маълумотларига мувофиқ қувват йўқотишлари.

Ёрдамчи асбоблардаги қувват йўқотишлари. Вентилли разрядникларда, ортиқча кучланиш чегараловчиларида, ЮЧ алоқа уланиш қурилмаларида, кучланиш ўлчаш трансформаторларида, 0,22–0,66 кВ электр ҳисоблагичларда фаол қувват йўқотишлари асбоб ишлаб чиқарувчи заводлар маълумотларига мувофиқ қабул қилинади.

Хулоса.

Қувват йўқотишлари электротехника қонунлари таъсирида — юклама оқимлари ўтганда ток ўтказувчи қисмларнинг иссиқлашиши, уярма тоқлар мавжудлиги, магнит оқимларнинг тарқалиши, гистерезис ходисаси, конденсаторлардаги силжиш тоқлари ва ҳ.к. билан боғлиқ. Қувват йўқотишлари тури (фаол, реактив) фақат тармоқ параметрлари турига боғлиқ бўлиб, ток хусусиятига боғлиқ эмас.

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Электр энергиясини узатишда қувват йўқотишлари нима учун юзага келади ва уларнинг асосий турлари қайсилар?
2. Электр тармоқларида актив ва реактив қувват йўқотишларининг иқтисодий оқибатлари қандай?

3. Тармоқ участкасидаги узундан-узун қувват йўқотишлари ΔS_{12} қандай формула билан ҳисобланади (ток орқали)?
4. Тармоқ участкасидаги узундан-узун фаол ва реактив қувват йўқотишларини қувват оқимлари ва кучланишлар орқали қандай ҳисоблаш мумкин?
5. Шунтлардаги кўндаланг қувват йўқотишлари нима деб аталади ва улар қандай ҳисобланади?
6. Электр узатиш линияларидаги шартли-доимий фаол қувват йўқотишларининг таркибий қисмлари қайсилар?
7. Трансформаторлардаги мисдаги ўзгарувчан фаол йўқотишларни қандай ҳисоблаш мумкин?
8. Трансформатор пўлатидаги шартли-доимий йўқотишларни қандай ҳисоблаш мумкин?
9. Шунт реакторларидаги қувват йўқотишларни ҳисоблаш формуласи қандай?
10. Қувват йўқотишларининг тури (фаол, реактив) нимага боғлиқ ва қайси ҳолатда реактив йўқотишлар юзага келади?

8. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ЙЎҚОТИШЛАРИ

8.1. Электр тармоқларида электр энергияси йўқотишларининг тузилиши

Электр энергиясининг манбаълардан истеъмолчиларга узатилиши жараёнидаги йўқотишлар таҳлили электр энергия тизимларини ривожлантириш ва ишлашини режалаштиришдаги техник ва иқтисодий вазифаларни ҳал қилишда турли мақсадларда амалга оширилади [7].

Электр энергиясини тармоққа бериш ҳажми ва электр тармоқларидаги йўқотишлар ўзаро боғлиқ бўлиб, улар мамлакатнинг умумий ва алоҳида ҳудудларидаги техника ривожланиш даражаси ҳамда ижтимоий шароитлар билан белгиланади. Электр тармоқларидаги электр энергияси йўқотишлари таҳлилида одатда фаол йўқотишларни аниқлаш вазифаси қўйилади, чунки уларни қоплаш учун қўшимча электр энергияси ишлаб чиқаришга сарфланади.

Электр энергия тизимларида йўқотишларни таҳлил қилиш ва меъёрлаштиришда йўқотишларнинг физик табиати ва баҳолаш усулларига қараб бўлинадиган тузилмаси қўлланилади. Энергия ҳисоблагичлар кўрсаткичларининг фарқи фактли йўқотишларни баҳолаш имконини беради:

$$\Delta W_{\text{факт}} = W_{\text{иш.чик.}} - W_{\text{бер.}} - W_{\text{ш.экт. ист.}}, \quad (8.1)$$

бу ерда: $\Delta W_{\text{факт}}$ — фактик электр энергияси йўқотишлари, $W_{\text{иш.чик.}}$ — ишлаб чиқарилган электр энергияси, $W_{\text{бер.}}$ — тармоққа берилган электр энергияси, $W_{\text{ш.экт. ист.}}$ — энергия тизимларининг ўз эҳтиёжларига сарфланган электр энергияси.

Фактли йўқотишлар техник ($\Delta W_{\text{тех}}$) ва тижорат (коммерция) йўқотишлари ($\Delta W_{\text{ком}}$)дан иборат. Бундан ташқари, фактик йўқотишларда электр энергияси ҳисобининг хатолиги туфайли юзага келадиган $\Delta W_{\text{хат.}}$ таркибий қисми ҳам мавжуд:

$$\Delta W_{\text{факт}} = \Delta W_{\text{тех}} + \Delta W_{\text{ком}} + \Delta W_{\text{хат.}}, \quad (8.2)$$

Тижорат йўқотишлари электр энергиясини ўғирлаш, маиший истеъмолчиларнинг тўловлари билан ҳисоблагич кўрсаткичларининг мос келмаслиги ҳамда электр энергияси истеъмолини ҳисобга олиш ва назорат қилишни ташкил этишдаги нуқсонлар туфайли юзага келади.

Ҳисоб хатолиги туфайли келиб чиқадиган йўқотишларни ток трансформаторлари, кучланиш трансформаторлари ва барча электр ҳисоблагичларнинг метрологик хусусиятлари маълумотлари асосида ҳисоб-китоб йўли билан баҳолаш мумкин.

Техник йўқотишлар электр энергиясини электр тармоғи орқали узатишнинг физик жараёнлари билан боғлиқ:

$$\Delta W_{\text{тех}} = \Delta W_{\text{юкл.}} + \Delta W_{\text{доим.}}, \quad (8.3)$$

бу ерда: $\Delta W_{\text{юкл.}}$ — ўзгарувчан (юкга боғлиқ) йўқотишлар, $\Delta W_{\text{доим.}}$ — шартли-доимий йўқотишлар.

Ўзгарувчан ёки юклама йўқотишлар қуйидагиларни ўз ичига олади: узатиш линиялари симларидаги; куч трансформаторлари ва автотрансформаторлардаги; токни чекловчи реакторлардаги; юқори частотали алоқа тўсиқларидаги; ўлчаш трансформаторларидаги; подстанциялар тақсимлаш қурилмаларининг уловчи симлари ва шиналаридаги йўқотишлар. Сўнгги икки таркибий қисм алоҳида ҳисоблаш амалиёти йўқлиги ва ниҳоятда кичик бўлганлиги сабабли одатда ўртача шартлар учун ҳисобланган удельний йўқотишлар асосида аниқланади ва шартли-доимий йўқотишлар таркибига киритилади.

Доимий йўқотишлар салт ишлаш йўқотишлари ва иқлимий йўқотишлардан иборат.

Салт ишлаш йўқотишлари юкламага боғлиқ бўлмаган доимий йўқотишларни ўз ичига олади: куч трансформаторлари (автотрансформаторлари)да; компенсация қурилмаларида (синхрон ва тиристорли компенсаторлар, конденсатор батареялари ва шунт реакторлари); ҳисоб қурилмалари (оқим ва кучланиш трансформаторлари, ҳисоблагичлар ва уловчи симлар)да; вентилли разрядниклар ва ҳаддан ташқари кучланиш чеклагичларида; юқори частотали алоқа уланиш қурилмаларида; кабель изоляциясида.

Иқлимий йўқотишлар об-ҳаво шароитларига боғлиқ бўлиб, учта таркибий қисмни ўз ичига олади: 110 кВ ва ундан юқори ҳаво узатиш линияларида корона йўқотишлари; ҳаво линиялари изоляторлари бўйлаб оқиб кетиш тоқлари туфайли йўқотишлар; музликни эритиш учун электр энергияси сарфи.

Назарий жиҳатдан техник йўқотишларни электр энергияси берилиши ва истеъмолини қайд этувчи асбоблар ёрдамида ўлчаш мумкин, аммо амалда уларни қабул қилинадиган аниқликда ўлчаб баҳолаш мумкин эмас. Алоҳида

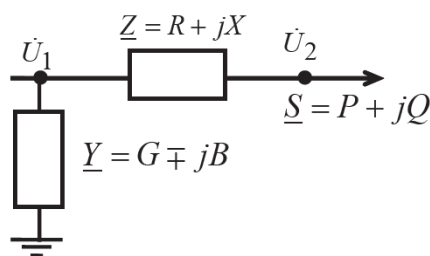
элемент учун бу йўқотишлар ва ҳисоб асбобларининг хатолик даражасининг бир-бирига яқинлиги билан изоҳланади.

Электр энергиясини қабул қилиш ва бериш нуқталари кўп бўлган объектлар (электр тармоғи) учун барча нуқталарда ҳисоб асбобларини ўрнатиш ва синхрон ўлчашлар ўтказиш амалда имконсиз (айниқса, қувват йўқотишлари учун).

Шундай қилиб, ҳақиқий тармоқ объектида техник йўқотишларни аниқ ўлчаб бўлмайди, техник йўқотишлар фақат электротехника қонунлари асосида ҳисоб-китоб йўли билан, қўлланилаётган ҳисоблаш моделининг хатолиги даражасидаги аниқлик билан олинади.

8.2. Тармоқларда электр энергияси йўқолишларини ҳисоблаш принциплари

Электр тармоқларида техник йўқотишларни таҳлил қилиш ва ҳисоблаш принципларини $\underline{S} = P + jQ$ тўлиқ қуввати 2-чи тугунга тармоқ орқали узатилиши мисолида кўрсатиш мумкин, тармоқнинг алмаштириш схемаси 8.1-расмда келтирилган.



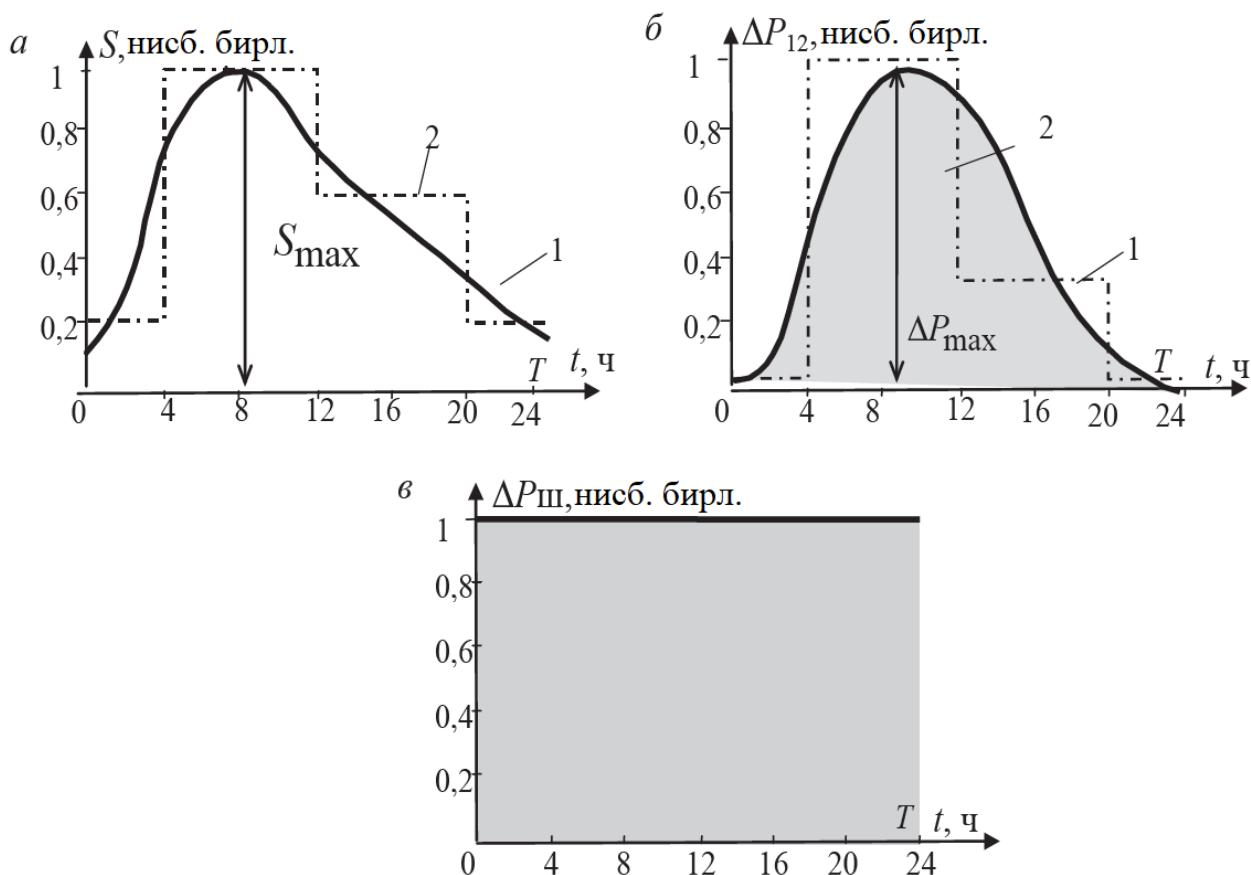
Расм -8.1. Тармоқнинг алмаштириш схемаси

Электр тармоқларида техник йўқотишларни ҳисоблаш усулларини кўриб чиққанда, ўрнатилган режим параметрларига боғлиқ бўлган ўзгарувчан (юклама) йўқотишлар $\Delta W_{\text{ўзг.}}$ ва режим параметрларидан мустақил бўлган шартли-доимий йўқотишлар $\Delta W_{\text{доим.}}$ алоҳида ҳисобланади [5, 6, 12].

8.2-расмда сутка давомидаги юкланишнинг тўлиқ қуввати модули $S(t)$ графиклари, узунлик актив қаршилиги R даги ўзгарувчан актив қувват йўқотишлари ва кесиш шунти G даги шартли-доимий актив қувват йўқотишлари нисбий бирликларда (суткадаги максимал қийматларига нисбатан) келтирилган.

$\Delta P_{12}(t)$ эгри остидаги майдон (8.2-расм, б да бўёқ билан белгиланган) R узунлик қаршилигида сутка давомида ёки умумий ҳолда T вақт давомида

ажралиб чиқадиган ўзгарувчан электр энергияси йўқотишлари $\Delta W_{\text{юк.}}$ ни ифодалайди:



Расм - 8.2. Графиклар

а - юкламалар; б - 1-2 участкалардаги қувват исрофлари; в - шунтдаги қувват исрофи.

$$\Delta W_{\text{ўзгар.}} = \Delta W_{\text{R}} \int_0^T \Delta P_{12}(t) \cdot dt. \quad (8.4)$$

Назарий жиҳатдан (8.4) формула бўйича, агар ўзгарувчан қувват йўқотишлари $\Delta P_{12}(t)$ нинг вақт бўйича ўзгариш қонунияти аниқ маълум бўлса, ўзгарувчан йўқотишларни тўлиқ аниқ ҳисоблаш мумкин.

Ҳар бир t вақт моменти учун узунлик бўйлаб ўзгарувчан актив қувват йўқотишлари $\Delta P_{12}(t)$ 7.1-бобда кўрсатилганидек, юклама қуввати (R қаршилиги орқали оқим) квадратиға боғлиқ равишда аниқланади:

$$\Delta P_{12}(t) = \frac{1}{U_2(t)^2} \cdot S^2(t) \cdot R, \quad (8.5)$$

шу сабабли T вақт давомидаги ўзгарувчан йўқотишларнинг аниқ қиймати қуйидагича ҳисобланади:

$$\Delta W_{\text{ўзгар.}} = \int_0^T \frac{S(t)^2}{U_2(t)^2} \cdot R dt. \quad (8.6)$$

Бироқ (8.6) ифода бўйича аниқ қиймат олиш учун бутун T вақт интервалида $S(t)$ нинг аналитик боғлиқлигини билиш керак, бу амалда имконсиз.

Одатда амалиётда узлуксиз графикдан доимий қувватли k та босқичли графикка ўтилади. Бунда ҳар бир k вақт интервали учун ўрнатилган режимни аниқ ҳисоблаб, ўзгарувчан қувват йўқотишлари юқори аниқликда топилади ва улар асосида R қаршилигида T вақт давомидаги электр энергияси йўқотишлари узлуксиз графикни босқичли график билан яқинлаштириш аниқлигида ҳисобланади:

$$\Delta W_{\text{ўзг}} = \sum_{i=1}^k \Delta P_{12,i}(t) R \Delta t_i. \quad (8.7)$$

Шартли-доимий йўқотишлар $\Delta W_{\text{доим}}$ ни ҳатто назарий жиҳатдан ҳам аниқ аниқлаш мумкин эмас, чунки шартли-доимий қувват йўқотишлари $\Delta P_{\text{ш}\Sigma}$ режим ўзгарганда ҳам доимий қолмайди – актив ўтказувчанликдаги ток алмаштириш схемасидаги тегишли узелдаги кучланиш ўзгариши билан бирга ўзгаради.

«Шартли-доимий йўқотишлар» терминининг қўлланиши шундан келиб чиқадики, доимий йўқотишларнинг қиймати етарлича кичик бўлиб, узеллардаги кучланиш ўзгариши билан боғлиқ уни аниқлаштиришдан одатда воз кечилади. Шу сабабли тармоқ шунтларидаги йўқотишлар доимий деб ҳисобланади ва узеллардаги номинал, келишилган ёки бошқа ўзгармас кучланишлардан фойдаланиб ҳисобланади. Кўпинча тармоқ алмаштириш схемаси кесиш шохларидаги актив ўтказувчанликлардаги йўқотишлар маълумотнома адабиётларида келтирилган доимий қийматлар шаклида олинади.

8.2-расм, в да шартли-доимий қувват йўқотишлари графиклари келтирилган, кривой остидаги майдон (бўёқ билан белгиланган) $\Delta P_{\text{ш}\Sigma}$ эквивалент кесиш ўтказувчанлиги G да сутка давомида ёки T вақт давомида ажралиб чиқадиган шартли-доимий электр энергияси йўқотишлари $\Delta W_{\text{доим}}$ ни ифодалайди:

$$\Delta W_{\text{доим.}} = \Delta P_{\text{ш}\Sigma} \cdot T. \quad (8.8)$$

Шартли-доимий йўқотишлар салт ишлаш йўқотишлари ва иқлимий йўқотишлардан иборат. Салт ишлаш ва иқлимий йўқотишларнинг тузилиши 7.1-бобда кўриб чиқилган.

Ҳаво ва кабель линиялари ҳамда трансформаторларда техник йўқотишларни ҳисоблаганда T соатлар сони сутка учун – 24 соат, ой учун – 720 ёки 744 соат, йил учун – 8760 соат қабул қилинади. Компенсация қурилмаларида (синхрон компенсаторлар, тўлиқ конденсатор қурилмалари, шунт реакторлари) техник йўқотишларни ҳисоблаганда T соатлар сони уларнинг ишлаш графикларига қараб танланади.

8.3. Ўзгарувчан электр энергияси йўқотишларини аниқлашнинг амалий усуллари

Тармоқдаги умумий техник электр энергияси йўқотишларини (8.2-расм) T вақт давомида, узунлик бўйлаб ўзгарувчан йўқотишларни (8.7) формула бўйича ва кесиш йўналишидаги шартли-доимий йўқотишларни (8.8) бўйича аниқлаб, қуйидагича топиш мумкин:

$$\Delta W_{\text{техн}} = \Delta W_{\text{ўзгар.}} + \Delta W_{\text{доим}} = \sum_{i=1}^k \frac{S_i^2}{U^2} R \cdot \Delta t_i + \Delta P_{\text{ш}\Sigma} \cdot T. \quad (8.9)$$

(8.9) ифодани юклама графиклари мавжуд бўлганда қўллаш мумкин, бироқ юклама графиклари бўлмаса, йўқотишларни графиклар бўйича аниқлаш доим ҳам иложи бўлавермайди. Бундан ташқари, графиклар бўйича йўқотишларни аниқлаш қувват йўқотишларини кўп марта ҳисоблашни талаб қилади.

Агар электр энергияси йўқотишларини юқори аниқликда баҳолаш талаб қилинмаса, соддароқ яқинлаштирилган усуллардан фойдаланиш мумкин.

Максимал йўқотишлар соатлари сони усули

Ушбу усулда максимал йўқотишлар соатлари сони τ ни аниқлаш талаб қилинади.

Максимал йўқотишлар соатлари сони тушунчасини тушунтириш учун юк графиги (8.2-расм, *a*) ва актив қувват йўқотишлари графигини (8.2-расм, *б*) таҳлил қиламиз. Расмларда максимал юк S_{max} ($\cos\varphi = \text{const}$ бўлганда P_{max}) ва унга мос максимал йўқотишлар ΔP_{max} белгиланган.

Максимал йўқотишлар соатлари сони – бу максимал юкда ишлаганда R да ажралиб чиқадиган йўқотишлар график бўйича ўзгариб турган юкда бутун T ишлаш вақти давомидаги йўқотишларга тенг бўладиган вақт:

$$\Delta W_R = \sum_{i=1}^k \frac{S_i^2}{U^2} \Delta P_i \cdot \Delta t_i = \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau.$$

Юклама графиги бўйича (6.4 формулада кўрсатилганидек) максимал қувват соатлари сонини топиш мумкин:

$$T_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^k P_i \cdot \Delta t_i}{P_{\max}} \quad (8.10)$$

Максимал йўқотишлар соатлари сони ҳам худди шундай, лекин актив қувват йўқотишлари графиги бўйича аниқланади:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta P_i \cdot \Delta t_i}{\Delta P_{\max}} \quad (8.11)$$

R қаршилигидаги қувват йўқотишлари ΔP ни қувват оқими ва участка охиридаги кучланиш бўйича осон аниқлаш мумкин (7.7). Агар юклама доимий бўлган ҳар бир k интервалдаги қувват йўқотишларини юклама қуввати ва унинг шиналаридаги кучланиш орқали топиб, (8.11) га қўйсак:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta P_i \cdot \Delta t_i}{\Delta P_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^k (S_i^2 / U_i^2) R \Delta t_i}{(S_{\max}^2 / U_{\max}^2) R},$$

бу ерда $U_{\max}$ — максимал режимда юклама шиналаридаги кучланиш.

Энди сутка давомида юк шиналаридаги кучланиш ўзгармас деб қабул қилсак, юклама графиги бўйича максимал йўқотишлар соатлари сонини қуйидагича топамиз:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2 \cdot \Delta t_i}{S_{\max}^2}. \quad (8.12)$$

Юклама таркиби ўзгармас бўлса ($\cos \varphi = \text{const}$) ва $P = S \cdot \cos \varphi$ ни ҳисобга олсак, (8.12) ни қуйидаги кўринишга келтириш мумкин:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k P_i^2 \cdot \Delta t_i}{P_{\max}^2} \quad (8.13)$$

(8.12) ва (8.13) ифодаларда қувватларни номинал, нисбий бирликларда ёки фойзда қўйиш мумкин.

Шундай қилиб, τ ни юк графиги ёки актив қувват йўқотишлари графиги мавжуд бўлганда аниқлаш мумкин. Бу исталган T давомлиликдаги (кўпинча сутка ва йил) юк графиклари бўйича максимал йўқотишлар соатлари сонини аниқлашга тегишли.

Йил учун $\tau_{\text{йил}}$ ни аниқлаганда одатда йиллик давомийлик графиги (6 – бўлимда тасвирланган) ишлатилади.

Шуни таъкидлаш керакки, электр тармоғи қанчалик мураккаб бўлса, тармоқ қаршиликларидаги қувват оқимлари юклама графикларидан шунчалик кўп фарқ қилади ва юклама графиклари бўйича максимал йўқотишлар соатлари сонини ҳисоблашда хатолик шунчалик катта бўлади.

Юклама графиклари бўлмаса, одатда типик истеъмолчилар (ёритгич, бир, икки ва уч сменали саноат юкламаси ва ҳоказо) учун йиллик максимал йўқотишлар соатлари $\tau_{\text{йил}}$ ва йиллик максимал қувват соатлари $T_{\text{max}}^{\text{йил}}$ ни бериб қўйишади.

$\tau_{\text{йил}}$ ва $T_{\text{max}}^{\text{йил}}$ маълум бўлса, юклама графикларисиз ҳам энергия йўқотишларини аниқлаш мумкин. Кўпинча йўқотишларни баҳолаганда фақат $T_{\text{max}}^{\text{йил}}$ маълум бўлади, $\tau_{\text{йил}}$ эса $\cos\varphi$ ни ҳисобга олган ҳолда олдиндан ҳисобланган эгри чизиклар (8.3-расм) бўйича ёки ўртача $\cos\varphi$ учун эмпирик формула бўйича аниқланади:

$$\tau_{\text{йил}} = (0,124 + T_{\text{max}}^{\text{йил}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 \quad (8.14)$$

Эгри чизиклар бўйича ва юқоридаги усул билан ҳисобланган τ кийматлари ўртасидаги фарқ жуда кам бўлгани учун одатда (8.14) формуладан фойдаланилади.

Бир неча ($i = 1, 2, \dots, m$) турли юклама графикларига эга юклама тугунлари бўлган тармоқда ўзгарувчан йўқотишлар ўртача оғирликли максимал йўқотишлар соатлари сони бўйича аниқланади:

$$\Delta W_{\text{ўзгар.}} = \tau_{\text{ўрт. оғир.}} \sum_{i=1}^m \Delta P_{\text{max}i} \quad (8.15)$$

бу ерда $\tau_{\text{ўрт. оғир.}}$ — ўртача оғирликли максимал йўқотишлар соатлари сони.

Тармоқдаги ўртача оғирликли максимал йўқотишлар соатлари сони тугунларнинг максимал юкламалари квадратига боғлиқ равишда аниқланади:

$$\tau_{\text{ўрт. оғир.}} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{\text{max}i}^2 \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^m S_{\text{max}i}^2} \quad (8.16)$$

8.4. Тармоқ элементларида энергия йўқотишларини ҳисоблашнинг хусусиятлари

Электр узатиш линияларидаги тўлиқ электр энергияси йўқотишлари икки таркибий қисмдан иборат:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_R + \Delta W_{\text{ш}\Sigma}, \quad (8.17)$$

бу ерда ΔW_R — ўзгарувчан йўқотишлар, $\Delta W_{\text{ш}\Sigma}$ — шартли-доимий йўқотишлар.

Ўзгарувчан йўқотишлар ΔW_R қаршилиги орқали оқадиган токдан (қувват оқими ва кучланишдан) боғлиқ бўлиб, ҳаво симларида ёки кабель томирларида иссиқлик шаклида ажралиб чиқади:

$$\Delta W_R = \sum_{i=1}^k \frac{S_i^2}{U_i^2} R \Delta t_i = \frac{S_{\text{max}}^2}{U^2} \cdot R \cdot \tau. \quad (8.18)$$

Шартли-доимий йўқотишлар линия шунтларида кўриб чиқиладиган T давр учун:

$$\Delta W_{\text{ш}\Sigma} = \Delta P_{\text{ш}\Sigma} \cdot T \quad (8.19)$$

булар ҳаво линияларида коронадаги ($\Delta P_{\text{кор}}$) ва изоляторлар бўйлаб оқиб кетиш тоқларидаги ($\Delta P_{\text{окиш.}}$) актив қувват йўқотишларининг йиғиндиси, шунингдек кабель линиялари изоляциясидаги йўқотишлар ($\Delta P_{\text{каб.из.}}$) билан белгиланади:

$$\Delta P_{\text{ш}\Sigma} = \Delta P_{\text{кор.}\Sigma} + \Delta P_{\text{окиш.}} + \Delta P_{\text{каб.из.}}$$

Линия электр узатиш шунтларидаги йўқотишларни ҳисоблаганда (8.2-бўлимда айтилганидек) T сутка учун 24 соат, йил учун 8760 соат қабул қилинади.

Максимал йўқотишлар соатлари сони τ сутка учун — суткалик график бўйича, йил учун — йиллик давомийлик графиги, эгри чизиқлар (8.3-расм) ёки (8.14) формула бўйича аниқланади.

Трансформаторлардаги электр энергияси йўқотишлари ҳам икки қисмдан иборат:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_R + \Delta W_{\text{ш}\Sigma}$$

бу ерда ΔW_R — ўзгарувчан (юклама) йўқотишлар, $\Delta W_{\text{ш}\Sigma}$ — шартли-доимий йўқотишлар.

Ўзгарувчан йўқотишлар ΔW_R трансформаторнинг юкланишидан (токдан ёки қувват оқимидан) боғлиқ бўлиб, ўрамалар мисларидаги R қаршиликларида иссиқлик шаклида ажралиб чиқади ва одатда қисқа туташув тажрибаси параметрларидан фойдаланиб ҳисобланади.

Шартли-доимий йўқотишлар магнит ўтказгичли пўлатдаги айланма тоқлар билан боғлиқ бўлиб, кўриб чиқиладиган T даврда трансформаторнинг салт ишлаш йўқотишлари бўйича аниқланади.

Параллел ишловчи n та икки ўрамли трансформаторлардаги умумий электр энергияси йўқотишлари:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\text{ш}\Sigma} + \Delta W_{\text{R}} = \Delta P_{\text{салт.иш}} \cdot Tn + \frac{1}{n} \Delta P_{\text{қ.т.}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \tau. \quad (8.20)$$

Уч чўлғамли трансформаторларда ΔW_{R} ни аниқлаганда шуни эътиборга олиш керакки, турли чўлғамлар учун максимал йўқотишлар соатлари сони τ_i одатда бир хил бўлмайди. Бу турли чўлғамларга уланган юклама графикларининг шакли фарқ қилиши билан боғлиқ.

Шу шароитда параллел ишлаётган n та уч чўлғамли трансформаторлардаги умумий йўқотишлар:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\text{ш}\Sigma} + \Delta W_{\text{R}} = n \Delta P_{\text{салт.иш}} \cdot T + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \Delta P_{\text{қ.т.}i} \left(\frac{S_i}{S_{\text{ном}}} \right)^2. \quad (8.21)$$

Ўзини ўзи текшириш саволлари

1. Электр тармоқларидаги умумий фактли электр энергияси йўқотишлари қайси таркибий қисмлардан иборат?
2. Техник йўқотишлар қайси икки асосий гуруҳга бўлинади?
3. Ўзгарувчан йўқотишлар асосан қайси элементларда юзага келади?
4. Шартли-доимий йўқотишлар қайси икки гуруҳга бўлинади?
5. Максимал йўқотишлар соатлари сони τ нимани ифодалайди ва у қандай ҳисобланади?
6. Юклама графиги бўлмаса, йиллик максимал йўқотишлар соатлари сони тйил қандай аниқланади?
7. Трансформаторлардаги умумий электр энергияси йўқотишларининг формуласи қандай?
8. Ҳаво электр узатиш линияларидаги шартли-доимий йўқотишларнинг асосий таркибий қисмлари қайсилар?
9. Электр тармоғида бир неча турли юклама графиклари бўлганда ўзгарувчан йўқотишлар қандай ҳисобланади?
10. Техник йўқотишларни нега амалда ўлчаб бўлмайди ва асосан қандай усул билан аниқланади?

9. ОЧИҚ ТАРМОҚЛАРНИНГ ЎРНАТИЛГАН РЕЖИМЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

Электр энергия тизими ва унинг алоҳида ҳудудларининг ўрнатилган режимларини ҳисоблашнинг мақсади — ушбу режимнинг параметрларини аниқлаш ва уларни рухсат этилган қийматлар билан солиштиришдан иборат. Ўрнатилган режим параметрларининг рухсат этилган соҳалари ДавСТ 32144–2013 талабларига мувофиқ истеъмолчилар шиналаридаги электр энергияси сифати бўйича белгиланади [2, 4, 5, 6].

Ўрнатилган режимни ҳисоблаганда қуйидаги параметрлар аниқланади:

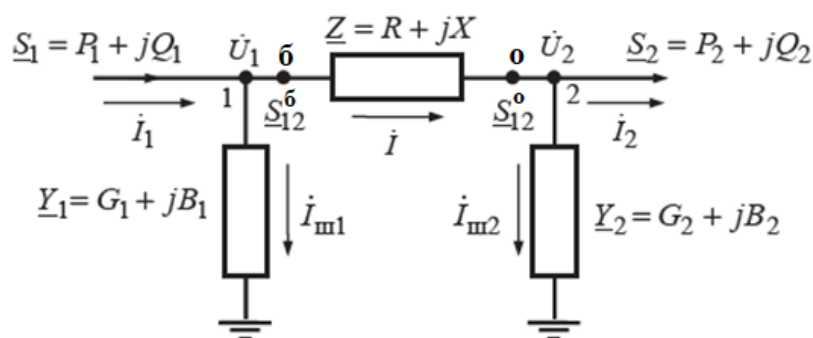
- тармоқнинг барча шохларидаги фазали тоқлар векторлари $\vec{I}$;
- тармоқнинг барча тугунларидаги фазалар орасидаги (линиявий) кучланишлар векторлари $\vec{U}$;
- тармоқнинг барча узунлик шохларидаги уч фазали қувват оқимлари $\underline{S}_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij}$ ($ij = 1, 2, \dots, n; j = i + 1$);
- барча узунлик элементларидаги қувват йўқотишлари $\Delta S_{ij} = \Delta P_{ij} + j\Delta Q_{ij}$ ва тармоқ шунтларидаги $\Delta \underline{S}_{mi} = \Delta P_{mi} \pm j\Delta Q_{mi}$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Бунда $S = P + jQ$ ифодаси тўлиқ қувватнинг актив-индуктив хусусиятига мос келади. Тармоқнинг алмаштириш схемаси бир чизиқли кўринишда берилади ва ҳар бир участкасининг узунлик фазали қаршиликлари $Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$ ҳамда ҳар бир тугуннинг кесиш фазали ўтказувчанликлари $Y_i = G_i \pm jB_i$ билан тавсифланади.

Ўрнатилган режим параметрларини кўриб чиқишни тоқлар ва кучланишларнинг вектор диаграммаларини таҳлил қилишдан бошлаш қулайроқдир.

9.1. Тармоқ участкаси тоқлари ва кучланишларининг вектор диаграммалари

Мисол тариқасида вектор диаграмма ҳаво линии учун П-шаклли алмаштириш схемаси асосида тузилган (9.1-расм).



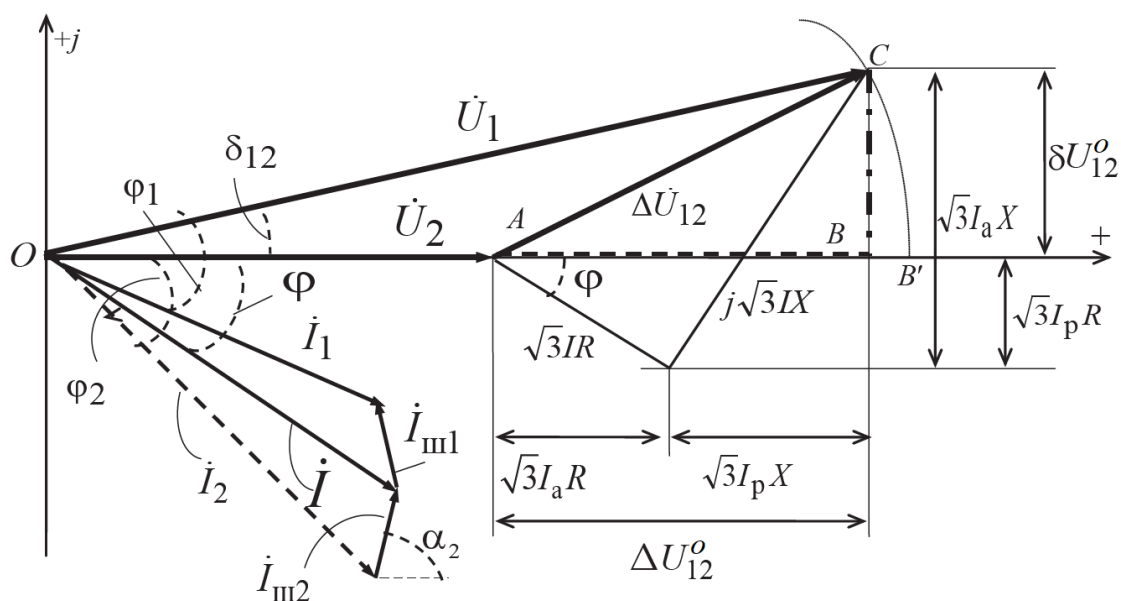
9.1-расм. Тармоқ участкасининг алмаштириш схемаси

Участка 1–2 ни бошланиши «б» (начало) ва охири «о» (конец) нукта билан белгиланган. Токнинг $\bar{I}$ ижобий йўналиши $\underline{Z}$ қаршилиги орқали ўтган деб олинган. $\bar{U}_1$ ва $\bar{U}_2$, 1 ва 2 тугундаги линиявий кучланиш, $\bar{I}_{ш1}$ ва $\bar{I}_{ш2}$ – шунтлардаги фазали тоklar, $\bar{I}_2$ – тугундаги юкламанинг фаза токи.

Вектор диаграмма тузишнинг муҳим шarti – 2 тугундаги юкламанинг (S_2) хусусиятини олдиндан билишдир. Ҳақиқий комплекс юкламаларнинг аксарият истеъмолчилари фаол ($R_{ю}$) ва индуктив ($X_{ю}$) қаршиликлар билан ифодаланса бўлади, яъни юклама актив-индуктив хусусиятга эга: $S_2 = P_2 + jQ_2$.

Бу шуни билдирадики, юклама токи I_2 тугунда кучланиш U_2 дан φ_2 бурчакка орқада қолади $\bar{I}_2 = I_2 \cdot e^{-j\varphi_2}$, φ_2 бурчаги юкламанинг актив R_6) ва индуктив X_6 қаршиликлари, шунингдек актив P_2 ва индуктив Q_2 қувватлари нисбати билан аниқланади (5-бўлимга қаранг).

9.2 – расмда, 1–2 участкаси токлари ва кучланишларининг вектор диаграммаси (узатиш охири маълумотлари бўйича) келтирилган.



Расм – 9.2. Узатиш охири маълумотлари бўйича тармоқ участкаси токлари ва кучланишларининг вектор диаграммаси

Комплекс текисликнинг ўқлари синхрон айланувчи векторларни кўрсатиш учун шундай йўналтирилганки, ҳақиқий ўқ узатиш охиридаги кучланиш вектори $\bar{U}_2$ билан устма-уст тушади, яъни: $\bar{U}_2 = U_2 \cdot e^{j0^\circ}$ (фаза ноль деб олинган).

Юклама таркибий токнинг $I_2 = I_2 \cdot e^{-j\varphi_2}$ фаол-индуктив характерга эга бўлишини аниқлайди, шунинг учун $\bar{I}_2$ токи тугундаги кучланиш $\bar{U}_2$ дан φ_2

бурчакка орқада қолади, $\bar{I}_2$ токи вектор диаграммада пунктир чизик билан кўрсатилган.

Шунт $\underline{Y}_2$ нинг I_2 шунт токини шунтнинг ўтказувчанлиги қиймати ва тугун кучланиши $\bar{U}_2$ ни ҳисобга олган ҳолда аниқлаш мумкин:

$$\bar{I}_{ш2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{U}_2 \cdot \underline{Y}_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{U}_2 \frac{G}{2} + j \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \bar{U}_2 \cdot \frac{B}{2} = \bar{I}_{ш2} \cdot e^{j\alpha_2}. \quad (9.1)$$

(9.1) дан кўриниб турибдики, шунт токи $\bar{I}_{ш2}$ тугун 2 даги кучланишдан α_2 бурчакка олдинда боради ва актив-сиғимли хусусиятга эга. α_2 бурчаги шунтнинг актив G_2 ва сиғимли B_2 ўтказувчанликлари нисбати билан белгиланади.

1–2 участкасидаги ток $\bar{I}$ Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича 2-тугундан чиқувчи тоklar йиғиндиси сифатида аниқланади:

$$\bar{I} = \bar{I}_2 + \bar{I}_{ш2} \quad (9.2)$$

Расм 9.2 да $\bar{I}$ токи = $\bar{I}_2$ ва $\bar{I}_{ш2}$ шунт векторларининг йиғиндисини ёпади, актив-индуктив характерга эга $\bar{I} = I \cdot e^{-j\varphi}$ ва $\bar{U}_2$ кучланишидан φ бурчакка орқада қолади.

Тармоқ участкаси бошидаги 1-тугундаги кучланишни, $\bar{I}$ токи йўналишини ҳисобга олган ҳолда, участка охиридаги $\bar{U}_2$ кучланишга $\underline{Z}$ қаршилигидаги кучланиш тушиши вектори $\Delta \bar{U}_{12}$ ни қўшиш орқали топиш мумкин:

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 + \Delta \bar{U}_{12} = \bar{U}_2 + \sqrt{3} \cdot \bar{I} \cdot \underline{Z} = \bar{U}_2 + \sqrt{3} \cdot \bar{I} \cdot R + j \cdot \sqrt{3} \cdot \bar{I} \cdot X. \quad (9.3)$$

$\bar{I}$ ток векторини актив I_a ва реактив I_p таркибларига ажратишни ҳисобга олсак, бу тарзда $\bar{I} = I_a - jI_p$, бунда $I_a = I \cdot \cos\varphi$, $I_p = I \cdot \sin\varphi$.

Шунингдек, U_2 кучланиши $\bar{U}_2 = U_2 \cdot e^{j0^\circ}$ эканлигини ва унинг векторини фақат U_2 модули билан алмаштириш мумкинлигини инобатга олиб, тармоқ участкаси бошидаги 1 – тугундаги кучланишнинг ифодаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\bar{U}_1 = U_2 + \sqrt{3} \cdot (I_a - jI_p) \cdot (R + jX) = U_2 + \sqrt{3} \cdot (I_a \cdot R + I_p \cdot X) + j \cdot \sqrt{3} \cdot (I_a X + I_p R). \quad (9.4)$$

(9.4) ифодадан кўриниб турибдики, $\sqrt{3} \cdot (I_a \cdot R + I_p \cdot X)$ таркибий қисми модуль билан ва демак, U_2 вектори билан бир йўналишда жойлашган, $\sqrt{3} \cdot (I_a X +$

$I_p R$) таркибий қисми эса модулга ва U_2 векторига нисбатан 90° бурчак остида йўналган.

Расм 9.2 да 1-тугундаги кучланишни 2-тугундаги U_2 кучланиши ва кучланиш тушиши вектори ΔU_{12} нинг йиғиндиси сифатида олиш кўрсатилган. Кучланиш тушиши векторини U_2 вектори йўналиши бўйича унинг проекциялари орқали ифодалаш мумкин:

$$\Delta \bar{U}_{12} = \Delta U_{12}^0 + j \cdot \delta U_{12}^0. \quad (9.5)$$

ΔU_{12}^0 таркибий қисми $\Delta \bar{U}_{12}$ кучланиш тушиши векторининг маълум $\bar{U}_2$ вектори бўйлаб йўналган қисми бўлиб, кучланиш тушиши векторининг узунлигига таркибий қисми деб аталади, δU_{12}^0 проекцияси эса $\bar{U}_2$ векторига кўндаланг йўналишга эга ва кучланиш тушиши векторининг кўндаланг таркибий қисми деб аталади.

(9.3) - (9.5) ифодаларни таққослаганда кучланиш тушиши вектори $\Delta \bar{U}_{12}$ нинг проекциялари учун қуйидаги ифодаларни олиш мумкин:

$$\Delta U_{12}^0 = \sqrt{3} \cdot (I_a \cdot R + I_p \cdot X) \quad (9.6)$$

$$\delta U_{12}^0 = \sqrt{3} \cdot (I_a X + I_p R)$$

Расм 9.2 да узунлама таркибий қисми ΔU_{12}^0 AB кесма сифатида, кўндаланг таркибий қисми эса δU_{12}^0 BC кесма сифатида тасвирланган.

Агар энди (9.3) ифодага кучланиш тушиши вектори $\Delta \bar{U}_{12}$ ўрнига унинг проекцияларини қўйсак ва $\bar{U}_2 = U_2 \angle 0^\circ$ эканлигини ҳисобга олсак, 1-тугундаги кучланиш вектори қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 + \Delta \bar{U}_{12} = U_2 + (\Delta U_{12}^0 + j \delta U_{12}^0) = (U_2 + \Delta U_{12}^0) + j \delta U_{12}^0 = U_1 \cdot e^{-j\delta_{12}}. \quad (9.7)$$

$\bar{U}_1$ кучланиш векторининг модули U_1 ва узатиш бошидаги кучланиш охиридаги кучланишдан неча градусга олдинда кетишини аниқловчи δ_{12} бурчаги OBC тўғри бурчакли учбурчакдан қуйидаги нисбатлар бўйича аниқланади:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{12}^0)^2 + (\delta U_{12}^0)^2}; \quad (9.8)$$

$$\delta_{12} = \arctg \frac{\delta U_{12}^0}{U_2 + \Delta U_{12}^0}; \quad (9.9)$$

$$\bar{U}_1 = U_1 \cdot e^{-j\delta_{12}} = U_1 |\delta_{12}^\circ$$

Вектор диаграммасини тугаллаш учун Y_1 шунтининг $\bar{I}_{ш1}$ ток векторини олиш керак. Ток U_1 кучланиш векторига нисбатан қурилади ва уни α бурчакка олдинда боради, бунда $\alpha_1 = \alpha_2$, чунки шунтларнинг ўтказувчанликлари тенг $Y_1 = Y_2$.

Шуни эсда тутиш керакки, тугунлар шунт тоқларининг мутлақ бурчаклари ҳар хил: 2-туғун шунт тоқининг абсолют бурчаги ($\varphi_{ш2} = \alpha_2$) ва ток $I_{ш2} \cdot e^{-j\alpha_2}$, чунки $\bar{U}_2 = U_2 \cdot e^{-j\alpha_2} = U_2 |0^\circ$; 1-туғун шунт тоқ бурчаги ($\varphi_{ш1} = \alpha_1 + \delta_{12}$)

ва шунт тоқ $I_{ш1} = I_{ш1} \cdot e^{j(\alpha_2 + \delta_{12})}$, чунки $\bar{U}_1 = U_1 \cdot e^{-j\delta_{12}} = U_1 |\delta_{12}^\circ$.

Участка бошидаги ток $\bar{I}_1 = \bar{I} + \bar{I}_{ш1}$ бўлиб, U_1 векторидан φ_1 бурчакка орқада қолади.

Электр тармоғи барқарор режимларини ҳисоблашда юкламалар одатда $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$ кўринишдаги қувват билан берилганлиги сабабли, кучланиш тушишининг узунлигига ва кўндаланг таркибий қисмларини қувватлар орқали ифодалаш ифодаларини олиш талаб қилинади.

Участканинг бошида ва охиридаги актив ва реактив қувват оқимлари тармоқ участкаси 1–2 даги ток таркиблари ва участка бошидаги ҳамда охиридаги кучланишлар орқали осонликча аниқланади:

$$P_{12}^6 = \sqrt{3} \cdot I_a \cdot U_1; \quad Q_{12}^6 = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot U_1; \quad (9.10)$$

$$P_{12}^0 = \sqrt{3} \cdot I_a \cdot U_2; \quad Q_{12}^0 = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot U_2;$$

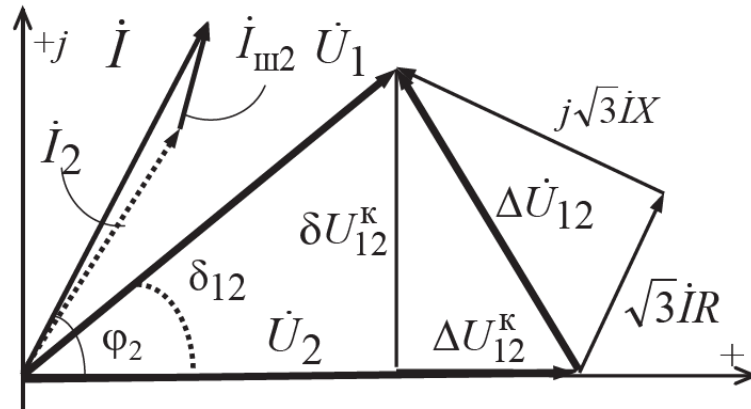
Агар (9.10) дан участка 1–2 даги ток таркибларини ифодалаб, уларни (9.6) га қўйсак, кучланиш тушиши вектори ΔU_{12} нинг узунлигига ва кўндаланг таркибий қисмларини участка охири параметрлари (қувватлари ва кучланиши) орқали ифодалаш мумкин.

Узатиш охири қувватлари ва кучланиши орқали кучланиш тушиши вектори ΔU_{12} нинг узунлигига ва кўндаланг таркибий қисмлари қуйидагича бўлади:

$$\Delta U_{12}^0 = \frac{P_{12}^0 \cdot R + Q_{12}^0 \cdot X}{U_2} \quad (9.11)$$

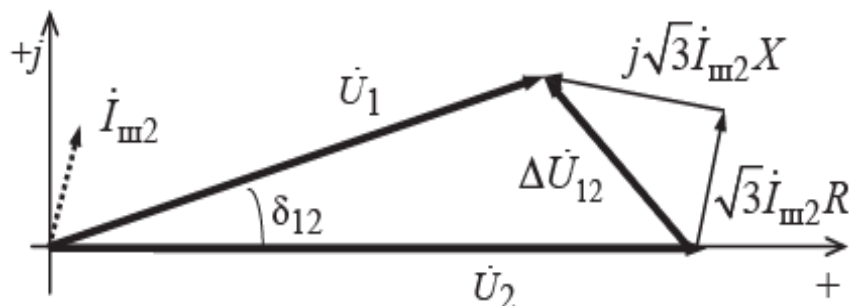
$$\Delta U_{12}^0 = \frac{P_{12}^0 \cdot X + Q_{12}^0 \cdot R}{U_2}.$$

Вектор диаграммалар электр узатиш линияларининг турли иш режимларини таҳлил қилиш имконини беради. Хусусан, вектор диаграммадан яхши кўриниб турибдики, юклама қуввати актив-сиғимли характерга эга бўлганда участка охиридаги кучланиш бошидагидан юқори бўлиши мумкин (расм 9.3).



Расм – 9.3. Юклама сиғимли характерга эга бўлганда кучланишлар ва тоқларнинг вектор диаграммаси

Алоҳида қизиқиш уйғотадиган ҳолат – электр узатиш линиясининг бўш юриш режимидир. Бунда $\bar{I}_2 = 0$ бўлиб, ЭУЛ даги кучланиш тушиши фақат шунт токи билан аниқланади, бу ток эса амалда сиғимли характерга эга бўлади $\bar{I}_{ш2} \approx jI_{p2}$ ва линиянинг заряд токи $\bar{I}_{ш2}$ деб аталади. Бундай ҳолатда электр узатиши охиридаги кучланиш доимо бошидагидан юқори бўлади (расм 9.4), баъзан рухсат этилмайдиган даражага етиши мумкин ва уни тартибга солиш талаб қилинади.



Расм - 9.4. Бўш юриш режимдаги электр узатиш линияси кучланишларининг вектор диаграммаси

Узатиш боши ва охири кучланишлари ўртасидаги боғланишнинг тегишли формулалари куйидагича:

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 + \sqrt{3} \cdot \bar{I}_{\text{ш2}} \cdot R + j \bar{I}_{\text{ш2}} \cdot X; \quad (9.12)$$

агар

$$\bar{I}_{\text{ш2}} = j I_{\text{р2}} \text{ ва } \bar{U}_2 = |0^\circ$$

унда

$$\bar{U}_1 = U_2 - \sqrt{3} \cdot I_{\text{р2}} R \quad (9.13)$$

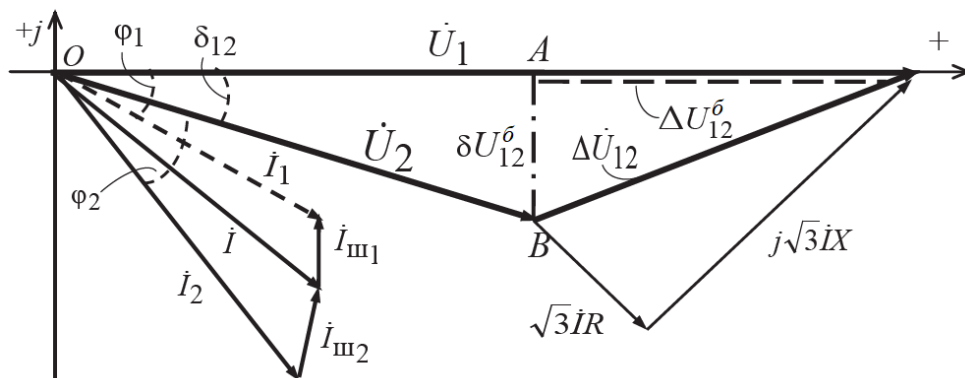
$$\bar{U}_1 = U_2 - \frac{Q_{\text{ш2}} \cdot X}{U_2} + j \frac{Q_{\text{ш2}} \cdot R}{U_2}, \quad (9.14)$$

бу ерда $Q_{\text{ш2}} = U_2^2 \cdot \frac{B}{2} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р2}} \cdot U_2$ – линия охиридаги заряд қуввати.

Тармоқ иш режимларини таҳлил қилишда иккита тушунча қўлланади: кучланиш тушиши ва кучланиш йўқотиши.

Кучланиш тушиши ΔU_{12} – бу тармоқ участкаси учларидаги кучланишларнинг вектор айирмаси ($U_1 - U_2$) (вектор диаграммада, расм 9.2 да AC кесма сифатида тасвирланади), кучланиш йўқотиши эса участка учларидаги кучланишлар модулларининг айирмаси ($U_1 - U_2$) (расм 9.2 да AB кесма).

Тармоқ участкасининг кучланишлар ва тоklar вектор диаграммаларини узатиш боши параметрлари маълум бўлганда ҳам қуриш мумкин (расм 9.5), яъни маълум бўлган U_1 кучланишни комплекс ўқ билан мос қилиб, 1-нуқтадан бошлаб.



Расм – 9.5. Узатиш боши маълумотлари бўйича тармоқ участкаси токлари ва кучланишларининг вектор диаграммаси

Узатиш боши параметрлари бўйича кучланишлар ва тоklar вектор диаграммасини қуришда векторларнинг ўзаро жойлашуви расм 9.2 да

кўрсатилганидан фарқ қилмайди, фақат векторларни қуриш тартиби ўзгаради: $(\bar{U}_1, \bar{I}_1, \bar{I}_{ш1}, \bar{I}, \Delta U_{12}^6, \delta \Delta U_{12}^6, \bar{U}_2, \bar{I}_{ш2}, \bar{I}_2)$.

Тармоқ участкасининг охиридаги кучлаиш вектори $\dot{U}_2$ модули ва ушбу кучланиш участкасининг бошидаги кучланиши $\dot{U}_1$ дан нечага орқада қолишини кўрсатувчи δ_{12} бурчаги ОАВ учбурчагидан қуйидаги нисбатлар бўйича аниқланади:

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{12}^6)^2 + (\delta \cdot U_{12}^6)^2}; \quad (9.15)$$

$$\delta_{12} = \arctg \frac{-\delta \cdot U_{12}^6}{U_1 - \Delta U_{12}^6}; \quad (9.16)$$

$$\dot{U}_2 = U_2 \cdot e^{-j\delta_{12}} = U_2 | - \delta_{12}$$

Кучланиш тушиши векторини маълум бўлган $\dot{U}_1$ кучланиши йўналиши бўйлаб ажратсак, участкаси бошидаги маълумотлар асосида кучланиш тушуши векторининг бўйлама ΔU_{12} ва кўндаланг δU_{12} таркиблари учун ифодаларни осонгина олиш мумкин. ΔU_{12} ва δU_{12} ни тоқлар орқали ифодаловчи формулалар аввал (9.6) да келтирилганга бутунлай ўхшаш кўринишга эга бўлади.

$$\Delta U_{12}^6 = \sqrt{3} \cdot (I_a \cdot R + I_p \cdot X)$$

$$\delta U_{12}^6 = \sqrt{3} \cdot (I_a X + I_p R)$$

Эътибор бериш керакки, мос равишдаги координаталар тизими ўзгарганлиги сабабли I_a ва I_p тоқларнинг қийматлари ҳам ўзгаради.

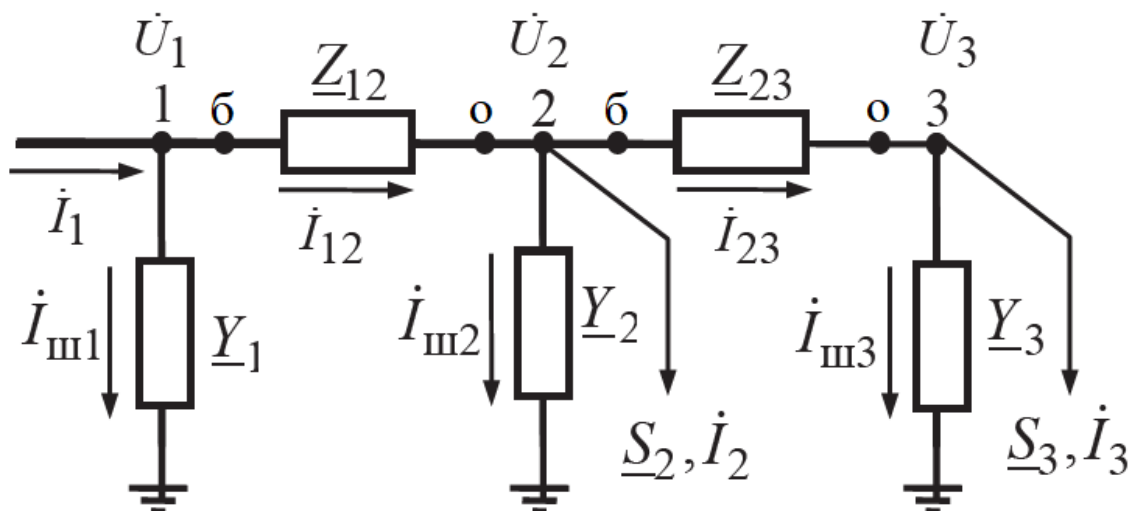
Кучланиш тушуши вектори $\Delta \dot{U}_{12}$ нинг бўйлама ва кўндаланг таркибларини участкаси бошидаги кучланиш ва қувватлар орқали ифодаловчи формулалар қуйидаги кўринишга эга:

$$\Delta U_{12}^6 = \frac{P_{12}^6 \cdot R + Q_{12}^6 \cdot X}{U_2} \quad (9.17)$$

$$\Delta U_{12}^o = \frac{P_{12}^6 \cdot X + Q_{12}^6 \cdot R}{U_2}.$$

9.2. Тармоқлашган тармоқ кучланишларининг ва токларининг вектор диаграммалари

Тармоқлашган тармоқнинг токлари ва кучланишлари вектор диаграммаларини иккита юклама тугунли радиал тармоқ мисолида кўриб чиқиш мумкин (9.6-расм).



Расм - 9.6. Тармоқлашган тармоқнинг алмаштириш схемаси

Вектор диаграммани қуриш аввалги ҳолатдаги каби (9.1-параграф) электр узатишнинг охиридан (3-нуқта) бошланади, яъни вектор диаграммаларни қуришда 3-тугун кучланиши берилган ва ҳақиқий ўқ билан устма-уст тушади деб ҳисобланади: $\dot{U}_3 = U_3 \cdot e^{j^0}$ (9.7-расм).

3-тугун юклама токи қувват ва 3-тугун кучланиши орқали аниқланади: $\dot{I}_3 = \dot{S}_3 / \sqrt{3} \cdot \dot{U}_3$. Ток $\dot{I}_3$ фаол-индуктив характерга эга ва $\dot{U}_3$ кучланишидан φ_3 бурчакка орқада қолади.

3-тугун шунти актив-сигимли характерга эга: $\dot{Y}_3 = \frac{G_{23}}{2} + j \frac{B_{23}}{2}$, шунт токи қуйидаги нисбат бўйича топилади: $\dot{I}_{ш3} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_3 \cdot \underline{Y}_3$,

$$\dot{I}_{ш3} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_3 \cdot \underline{Y}_3 = \frac{\dot{U}_3}{2\sqrt{3}} + j \frac{\dot{U}_3}{2\sqrt{3}}$$

Шунт токи $\dot{I}_{ш3} = I_{ш3} e^{\pm j\alpha_3}$ кучланиш $\dot{U}_3$ дан α_3 бурчакка олдинда боради, шунинг учун ток $I_{ш3}$ нинг мутлақ бурчаги $\varphi_{ш3} = \alpha_3$ га тенг бўлади чунки $\dot{U}_3 = U_3 \cdot e^{j0^\circ} = U_3 |0^\circ$.

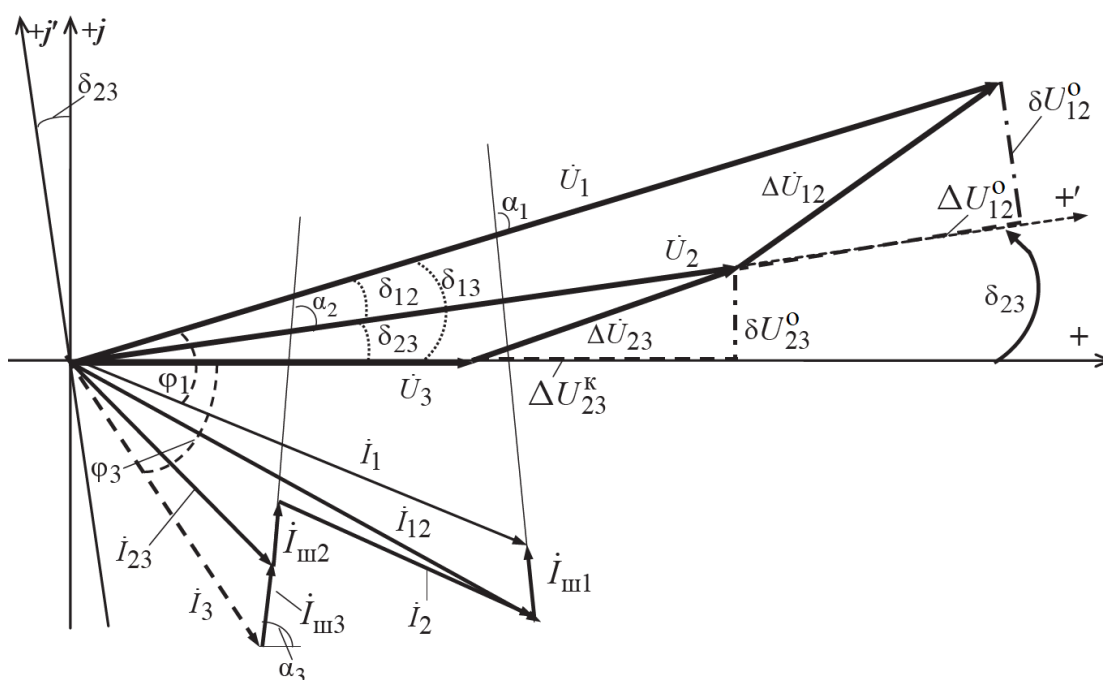
Кейин Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича 2–3 участкасидаги токни топамиз: $\dot{I}_{23} = \dot{I}_3 + \dot{I}_{ш3}$

Ушбу участкадаги кучланиш тушиш вектори $\Delta \dot{U}_{23}$ ни 2–3 участкаси охири параметрлари бўйича ҳисоблаб топиш мумкин ва уни маълум бўлган $\dot{U}_3$ вектори йўналишига нисбатан бўйлама ва кўндаланг проекциялар кўринишида ифодалаш мумкин:

$$\Delta \bar{U}_{23} = \sqrt{3} \cdot \bar{I}_{23} \cdot Z_{23};$$

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_3 + \Delta \bar{U}_{23};$$

$$\Delta \bar{U}_{23} = \Delta U_{23}^o + j\delta U_{23}^o$$



9.7-расм. Тармоқлашган тармоқнинг токлари ва кучланишлари вектор диаграммаси

Кейин 2- тугундаги кучланиш $\bar{U}_2$ нинг модулини ва бурчагини топиш мумкин:

$$U_2 = \sqrt{(U_3 + \Delta U_{23}^o)^2 + (\delta U_{23}^o)^2};$$

$$\delta_{23} = \arctg \frac{\delta U_{23}^o}{U_3 + \Delta U_{23}^o};$$

$$\dot{U}_2 = U_2 \cdot e^{j\delta_{23}} = U_2 | \underline{\delta_{23}},$$

бу ерда $\delta_{23} - \bar{U}_2$ кучланиш бурчаги $\bar{U}_3$ кучланишига нисбатан.

Кейин қулайлик учун координата ўқларини δ_{23} бурчакка айлантирамиз — шунда янги (+') ўқ айнан $\bar{U}_2$ вектори билан устма-уст тушади ва вектор диаграмманинг кейинги қурилишини янги ўқларда (+', +j') амалга оширамиз. 2-тугун шунти $\bar{I}_{ш2}$ актив-сиғимли характерга эга,

$$\underline{Y}_2 = \frac{G_{12} + G_{23}}{2} + j \frac{B_{12} + B_{23}}{2},$$

шунт токи қуйидаги нисбат бўйича топилади:

$$\bar{I}_{ш2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{U}_2 \cdot \underline{Y}_2 = \frac{\bar{U}_3(G_{12}+G_{23})}{2\sqrt{3}} + j \frac{\bar{U}_3(B_{12}+B_{23})}{2\sqrt{3}}.$$

1–2 участкасидаги токни Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича аниқлаш мумкин: $\bar{I}_{12} = \bar{I}_{23} + \bar{I}_{ш2} + \bar{I}_2$. Ушбу участкадаги кучланиш тушиши вектори $\Delta \bar{U}_{12}$ топилган $\bar{U}_2$ вектори йўналишига нисбатан бўйлама ва кўндаланг проекциялар кўринишида ифодаланади, у янги (+') ўқи билан устма-уст тушади:

$$\Delta \bar{U}_{12} = \sqrt{3} \bar{I}_{12} \cdot Z_{12};$$

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 \cdot \Delta \bar{U}_{12};$$

$$\Delta \bar{U}_{12} = \Delta U_{23}^o + j \delta U_{12}^o;$$

Кейин 1-тугундаги кучланиш $\bar{U}_1$ нинг модулини ва бурчагини топиш мумкин:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{23}^o)^2 + (\delta U_{12}^o)^2};$$

$$\delta_{12} = \arctg \frac{\delta U_{12}^o}{U_2 + \Delta U_{12}^o},$$

бу ерда $\delta_{12} - \bar{U}_1$ кучланишининг $\bar{U}_2$ га нисбатан бурчаги бўлиб, 1- тугун кучланиши 2- тугун кучланишига нисбатан бурчак билан қуйидаги кўринишга эга: $\bar{U}_1 = U_1 e^{j\delta_{12}}$.

Тармоқнинг барқарор режим параметрларини баҳолаш учун барча узеллар кучланишлари векторларини берилган кучланишга (масалан, 3- тугун кучланишига) нисбатан мутлақ бурчаклари билан билиш талаб қилинади.

$\bar{U}_1$ кучланишининг мутлақ бурчаги $\delta_{13} = \delta_{12} + \delta_{23}$ га тенг.

Шунга кўра, 2-узел кучланиши мутлақ бурчак билан $\bar{U}_2 = U_2 \cdot e^{j\delta_{23}}$ кўринишида бўлса, 1-тугун кучланиши комплекс дастлабки ўқларида мутлақ бурчакни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$\bar{U}_1 = U_1 e^{j(\delta_{12} + \delta_{23})} = \bar{U}_1 \cdot e^{j\delta_{13}} = U_1 \underline{|\delta_{13}^\circ|}. \quad (9.18)$$

Узатишнинг бошидаги ток $\bar{I}_1 = \bar{I}_{12} + \bar{I}_{13} + \bar{I}_2$ га тенг бўлиб, у қуйидагиларни ҳисобга олган ҳолда қурилади:

$$\bar{I}_{13} = \frac{1}{\sqrt{3}} \bar{U}_1 \cdot \underline{Y}_1 = \frac{\bar{U}_1 \cdot G_{12}}{2\sqrt{3}} + j \frac{\bar{U}_1 \cdot B_1}{2\sqrt{3}}$$

Худди шунингдек, схема шохларида ток тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда, исталган конфигурациядаги тармоқ учун ҳам вектор диаграммаларни қуриш мумкин.

9.3. Очик электр тармоғининг барқарор режимларини ҳисоблаш алгоритмлари

Юқорида айтиб ўтилганидек, барқарор режимни ҳисоблашнинг мақсади — тармоқнинг барча шохларидаги қувватлар ва тоқларни, барча узеллардаги кучланишларни ҳамда электр схемасининг бўйлама ва кўндаланг шохларидаги қувват йўқотишларини аниқлашдан иборат [3, 5, 6].

Очик тармоқнинг барқарор режимини ҳисоблаш алгоритми бошланғич маълумотлар сифатида қайси режим параметрлари берилганига ва ҳисоблаш жараёнида қайсиларини топиш кераклигига боғлиқ.

Барқарор режимни ҳисоблашнинг учта асосий варианты мавжуд:

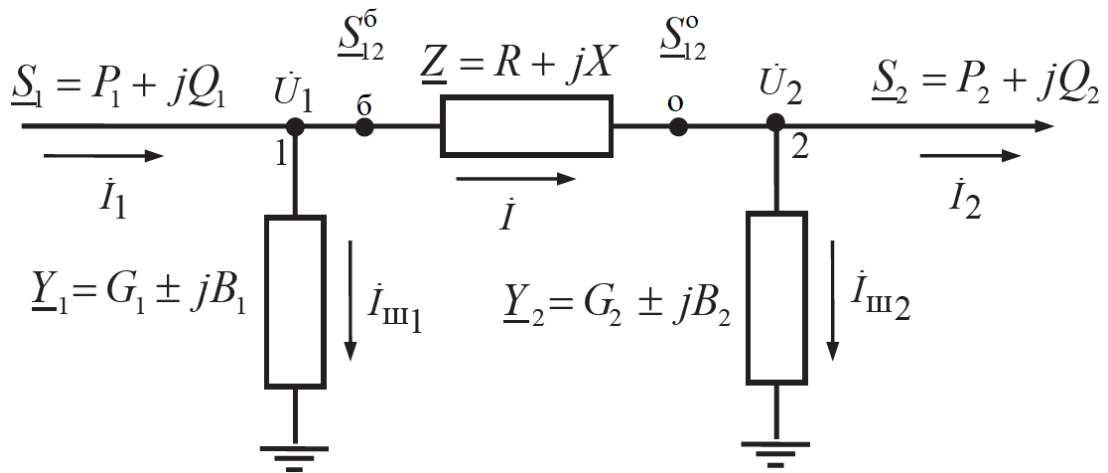
1. Узатишнинг охири параметрлари бўйича барқарор режимни ҳисоблаш.
2. Узатишнинг боши параметрлари бўйича режимни ҳисоблаш.
3. Юкламаларнинг берилган қувватлари ва баланслаш тугуни кучланиши бўйича режимни ҳисоблаш.

Амалий ҳисоблашларда энг кўп учрайдигани учинчи ҳолат бўлиб, бу ерда бошланғич маълумотлар сифатида таъминлантирувчи (одатда базис) тугуннинг маълум кучланиши ва юкламалар қувватлари олинади. Бундай ҳисоблаш итерацион жараёнга айланади — режим параметрлари кетма-кет аниқлаштириб борилади ва исталган даражадаги аниқлик билан бажариш мумкин.

Биринчи ва иккинчи вариантларда эса бошланғич маълумотлар берилиши ҳисоблашни анча содда қилади ва итерациясиз, аниқ натижа билан яқунлаш имконини беради.

9.3.1. Узатиш охири параметрлари бўйича барқарор режимни ҳисоблаш

Берилган бўйлама қаршилиқлар $\underline{Z}$ ҳамда $\underline{Y}_1$ ва $\underline{Y}_2$ шунтларидан иборат тармоқнинг алмаштириш схемаси 9.8-расмда кўрсатилган.



Расм - 9.8. Тармоқнинг алмаштириш схемаси

Ҳисоблаш қуйидаги шартларда олиб борилади:

- актив-индуктив характердаги юклама қуввати $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$ ва кучланиш $\dot{U}_2 = U_2 \cdot e^{j0}$ берилган;
- барқарор режимнинг қуйидаги параметрларини аниқлаш талаб қилинади ($I_2, I_{12}, I_{ш2}, \dot{S}_{12}, \dot{S}_1, \dot{U}_1, I_{ш1}, I_1, \Delta \dot{U}_{12}, \delta \dot{U}_{12}$);

Ҳисоблаш алгоритми

Берилган барқарор режим параметрларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, қувват оқими ҳамда кучланиш бир хил нуқтада – 2-нуқтада (юк шиналарида) маълум, шунинг учун юклама токини мутлақ аниқ ҳисоблаб топиш мумкин.

1. Юклама токини аниқлаш

$$I_2 = \frac{\dot{S}_2}{\sqrt{3} \cdot \dot{U}_2}$$

2- тугун шунти токини ($\underline{Y}_2 = G_2 \pm jB_2$) ва ундаги қувват йўқотишларини аниқлаш:

$$I_{ш2} = \frac{\dot{U}_2 \cdot \underline{Y}_2}{\sqrt{3}};$$

$$\Delta \underline{S}_{\text{ш}2} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_{\text{ш}2} = U_2^2 \cdot \hat{Y}_2 = U_2^2 (G_2 \mp jB_2) = \Delta P_{\text{ш}2} \mp j\Delta Q_{\text{ш}2}.$$

Юқорида келтирилган ифодада $\Delta Q_{\text{ш}2}$ олдидаги (+) ишораси трансформаторнинг актив-индуктив шунтига ($Y_2 = G_2 - jB_2$), (-) ишораси эса электр узатиш ҳаво линиясининг актив-сигимли шунтига ($Y_2 = G_2 + jB_2$) мос келади. Бу ҳолда коронадаги ва изоляторлар орқали оқиб кетиш ҳисобигаги фаол қувват йўқотишлари ёки кабель линиялари изоляциясидаги йўқотишлар ҳисобга олинади.

3. Бўйлама шохдаги ток 2-тугун учун Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича аниқланади:

$$\dot{I}_{12} = \dot{I}_2 + \dot{I}_{\text{ш}2}.$$

4. 1–2 участкаси охиридаги қувват оқими қувватлар учун Кирхгофнинг биринчи қонунидан ёки 1–2 участкаси токи ва 2-тугун кучланишидан топилади:

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_2 + \Delta \dot{S}_{\text{ш}2};$$

$$\dot{S}_{12} = \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_{12}^*.$$

5. Бўйлама қаршилик Z даги қувват йўқотишлари маълум $\dot{I}_{12}$ токи ёки $\dot{S}_{12}$ қуввати ҳамда 1–2 участкаси охири кучланиши $\dot{U}_2$ орқали аниқланади:

$$\Delta \underline{S}_{12} = 3I^2 \cdot \underline{Z} = 3I^2 (R + jX) = \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12};$$

$$\Delta \underline{S}_{12} = \left(\frac{S_{12}^o}{U_2} \right)^2 \cdot \underline{Z} = \frac{(P_{12}^o)^2 + (Q_{12}^o)^2}{U_2^2} (R + jX) = \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12}$$

Шундай қилиб,

$$\Delta P_{12} = \frac{(P_{12}^o)^2 + (Q_{12}^o)^2}{U_2^2} \cdot R;$$

$$\Delta Q_{12} = \frac{(P_{12}^o)^2 + (Q_{12}^o)^2}{U_2^2} \cdot X;$$

Яна бир бор эътибор бериш лозимки, йўқотишларни аниқлашда қувват оқими ҳамда кучланиш тармоқнинг бир хил нуқтасида олинади.

6. 1–2 участкаси бошидаги қувват оқимини аниқлаш:

$$\underline{S}_{12}^6 = \underline{S}_{12}^6 + \Delta \underline{S}_{12}.$$

7. 1-тугун кучланиши $\dot{U}_1$ токнинг 1-тугундан 2-тугунга йўналишига мувофиқ аниқланади, шунинг учун

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \Delta \dot{U}_{12},$$

ёки кучланиш тушуви 2-тугундаги маълум кучланиш йўналишига проекцияланганини ҳисобга олсак,

$$\Delta \dot{U}_{12} = \Delta U_{12} + j\delta U_{12} \text{ ва } \dot{U}_2 = U_2 \cdot e^{j0} = U_2 \angle 0^\circ,$$

шу сабабли

$$\dot{U}_1 = U_2 + \Delta U_{12} + j\delta U_{12}.$$

8. 1–2 участкасидаги кучланиш тушиши вектори проекциялари 2-нуқтадаги қувват оқими ва кучланиш орқали аниқланади:

$$\Delta \dot{U}_{12} = \Delta U_{12} + j\delta U_{12} = \frac{P_{12}^o \cdot R + Q_{12}^o \cdot X}{U_2} + j \frac{P_{12}^o \cdot X - Q_{12}^o \cdot R}{U_2}.$$

9. 1-тугун кучланиши вектори $\dot{U}_1$ нинг модули U_1 ва U_2 га нисбатан δ_{12} бурчаги ҳақиқий ўқ билан устма-уст тушадиган $\dot{U}_2$ векторига мувофиқ 9.2-расмдаги кучланишлар вектор диаграммаси бўйича аниқланади:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{12}^o)^2 + (\delta \cdot U_{12}^o)}.$$

$$\delta_{12} = \arctg \frac{\delta \cdot U_{12}^o}{U_2 + \Delta U_{12}^o}.$$

Вектор $\dot{U}_1$ вектор $\dot{U}_2$ дан δ_{12} бурчакка олдинда боради ва қиймати

$$\dot{U}_1 = U_1 \cdot e^{j\delta_{12}} = U_1 \cdot \angle \delta_{12}.$$

Бурчак δ_{12} , $\dot{U}_1$ векторининг дастлабки координата тизимидаги мутлақ бурчагидир, чунки $\dot{U}_2 = U_2 \cdot e^{j0} = U_2 \angle 0^\circ$.

10. Ҳисобланган $\dot{U}_1$ кучланиши бўйича 1-тугун шунт токи $\dot{I}_{ш1}$ ва $Y_1 = G_1 \pm jB_1$ шунтидаги қувват йўқотишлари аниқланади:

$$\dot{I}_{ш1} = \frac{U_1 \cdot Y_1}{\sqrt{3}};$$

$$\Delta \underline{S}_{ш1} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_{ш1} = U_1^2 \cdot \hat{Y}_1 = U_1^2 \cdot (G_1 + jB_1) = \Delta P_{ш1} + j\Delta Q_{ш1}.$$

11. Узатиш бошидаги қувват оқими ва ток:

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_{12}^o + \Delta \underline{S}_{ш1};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I} + \dot{I}_{ш1}.$$

12. Электр тармоғи элементларидаги қувват йўқотишлари режим ҳисоблаш жараёнида аниқланди. Тармоқдаги умумий йўқотишлар бўйлама қаршилиқдаги йўқотишлар $\Delta \underline{S}_{бўй.} = \Delta S_{12}$ ва шунтлардаги кўндаланг йўқотишлар $\Delta \underline{S}_{шф} = \Delta \underline{S}_{ш1} + \Delta \underline{S}_{ш2}$ дан иборат.

Шу тариқа, узатиш охири параметрлари бўйича тармоқнинг барқарор режимини тўлиқ электр ҳисоби бажарилди. Назарята нуқтаи назардан ҳисоб мутлақ аниқ, амалда эса аниқлик бошланғич маълумотларнинг ва ҳисоблашларнинг аниқлигига боғлиқ. Узатишнинг кучланишлари ва токлари вектор диаграммаси 9.2-расмга мос келади.

9.3.2. Узатишнинг бошидаги параметрлари бўйича барқарор режимни ҳисоблаш

Узатиш боши параметрлари бўйича барқарор режимни ҳисоблашда 9.8-расмда кўрсатилган тармоқнинг алмаштириш схемаси ишлатилади. Ҳисоблаш қуйидаги шартларда олиб борилади:

- тармоққа кирувчи фаол-индуктив характердаги қувват $\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1$ ва базис узел кучланиши $\dot{U}_1 = U_1 \cdot e^{j0}$ берилган;
- барқарор режимнинг қуйидаги параметрларини аниқлаш талаб қилинади: $(\dot{I}_{ш1}, \Delta \underline{S}_{ш1}, \underline{S}_{12}^o, \dot{I}, \Delta \underline{S}_{12}, \underline{S}_{12}^o, \Delta \dot{U}_{12}, \dot{I}_{ш2}, \Delta \underline{S}_{ш2}, \dot{I}_2, \underline{S}_2)$.

Ҳисоблаш алгоритми

Берилган барқарор режим параметрларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, қувват оқими ҳамда кучланиш бир хил нуқтада — 1-нуқтада маълум.

1. Узатиш бошидаги ток:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{S}_1}{\sqrt{3} \cdot \dot{U}_1}.$$

2. 1-тугун шунти токи $\underline{Y}_1 = \underline{G}_1 \pm jB_1$ ва ундаги қувват йўқотишларини аниқлаш:

$$\dot{I}_{ш1} = \frac{\dot{U}_1 \underline{Y}_1}{\sqrt{3}}; \Delta \underline{S}_{ш1} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_{ш1} = U_1^2 \cdot \hat{Y}_1 = U_1^2 (G_1 \mp jB_1) = \Delta P_{ш1} \mp j\Delta Q_{ш1}$$

3. 1–2 участкасидаги ток 1-тугун учун Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича аниқланади:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 - \dot{I}_{ш1}.$$

4. 1–2 участкаси бошидаги қувват оқими қувватлар учун Кирхгофни биринчи қонунидан ёки 1–2 участкаси токи ва 1-тугун кучланишидан топилади:

$$\underline{S}_{12}^{\phi} = \underline{S}_1 - \Delta \underline{S}_{ш1};$$

$$\underline{S}_{12}^{\phi} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_1 \cdot \dot{I};$$

5. Z қаршилигидаги қувват йўқотишлари маълум $\dot{I}$ токи ёки $\underline{S}_{12}^{\phi}$ қуввати ҳамда 1–2 участкаси бошидаги $\dot{U}_1$ кучланиши орқали аниқланади:

$$\Delta \underline{S}_{12} = 3 \cdot I^2 \cdot \underline{Z} = 3 I^2 (R + jX) = \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12},$$

$$\Delta \underline{S}_{12} = \left(\frac{\underline{S}_{12}^{\phi}}{U_1} \right)^2 \cdot \underline{Z} = \frac{(P_{12}^{\phi})^2 + (Q_{12}^{\phi})^2}{U_1^2} = (R + jX) = \Delta P_{12} + j\Delta Q_{12};$$

$$\Delta P_{12} = \frac{(P_{12}^{\phi})^2 + (Q_{12}^{\phi})^2}{U_1^2} \cdot R; \Delta Q_{12} = \frac{(P_{12}^{\phi})^2 + (Q_{12}^{\phi})^2}{U_1^2} \cdot X.$$

6. Участканинг охиридаги қувват оқими:

$$\underline{S}_{12}^o = \underline{S}_{12}^{\phi} - \Delta \underline{S}_{12}.$$

7. 2- тугун кучланиши:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta \dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \Delta U_{12}^{\phi} - j\delta U_{12}^{\phi},$$

$$\Delta U_{12}^{\phi} = \frac{P_{12}^{\phi} \cdot R + Q_{12}^{\phi} \cdot X}{U_1}; \quad \delta U_{12}^{\phi} = \frac{P_{12}^{\phi} \cdot X - Q_{12}^{\phi} \cdot R}{U_1},$$

8. 2-тугун кучланишининг модули ва бурчаги боши параметрлари бўйича 9.5-расмдаги вектор диаграммага мувофиқ аниқланади:

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{12}^6)^2 + (\delta \cdot U_{12}^6)^2};$$

$$\delta_{12} = \arctg \cdot \frac{-\delta \cdot U_{12}^6}{U_1 - \Delta U_{12}^6},$$

шу сабабли $\dot{U}_2 = U_2 \cdot e^{j\delta_{21}}$, яъни $\dot{U}_2$ вектори $\dot{U}_1$ дан δ_{12} бурчакка орқада қолади.

Эътиборлиси, узатиш охири ва боши параметрлари бўйича ҳисобланганда $\dot{U}_1$ ва $\dot{U}_2$ векторларининг ўзаро жойлашуви бир хил бўлади.

9. Ҳисобланган 2-тугун кучланиши бўйича шунт токи $\dot{I}_{ш2}$ ва $\underline{Y}_2 = G_2 \pm jB_2$ шунтидаги қувват йўқотишлари аниқланади:

$$\dot{I}_{ш2} = \frac{\dot{U}_2 \cdot \underline{Y}_2}{\sqrt{3}};$$

$$\Delta \underline{S}_{ш2} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_{ш2} = U_2^2 \cdot (G_2 \mp jB_2) = \Delta P_{ш2} \mp jQ_{ш2}.$$

10. Юклама қуввати ва токи:

$$S_2 = \underline{S}_{12}^o - \Delta \underline{S}_{ш2},$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I} - \dot{I}_{ш2}.$$

11. Электр тармоғи элементларидаги қувват йўқотишлари режим ҳисоблаш жараёнида аниқланди. Тармоқдаги умумий йўқотишлар бўйлама қаршилиқдаги йўқотишлар $\Delta S_{(бўй)} = \Delta S_{12}$ ва шунтлардаги кўндаланг йўқотишлар $\Delta S_{(ш)} = \Delta S_{(ш)1} + \Delta S_{(ш)2}$ дан иборат.

Шу тариқа, аввалги ҳолатдаги каби, бир марта ҳисоблаш билан узатиш боши параметрлари бўйича тармоқнинг барқарор режимини тўлиқ электр ҳисоби бажарилди. Назарята нуқтаи назардан ҳисоб мутлақ аниқ, амалий жиҳатдан эса аниқлик бошланғич маълумотларнинг ва ҳисоблашларнинг аниқлигига боғлиқ. Узатишнинг кучланишлари ва токлари вектор диаграммаси 9.2-расмга мос келади.

9.3.3. Таъминлантирувчи узел кучланиши ва юклама қувватлари бўйича очик тармоқнинг барқарор режимини ҳисоблаш

Таъминлантирувчи узелнинг берилган кучланиши ва юклама қувватлари бўйича режимни ҳисоблаш юқорида кўриб чиқилган икки усулдан фарқ қилади: схемада бир вақтнинг ўзида ҳам қувват оқими, ҳам кучланиш маълум бўлган бирорта узел йўқ. Шу сабабли барқарор режимни ҳисоблаш итерацион жараёнга айланади: ҳар бир итерацияда тўғри йўналишда қувват оқимлари, тескари йўналишда эса тугунлар кучланишлари кетма-кет аниқлаштириб борилади. Тармоқнинг барқарор режимини исталган талаб қилинган аниқликда ҳисоблаб чиқиш мумкин.

Ҳисоблашда 9.8-расмда кўрсатилган тармоқнинг алмаштириш схемаси қўлланади. Ҳисоблаш қуйидаги шартларда амалга оширилади:

- актив-индуктив характердаги юклама қуввати $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$ ва 1-базис тугун кучланиши $\dot{U}_1 = U_1 \cdot e^{j0}$ берилган;
- барқарор режимнинг қуйидаги параметрларини аниқлаш талаб қилинади ($\dot{U}_2^{(i)}$, i_2 , $\Delta \underline{S}_{ш2}$, $i_{ш2}$, $\underline{S}_{12}^o$, $\Delta \underline{S}_{12}$, $\underline{S}_{12}^6$, $\Delta \dot{U}_{12}$, $U_2^{(j+1)}$, $i_{ш1}$, $\Delta \underline{S}_{ш1}$).

Ҳисоблаш алгоритми

Ҳисоблаш барча узелларда (9.8-расмда — 2-тугунда) кучланишларнинг бошланғич тахминини танлашдан бошланади. Бошланғич тахмин сифатида тармоқнинг номинал кучланиши, белгиланган кучланиш класснинг ўртача кучланиши, баланслаш тугуни кучланиши ва ҳ.к. олиш мумкин.

Биринчи итерациянинг тўғри йўналиши

1. 2-тугун учун бошланғич тахминни белгилаш:

$$\dot{U}_2^{(0)} = U_2^{(0)} \cdot e^{j0^\circ} = U_2^{(0)} | 0^\circ.$$

2. Биринчи итерацияда юклама токини аниқлаш:

$$i_2^{(1)} = \frac{\dot{S}_2}{\sqrt{3} \cdot \dot{U}_2^{(0)}}$$

3. 2-тугун шунти $\underline{Y}_2 = G_2 \pm jB_2$ токи ва ундаги қувват йўқотишларини биринчи итерацияда аниқлаш:

$$i_{ш2}^{(1)} = \frac{\dot{U}_2^{(0)} \underline{Y}_2}{\sqrt{3}},$$

$$\underline{\Delta S}_{\text{ш2}}^{(1)} = \sqrt{3} \Delta \cdot U_2^{(0)} \cdot i_{\text{ш2}}^{(1)} = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot \hat{Y}_2 = \left(U_2^{(0)} \right)^2 \cdot (G_2 \mp jB_2) = \Delta P_{\text{ш2}}^{(1)} \mp j \Delta Q_{\text{ш2}}^{(1)}$$

(+) ишораси $\Delta Q_{\text{ш2}}$ олдида – актив-индуктив шунтга, (-) ишораси – актив-сиғимли шунтга мос келади.

4. 1–2 участкасидаги токни 2-узел учун Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича топиш:

$$I^{(1)} = I_2^{(1)} + i_{\text{ш2}}^{(1)}.$$

5. 1–2 участкаси охиридаги қувват оқимини қувватлар учун Кирхгофнинг биринчи қонунидан ёки 1–2 участкаси токи ва 2-тугун кучланишидан аниқлаш:

$$\underline{S}_{12}^{o(1)} = \underline{S}_2 + \underline{\Delta S}_{\text{ш2}}^{o(1)},$$

$$\underline{S}_{12}^{o(1)} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_2^{(0)} \cdot i^{(1)}.$$

6. Бўйлама қаршилик Z даги қувват йўқотишлари маълум $i_{12}^{(1)}$ токи ёки 1–2 участкаси охиридаги $\underline{\Delta S}_{12}^o$ қуввати ва U_2 кучланиши орқали аниқланади:

$$\underline{\Delta S}_{12}^{(1)} = 3 \cdot \left(I^{(1)} \right)^2 \cdot Z = 3 \cdot \left(I^{(1)} \right)^2 \cdot (R + jX) = \Delta P_{12}^{(1)} + j \Delta Q_{12}^{(1)};$$

$$\underline{\Delta S}_{12}^{(1)} = \frac{\left(\underline{S}_{12}^{o(1)} \right)^2}{\left(U_2^{(0)} \right)^2} \cdot Z = \frac{\left(P_{12}^{o(1)} \right)^2 + \left(Q_{12}^{o(1)} \right)^2}{\left(U_2^{(0)} \right)^2} (R + jX) = \Delta P_{12}^{(1)} + j \Delta Q_{12}^{(1)}$$

Шундай қилиб:

$$\Delta P_{12}^{(1)} = \frac{\left(P_{12}^{o(1)} \right)^2 + \left(Q_{12}^{o(1)} \right)^2}{\left(U_2^{(0)} \right)^2} = R;$$

$$\Delta Q_{12}^{(1)} = \frac{\left(P_{12}^{o(1)} \right)^2 + \left(Q_{12}^{o(1)} \right)^2}{\left(U_2^{(0)} \right)^2} \cdot X.$$

Яна бир бор эътибор беринг: йўқотишларни аниқлашда қувват оқими ва кучланиш тармоқнинг бир хил нуқтасида (бу ерда 2-узелда) олинади.

7. 1–2 участкаси бошидаги қувват оқимини аниқлаш:

$$\underline{S}_{12}^{(1)} = \underline{S}_{12}^{(0)} + \underline{\Delta S}_{12}^{(1)}.$$

Бу билан биринчи итерациянинг тўғри йўналиши тугайди. Натижада кучланиши маълум бўлган 1-нуқтада қувват оқими тахминий топилди.

Биринчи итерациянинг тескари йўналиши

8. $\dot{U}_2$ кучланишини аниқлаштириш:

$$\dot{U}_2^{(1)} = \dot{U}_1 - \underline{\Delta S}_{12}^{(1)};$$

$$\Delta \dot{U}_{12}^{(1)} = \Delta U_{12}^{(1)} + j \delta U_{12}^{(1)};$$

$$\Delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} \cdot R + Q_{12}^{(1)} \cdot X}{U_1};$$

$$\delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} \cdot X - Q_{12}^{(1)} \cdot R}{U_1}$$

$\dot{U}_1 = U_1 \cdot e^{j0}$ эканини ҳисобга олиб,

$$\dot{U}_2^{(1)} = U_1 - \Delta U_{12}^{(1)} - j \delta U_{12}^{(1)}$$

9. Биринчи итерацияда кучланиш модули ва бурчагини ҳисоблаш:

$$U_2^{(1)} = \sqrt{\left(U_1 - \Delta U_{12}^{(1)}\right)^2 + \left(\delta U_{12}^{(1)}\right)^2};$$

$$\delta_{12}^{(1)} = \arctg \cdot \frac{-\delta U_{12}^{(1)}}{U_1 - \Delta U_{12}^{(1)}};$$

$$\dot{U}_2^{(1)} = U_2^{(1)} \cdot e^{j(\delta_{12}^{(1)})} = U_2^{(1)} \underline{\delta_{12}^{(1)}}.$$

10. Барқарор режим ҳисобининг аниқлигини текшириш.
Агар

$$\left| U_2^{(1)} - U_2^{(0)} \right| \leq \xi \text{ ва } \left| \delta_{12}^{(1)} - \delta_{12}^{(0)} \right| \leq \Psi \quad (9.19)$$

(9.19) бўлса (бу ерда ξ ва Ψ — кучланиш модули ва бурчагининг талаб қилинган ҳисоблаш аниқлиги), ҳисоблаш тугатилади.

Агар (9.19) шартлари бажарилмаса, 2-банддан бошлаб ҳисоблаш такрорланади, бунда бошланғич тахмин сифатида $\dot{U}_2^{(0)}$ ўрнига ҳисобланган $\dot{U}_2^{(1)}$ қўйилади.

Ҳисоблаш талаб қилинган аниқликка эришилгунча, яъни $|U_2^{(k)} - U_2^{(k-1)}| \leq \xi$ ва $|\delta_{12}^{(k)} - \delta_{12}^{(k-1)}| \leq \Psi$ шартлари қаноатлантирилгунча такрорланади (бу ерда k — итерация рақами).

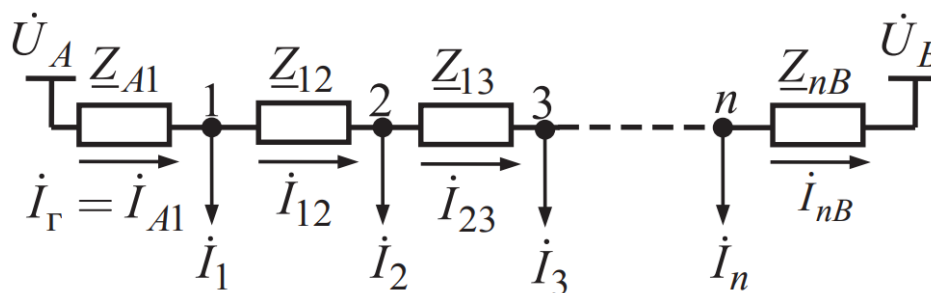
Ўзини ўзи текшириш саволлари

1. Ўрнатилган режимни ҳисоблашнинг мақсади нима ва унинг асосий параметрлари қайсилар?
2. Тармоқ участкасининг вектор диаграммасини тузишда қайси нуқта кучланиши фазий ноль деб олинади ва нега?
3. Юклама актив-индуктив характерга эга бўлганда ток I_2 қайси бурчакка орқада қолади ва бу бурчак қандай аниқланади?
4. Шунт токи $I_{ш2}$ қандай характерга эга ва унинг бурчаги α_2 қандай аниқланади?
5. Кучланиш тушиши вектори ΔU_{12} нинг бўйлама ΔU_{12} ва кўндаланг δU_{12} таркиблари қандай формулалар билан аниқланади (ток орқали)?
6. Кучланиш тушиши вектори ΔU_{12} нинг бўйлама ΔU_{12} ва кўндаланг δU_{12} таркибларини қувватлар орқали қандай ифодалаш мумкин?
7. Бўш юриш режимида кучланиш тушиши ΔU_{12} қандай аниқланади ва участка охири кучланиши бошидагидан қандай бўлади?
8. Барқарор режимни ҳисоблашнинг учта асосий варианты қайсилар?
9. Узатиш боши параметрлари бўйича ҳисоблашда кучланиш тушиши вектори ΔU_{12} нинг таркиблари қандай аниқланади?
10. Таъминлантирувчи узел кучланиши ва юклама қувватлари бўйича ҳисоблашнинг хусусияти нима ва у қандай амалга оширилади?

10. ИККИ ТОМОНЛАМА ТАЪМИНОТГА ЭГА ТАРМОҚ РЕЖИМИНИ ҲИСОБЛАШ

Электр тармоқларининг барқарор режимларини таҳлил қилишда икки томондан таъминланадиган алоҳида электр узатиш линияларининг режим параметрларини ҳисоблаш зарурияти туғилади. Икки томонлама таъминотга эга линиялар тизим ҳосил қилувчи ёки тақсимловчи тармоқлар таркибига кириши, шунингдек, алоҳида энерготизимлар ёки кучли энергия тугунлари ўртасидаги алоқа линияси сифатида хизмат қилиши мумкин.

Икки томонлама таъминотга эга тармоқ 10.1-расмда кўрсатилган.



Расм - 10.1. Икки томонлама таъминотга эга тармоқ

Ушбу тармоқнинг барқарор режимларини таҳлил қилишда одатда $i = 1, 2, 3, \dots, n$ тугунларида жойлашган истеъмолчилар ва электроэнергия манбаларининг умумий қуввати A ва B тугунларининг эквивалент қувватларига нисбатан жуда кичик деб қабул қилинади. Шу сабабли A ва B тугунларини $\dot{U}_A$ ва $\dot{U}_B$ кучланишлари берилган базис тугунлар сифатида кўриб чиқиш мумкин.

Агар A ва B тугунларидаги кучланишлар тенг бўлса ($\dot{U}_A = \dot{U}_B$), халқа тармоғи икки томонлама таъминотга эга тармоқнинг хусусий ҳолати сифатида қаралади.

Икки томонлама таъминотга эга тармоқнинг барқарор режимини ҳисоблаш деганда қуйидагиларни аниқлаш тушунилади:

- барча тугунлардаги кучланиш векторлари;
- барча участкалардаги тоқлар ва қувват оқимлари;
- тармоқдаги қувват йўқотишлари.

Барқарор режим параметрларини ҳисоблаш тармоқ турига ва узатишнинг икки учидаги кучланишлар ($\dot{U}_A$ ва $\dot{U}_B$) қийматига боғлиқ бўлиб, бунда икки ҳолат бўлиши мумкин:

1. Кучланишлар тенг: $\dot{U}_A = \dot{U}_B$
2. Кучланишлар тенг эмас: $\dot{U}_A \neq \dot{U}_B$

10.1. Токлар ва қувватлар учун электр моментлари қондаси

Электр моментлари қондасини олишни 10.1-расмда кўрсатилган икки томонлама таъминотга эга тармоқни кўриб чиқиш орқали амалга ошириш мумкин. Тугун юкламалари $i = 1, 2, 3, \dots, n$ токлар шаклида берилган: $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dots, \dot{I}_n$. A ва B тугунларидаги кучланишлар тенг ($\dot{U}_A = \dot{U}_B$). Тармоқда барча участкалардаги токлар йўналиши ўзбошимчалик билан танланган ва улар қуйидагича белгиланган: $\dot{I}_{A1}, \dot{I}_{12}, \dot{I}_{23}, \dots, \dot{I}_{nB}$.

Узатишнинг икки учидаги кучланишлар тенглигини ҳисобга олиб, $\Delta \dot{U}_{AB}$ векторини аниқлаймиз:

$$\Delta \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = 0,$$

$$\Delta \dot{U}_{AB} = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{12} + \dot{U}_{23} + \dots + \dot{I}_{nB} \cdot Z_{nB} \cdot \sqrt{3}, \quad (10.1)$$

Тармоқ участкалари токларини бош участканинг токи $\dot{I}_6 = \dot{I}_{A1}$ ва тугун юклама токлари орқали Кирхгоффнинг I қонуни асосида ифодалаш қуйидагича бўлади:

$$\dot{I}_{12} = \dot{I}_6 - \dot{I}_1$$

$$\dot{I}_{23} = \dot{I}_6 - \dot{I}_1 - \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_{nB} = \dot{I}_6 - \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 \dots \dot{I}_n = \dot{I}_6 - \sum_{i=1}^n \dot{I}_i \quad (10.2)$$

Яъни, ҳар бир кейинги участка токи олдинги участка токига нисбатан ўша участкадан кейинги тугун юклама токи миқдorigа камайиб боради. Охирги участка токи ($\dot{I}_{nB}$) бутун тармоқдан ўтувчи «сквозной» токка тенг бўлади.

(10.2) токларни (10.1) га қўйганда бош токни қуйидагича ифодалаш мумкин бўлади.

$$\dot{I}_{60ш} \underline{Z}_{A1} + (\dot{I}_{60ш} - \dot{I}_1) \underline{Z}_{12} + (\dot{I}_{60ш} + \dot{I}_1 - \dot{I}_2) \underline{Z}_{23} + \dots + \left(\dot{I}_{60ш} - \sum_{i=1}^n \dot{I}_{60ш} \right) \underline{Z}_{nB} = 0,$$

$$\dot{I}_{60ш} (\underline{Z}_{A1} + \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \dots + \underline{Z}_{nB}) =$$

$$= \dot{I}_{60ш} (\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \dots + \underline{Z}_{nB}) + \dot{I}_2 (\underline{Z}_{23} + \dots + \underline{Z}_{nB}) + \dots + \dot{I}_n \cdot \underline{Z}_{nB}.$$

Агар участка учларидаги тугунлар орасидаги қаршилиқни участка учидаги тугунлар рақами билан белгиласак

$$\underline{Z}_{A1} + \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \dots + \underline{Z}_{nB} = \underline{Z}_{AB};$$

$$\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \dots + \underline{Z}_{nB} = \underline{Z}_{1B};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\underline{Z}_{(n-1)n} + \underline{Z}_{nB} = \underline{Z}_{(n-1)B},$$

шунда бош ток учун ифодани олиш мумкин бўлади

$$\dot{I}_{\text{бош}} \underline{Z}_{AB} = \dot{I}_1 \underline{Z}_{1B} + \dot{I}_2 \underline{Z}_{2B} + \dots + \dot{I}_n \underline{Z}_{nB},$$

$$\dot{I}_{\text{бош}} = \frac{\dot{I}_1 \underline{Z}_{1B} + \dot{I}_2 \underline{Z}_{2B} + \dots + \dot{I}_n \underline{Z}_{nB}}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \underline{Z}_{iB}}{\underline{Z}_{AB}}$$

(10.3) ифода - *тоқлар учун электр моментлари қоидаси* номини олган ва ҳақиқатан ҳам бош токни аниқлашда механик момент билан аналогияни кўриш мумкин. Бош участкадаги токни $\dot{I}_{\text{бош}}$ аниқлаш учун тоқларнинг моментлари айланиш маркази — бош тугунга қарама-қарши бўлган B тугуни нисбатан ҳисобланади. Бу ерда юклама тоқлари куч ролини, юклама уланган нуқтадан B тугунигача бўлган қаршилиқ эса елка ролини ўйнайди.

Тоқлар учун моментлар қоидаси $n-B$ участкасидаги токни ($\dot{I}_{nB}$) аниқлаш учун ҳам тузилади, бунда айланиш маркази сифатида A нуқтаси олинади:

$$\dot{I}_{nB} = \frac{\sum_i^n \dot{I}_i \underline{Z}_{iA}}{\underline{Z}_{AB}}. \quad (10.4)$$

Тоқлардаги моментлар қоидасида ҳеч қандай чеклов йўқ.

Моментлар қоидасини қувватлар учун ҳам ёзиш мумкин, лекин бунда баъзи фарзлар киритилади:

- тармоқнинг барча тугунларидаги тармоқ кутилган кучланишлари тенг ва $\dot{U}_A$ га тенг деб олинади:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dots = \dot{U}_n; \quad (10.5)$$

- тармоқда қувват йўқотишлари йўқ:

$$\Delta \underline{S}_{ij} = 0; \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n; \quad i \neq j. \quad (10.6)$$

Кейинги кадамда, агар (10.3) тенглама икки томонини ҳам $\dot{U}_A\sqrt{3}$ га кўпайтириб, тугунлардаги барча кучланишлар тенглигини ҳисобга олсак, куйидаги ифодани оламиз:

$$\dot{S}_{\text{бош}} \dot{U}_A\sqrt{3} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \cdot \dot{U}_i \sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{iB}}{\underline{Z}_{AB}}. \quad (10.7)$$

Выражение (10.7) записано для сопряженных мощностей, на его основе легко найти выражение для прямых мощностей с использованием сопряженных сопротивлений:

$$\dot{S}_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \hat{Z}_{iB}}{\hat{Z}_{AB}}. \quad (10.8)$$

10.2. Бир хил тармоқ учун моментлар қоидаси

Бир хил тармоқ деб, тармоқнинг барча участкаси $i, j = 1, 2, 3, \dots, n; i \neq j$ учун R_{ij}/X_{ij} нисбати ўзгармас ва тенг бўлган тармоққа айтилади:

$$\frac{R_{ij}}{X_{ij}} = \frac{R_0}{X_0} = a = \text{const}. \quad (10.9)$$

(10.9) ни ҳисобга олган ҳолда тўлиқ қаршиликни $\underline{Z} = R + jX$ ҳолда топиш мумкин,

$$\underline{Z}_{ij} = R_0 \cdot \ell_{ij}^{\exists} + jX_0 \cdot \ell_{ij}^{\exists} = X_0 \ell_{ij}^{\exists} \cdot \left(\frac{R_0}{X_0} + j1 \right) = X_0 \cdot \ell_{ij}^{\exists} (a + j1) = X_0 \ell_{ij}^{\exists} e^{ja}, \quad (10.10)$$

бунда $\ell^{\exists}$ — кўриб чиқиладиган ij участкасининг эквивалент узунлиги, унинг ҳақиқий узунлиги ℓ_{ij} ва n_{ij} — участкадаги параллел линиялар сони:

$$\ell_{ij}^{\exists} = \frac{\ell_{ij}}{n_{ij}}. \quad (10.11)$$

Агар тўлиқ қаршиликни тоқлар учун моментлар қоидаcига (10.4) қўйсак, бир хил тармоқ учун тоқлардаги моментлар қоидаcини оламиз.

$$\dot{I}_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \underline{Z}_{iB}}{\underline{Z}_{iB}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \cdot \ell_{iB}^{\exists} \cdot X_0 \cdot e^{-ja}}{\ell_{AB}^{\exists} \cdot X_0 \cdot e^{-ja}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \cdot \ell_{iB}^{\exists}}{\ell_{AB}^{\exists}}.$$

Тоқларнинг тақсимланишини нафақат эквивалент узунликлар бўйича, балки эквивалент фаол ёки реактив қаршилик бўйича ҳам аниқлаш мумкинлигини осонгина кўрсатиш мумкин:

$$\dot{I}_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \ell_{iB}^{\exists}}{\ell_{AB}^{\exists}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \cdot R_{iB}^{\exists}}{R_{AB}^{\exists}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \cdot X_{iB}^{\exists}}{X_{AB}^{\exists}}. \quad (10.12)$$

Агар тўлиқ қаршиликни қувватлар учун моментлар қондасига (10.8) қўйсак, худди шунингдек бир хил тармоқ учун қувватлардаги моментлар қондаси ифодаларини олиш мумкин.

$$S_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \ell_{iB}^{\rightarrow}}{\ell_{AB}^{\rightarrow}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i R_{iB}^{\rightarrow}}{R_{AB}^{\rightarrow}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i X_{iB}^{\rightarrow}}{X_{AB}^{\rightarrow}}. \quad (10.13)$$

Бош оқим S_{Γ} ва юклама қувватларини фаол ва реактив қувватлар йиғиндиси кўринишида ёзиш мумкин: $S_i = P_i + jQ_i$ шунда

$$P_{\text{бош}} + jQ_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i + jQ_i) \ell_{iB}^{\rightarrow}}{\ell_{AB}^{\rightarrow}}. \quad (10.14)$$

(10.13) ифодадан бош қисмдаги актив ва реактив оқимлар учун ифодаларни осонгина олиш мумкин

$$P_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \ell_{iB}^{\rightarrow}}{\ell_{AB}^{\rightarrow}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i R_{iB}^{\rightarrow}}{R_{AB}^{\rightarrow}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_{iB}^{\rightarrow}}{X_{AB}^{\rightarrow}}. \quad (10.15)$$

$$Q_{\text{бош}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \ell_{iB}^{\rightarrow}}{\ell_{AB}^{\rightarrow}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i R_{iB}^{\rightarrow}}{R_{AB}^{\rightarrow}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i X_{iB}^{\rightarrow}}{X_{AB}^{\rightarrow}}. \quad (10.16)$$

(10.15) ва (10.16) ифодалардан кўришиб турибдики, бош оқимдаги актив қувват нисбатларида фақат юкламаларнинг актив қувватлари, реактив оқим нисбатларида эса фақат юкламаларнинг реактив қувватлари иштирок этади, бу ердан муҳим хулосалар келиб чиқади:

- бир хил тармоқда актив ва реактив қувватларнинг тақсимланиши бир-биридан мустақил бўлиб, уларнинг ҳисоби алоҳида-алоҳида амалга оширилиши мумкин;
- бир хил тармоқда тоқлар ва қувват оқимларининг тақсимланишини эквивалент узунликлар, фаол ёки реактив қаршиликлар бўйича аниқлаш мумкин.

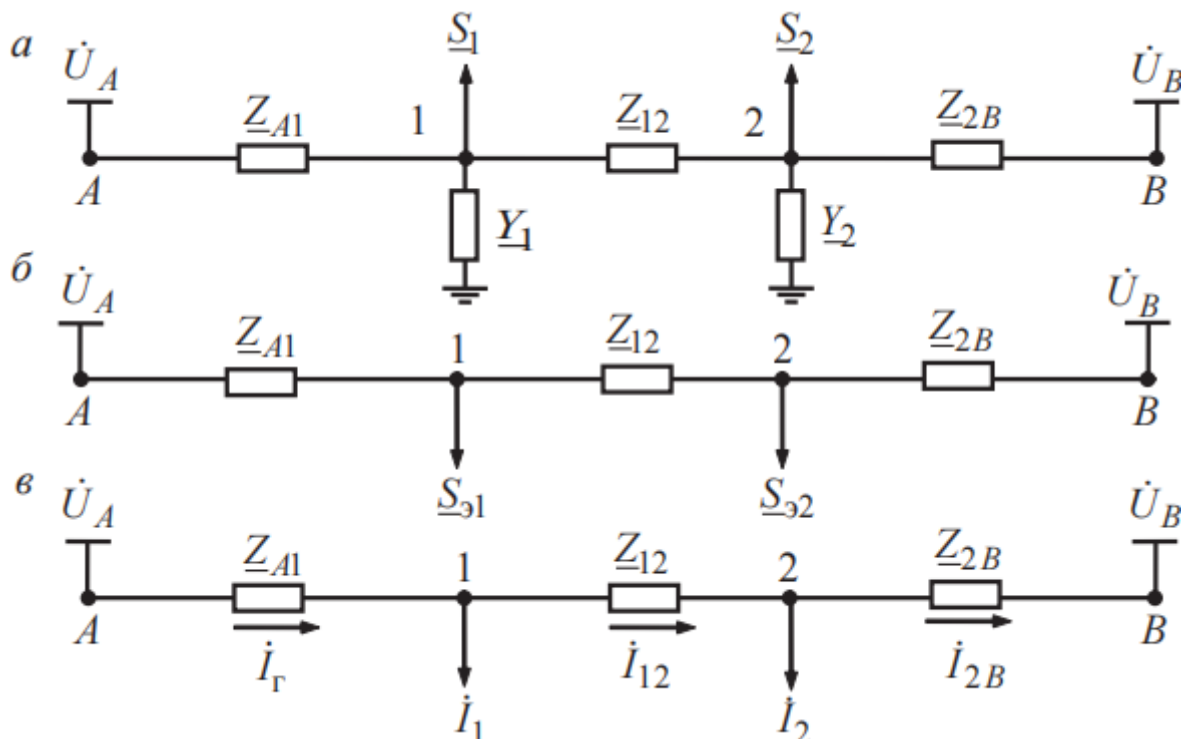
10.3. Икки томонлама таъминланадиган тармоқнинг барқарор режим тоқларида ҳисоблаш

Икки томонлама таъминланадиган тармоқни ҳисоблашнинг мақсади — барқарор режим параметрларини аниқлаш: тармоқнинг барча элементларидаги тоқлар ва қувват оқимлари; барча тугунлардаги кучланишлар; тармоқдаги қувват йўқотишларидир.

Тармоқнинг алмаштириш схемаси 10.2-расмда кўрсатилган.

Схема алмаштиришнинг барча параметрлари Z_{A1} , Z_{12} , Z_{2B} , Y_1 , Y_2 маълум, бундан ташқари, тугун юкламаларининг қувватлари S_1 , S_2 ва A ва B тугунларининг кучланишлари $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$ берилган.

Тармоқнинг барқарор режим параметрларини ҳисоблаш алгоритми узатишнинг икки учидаги кучланишлар қийматига боғлиқ бўлиб, икки хил ҳолат бўлиши мумкин: A ва B тугунларининг кучланишлари тенг — $\dot{U}_A = \dot{U}_B$; A ва B тугунларининг кучланишлари турлича — $\dot{U}_A \neq \dot{U}_B$.



Расм - 10.2. Электр тармоғи схемаси: a — бошланғич алмаштириш схемаси; b — эквивалент юкламалар билан схема; v — тоқлардаги юкламалар билан схема

Қуйида берилган маълумотларнинг ҳар икки ҳолати ҳам кўриб чиқилган.

10.3.1. Узатишнинг учларидаги кучланишлар тенг бўлган икки томонлама таъминланадиган тармоқни тоқларда ҳисоблаш

Учларидаги кучланишлар тенг бўлганда тармоқни ҳисоблаш алгоритми

1. Тармоқ тугунларидаги кучланишларнинг бошланғич тахмин қийматларини бериш: $\dot{U}_1^{(0)}$, $\dot{U}_2^{(0)}$. Бошланғич тахмин сифатида тугунларнинг кучланишларини олиш мумкин

$$\dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_1^{(0)} = \dot{U}_2^{(0)}.$$

2. Тугунларнинг бошланғич тахмин кучланишлари $\dot{U}_1^{(0)}$, $\dot{U}_2^{(0)}$ га мувофиқ равишда шунтлардаги қувват йўқотишларини аниқлаш,

$$\Delta S_{\text{ши}}^{(1)} = \left(\dot{U}_i^{(0)} \right)^2 \hat{Y}_i, \quad i = 1, 2. \quad (10.17)$$

3. Шунтларда ҳисобланган йўқотишлар ва берилган юкланиш қувватлари $\underline{S}_1$ ва $\underline{S}_2$ асосида тугунларнинг эквивалент қувватларини аниқлаш ва тармоқ алмаштириш схемасидан шунтларни чиқариб ташлаш, яъни 10.2-расм, б га ўтиш:

$$S_{\Sigma i}^{(1)} = S_i + \Delta S_{\Sigma i}^{(1)}, i=1,2. \quad (10.18)$$

4. Тугунлар кучланишларининг тахмин қийматлари ва юкламаларнинг эквивалент қувватлари асосида эквивалент юк тоқларини ҳисоблаш (10.2-расм, в):

$$i_i^{(1)} = \frac{\dot{S}_{\Sigma i}^{(1)}}{\dot{U}_i^{(0)} \cdot \sqrt{3}} \quad (10.19)$$

5. А-1 қисмида тоқни аниқлаш ($\dot{I}_{\text{бош}}$) биринчи итерацияда тоқлар учун моментлар қойдаси (10.3) ёрдамида:

$$i_{\text{бош}}^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i^{(1)} \underline{Z}_{iB}}{Z_{AB}} \quad (10.20)$$

Бу ерда эслатиб ўтиш керакки, тоқлар учун моментлар қойдаси ҳеч қандай фаразсиз чиқарилган ва шунинг учун бош оқим юклама тоқларининг 1 ва 2 тугунларда аниқланиши даражасида аниқ аниқланган.

6. 1–2 ва 2–В тармоқлари тоқларини аниқлаш Кирхгофнинг I қонуни асосида 1 ва 2 тугунлар учун, тармоқ тоқларининг шартли равишда белгиланган йўналишларига мувофиқ амалга оширилади (10.2-расм, в):

$$i_{12}^{(1)} = i_{\text{бош}}^{(1)} - i_1^{(1)};$$

$$i_{2B}^{(1)} = i_{12}^{(1)} - i_2^{(1)} = i_{\text{бош}}^{(1)} - i_1^{(1)} - i_2^{(1)};$$

7. 1 ва 2 тугунларнинг кучланишларини топилган тармоқ тоқлари ва уларнинг қаршиликлари бўйича аниқлаштириш:

$$\dot{U}_1^{(1)} = \dot{U}_A - \Delta \dot{U}_{A1}^{(1)}, \quad \Delta \dot{U}_{A1}^{(1)} = i_{A1}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{A1} \cdot \sqrt{3};$$

$$\dot{U}_2^{(1)} = \dot{U}_1^{(1)} - \Delta \dot{U}_{12}^{(1)}, \quad \Delta \dot{U}_{12}^{(1)} = i_{12}^{(1)} \cdot \underline{Z}_{12} \cdot \sqrt{3}.$$

Тугунлардаги кучланишларнинг $\dot{U}_1^{(1)}$ ва $\dot{U}_2^{(1)}$ ҳисобланган қийматларининг ҳақиқий қийматлардан фарқ қилиши фақат тугун юклама тоқларининг эквивалент тоқларини аниқлашдаги ноаниқлик билангина

изоҳланади, чунки тармоқни ҳисоблаш усулининг ўзида ҳеч қандай фараз йўқ.

Шу сабабли, тугунлардаги кучланишлар ва бошқа барқарор режим параметрларини аниқроқ қилиш учун 2-банддан бошлаб ҳисобни такрорлаш керак. Бунда бош берилган $\dot{U}_1^{(0)}$ ва $\dot{U}_2^{(0)}$ ўрнига уларнинг аниқроқ қийматларини – $\dot{U}_1^{(1)}$ ва $\dot{U}_2^{(1)}$ ни ишлатиш лозим.

Ҳисобни керакли аниқликка эришилгунга қадар такрорлаш керак. Бунда қўшни итерациялардаги кучланишларни модули ва мутлақ бурчак бўйича таққосланади:

$$\begin{aligned} |U_1^{(k)} - U_1^{(k-1)}| &\leq \xi; \\ |\delta_{Ai}^{(k)} - \delta_{Ai}^{(k-1)}| &\leq \varphi, \end{aligned} \quad (10.21)$$

бу ерда ξ — кучланишлар модули бўйича берилган аниқлик; φ — бурчак бўйича аниқлик; $i = 1, 2, \dots, n$.

Керакли аниқликдаги тоқлар ва кучланишларни ҳисоблашни бажариб бўлгандан сўнг, тармоқнинг барча тармоқларидаги қувват йўқотишларини аниқлаш мумкин:

$$\Delta S_{ij} = 3I_{ij}^2 \cdot Z_{ij}; i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j. \quad (10.22)$$

Агар зарур бўлса, узунлиги бўйича элементлардаги қувват йўқотишларини $\sum_{i \neq j} \Delta S_{ij}$, шунтлардаги йўқотишларни $\sum_i \Delta S_{\text{ш}i}$ ва бутун тармоқ бўйича умумий йўқотишларни аниқлаш мумкин:

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum_{i \neq j} \Delta S_{ij} + \sum_i \Delta S_{\text{ш}i} \quad (10.23)$$

10.3.2. Икки томонлама таъминотли тармоқни узатиш учликларидаги турлича кучланишларда тоқларда ҳисоблаш

Икки томонлама таъминотли тармоқни узатиш учликларидаги турлича кучланишларда ҳисоблаш қўйиб бериш усулидан фойдаланишга асосланади. Ушбу усулга кўра, эквивалент режимдаги барча тармоқлардаги тоқларни эквивалент режимни ҳосил қилувчи барча қисмий режимлар тоқларининг йиғиндиси сифатида қараш мумкин. Бунда турли қисмий режимларнинг тоқлари бир-биридан мустақил равишда аниқланади.

Шунинг учун, икки томонлама таъминотли тармоқнинг узатиш чигилларидаги турлича кучланишлардаги $\dot{U}_A \neq \dot{U}_B$ тоқларини икки токнинг йиғиндиси сифатида қараш мумкин:

- узатиш чигилларидаги тенг кучланишлардаги $\dot{U}_A = \dot{U}_B$ икки томонлама таъминотли тармоқ тармоқларидаги тоқлар;

- узатиш учликларидаги кучланишлар фарқига тенг ЭҚК таъсирида тармоқда оқаётган ток $\dot{E} = \Delta \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$.

Тармоқнинг алмаштириш схемаси 10.3-расмда кўрсатилган.

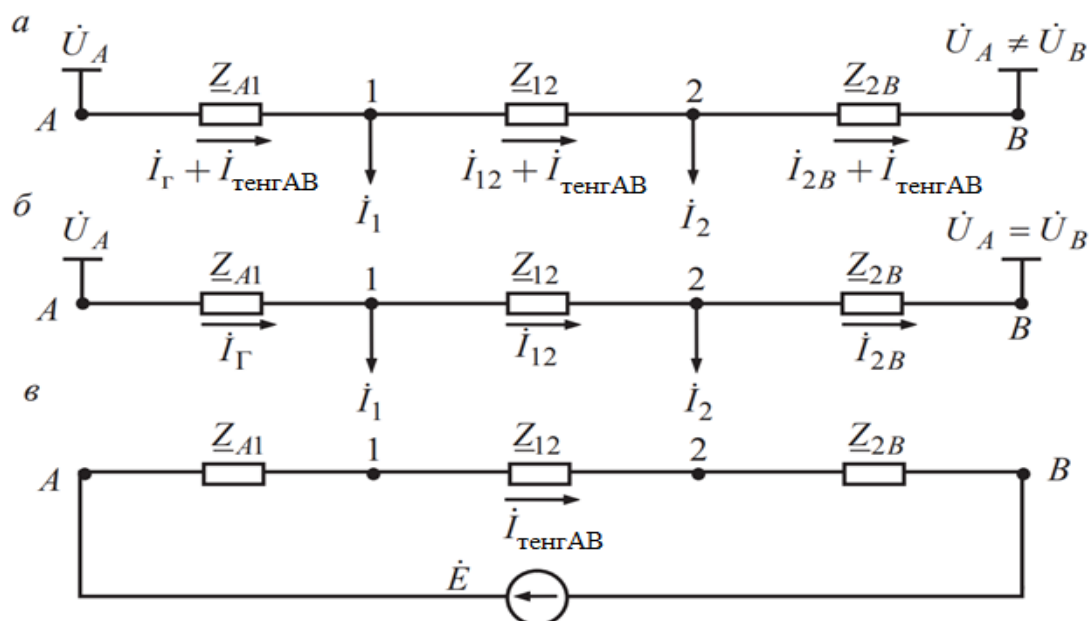
10.3-расм, *а* да келтирилган тармоқнинг исталган участкасидаги токни (*а*) схема (*б*) даги (10.3-расм, *б*) мос тоқлар ва схема (*в*) даги (10.3-расм, *в*) тоқларнинг йиғиндиси сифатида аниқлаш мумкин.

Узатиш учликларидаги тенг кучланишларда (*б*) схемадаги (10.3-расм, *б*) тоқларни аниқлаш юқорида кўриб чиқилган ва тоқлардаги электр моментлар қоидасидан (10.3) фойдаланишга асосланади.

(*в*) схемада (10.3-расм, *в*) оқаётган ток *A* ва *B* тугунлари кучланишлари фарқидан ($\Delta \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$) келиб чиқади, *тенгловчи ток* $\dot{I}_{\text{тенгAB}}$ деб аталади ва $Z_{AB} = Z_A + Z_1 + Z_2 + Z_B$ ҳисобга олинган ҳолда қуйидагича топилиши мумкин:

$$\dot{I}_{\text{тенгAB}} = \frac{\Delta \dot{U}_{AB}}{Z_{AB} \cdot \sqrt{3}} \quad (10.24)$$

Икки томонлама таъминотли тармоқни узатиш учликларидаги турлича кучланишларда ҳисоблаш алгоритми 10.3.1 бўлимда баён қилинган алгоритмдан фақат 5-банд бажарилгандан сўнг тенгловчи токни ҳисобга олиш билангина фарқ қилади.



10.3-расм. Икки томонлама таъминотли тармоқни узатиш учликларидаги турлича кучланишлардаги ҳолат: *а* — асосий тармоқда тоқлар тақсимоти; *б* — *A* ва *B* тугунлари кучланишлари тенг бўлгандаги тармоқ тоқлари; *в* — тенгловчи ток

Шу сабабли алгоритмга қўшимча 5*а* ва 5*б* бандлари киритилади:

5*а*. Тенгловчи токни $\dot{I}_{\text{тенгAB}}$ (10.24) формула бўйича ҳисоблаш:

5*б*. Тармоқнинг бош участкаси *A*–1 даги токни тузиш:

$$\dot{I}_{A1}^{(1)} = \dot{I}_{\text{бош}}^{(1)} + \dot{I}_{\text{тенгAB}} \quad (10.25)$$

Икки томонлама таъминотли тармоқни узатиш учликларидаги турлича кучланишларда ҳисоблаш алгоритмининг қолган барча бандлари 10.3.1 бўлимда келтирилганлар билан тўлиқ мос келади ва такрорлашни талаб қилмайди.

10.4. Икки томонлама таъминотли тармоқни қувватларда ҳисоблаш

Икки томонлама таъминотли тармоқни қувватларда ҳисоблаш тартиби электр узатиш чигилларидаги кучланишлар миқдорига, яъни A ва B тугунларидаги кучланишларга боғлиқ (10.2-рasm, a га қаранг). Масаланинг қўйилиши 10.3 бўлимда келтирилган ва у ерда айtilганидек, икки ҳолат мавжуд: $\dot{U}_A = \dot{U}_B$ ва $\dot{U}_A \neq \dot{U}_B$.

10.4.1. Узатиш учликларидаги кучланишлар тенг бўлганда икки томонлама таъминотли тармоқни қувватларда ҳисоблаш

Тармоқни ҳисоблаш алгоритми 10.2-рasm, a даги схемага нисбатан кўриб чиқилади.

1. Тугунлардаги бошланғич яқинлаштирилган кучланишларни белгилаш: $\dot{U}_1^{(0)}$, $\dot{U}_2^{(0)}$, одатда $\dot{U}_1^{(0)} = \dot{U}_2^{(0)} = \dot{U}_A = \dot{U}_B$ деб олинади.
2. Шунтлардаги ($\underline{Y}_1$ ва $\underline{Y}_2$) йўқотишларни тугун кучланишларига мувофиқ ҳисоблаш:

$$\Delta S_{\text{ш}i}^{(1)} = \left(\dot{U}_1^{(0)} \right)^2 \hat{Y}_i, \quad i = 1, 2. \quad (10.26)$$

3. Тугунларнинг эквивалент қувватларини ҳисоблаш:

$$\Delta S_{\text{э}i}^{(1)} = \underline{S}_i + \Delta S_{\text{ш}i}^{(1)}, \quad i = 1, 2. \quad (10.27)$$

4. $A-1$ бош участкасидаги бош оқимни қувватлар учун моментлар қойдаси (10.8) ёрдамида аниқлаш:

$$\underline{S}_{\text{бош}}^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_{\text{э}i}^{(1)} \hat{Z}_{iB}}{\hat{Z}_{AB}} \quad (10.28)$$

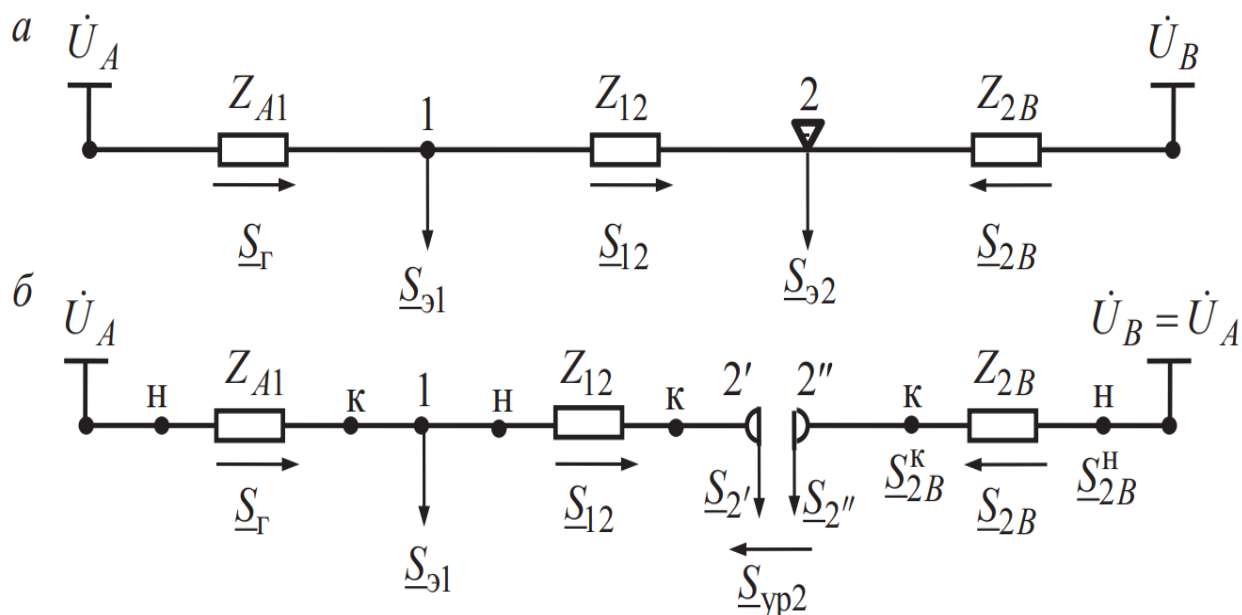
5. Қувват йўқотишларини ҳисобга олмаган ҳолда тармоқнинг барча тармоқларидаги оқимларни Кирхгофнинг I қонуни асосида аниқлаш:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{12}^{(1)} &= \underline{S}_{\text{бош}}^{(1)} - \underline{S}_{\text{э}1}^{(1)}; \\ \underline{S}_{2B}^{(1)} &= \underline{S}_{12}^{(1)} - \underline{S}_{\text{э}2}^{(1)}; \end{aligned} \quad (10.29)$$

6. Икки томонлама қувватланишли тармоқни қувват йўқотишларини ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш учун сунъий усул қўлланилади: тармоқ оқим тақсимои нуқтаси бўйича иккита очик (узилган) схемага бўлинади ва кейин ҳар иккала очик схемани алоҳида-алоҳида қувват йўқотишлари билан ҳисобланади.

Оқим тақсимои нуқтаси деб шундай тугунга айтиладики, унга боғланган барча тармоқларда оқимлар шу тугунга қараб йиғилади ёки ундан тарқалади.

10.4-расм, а даги схемада бундай тугун 2-тугун экани осон кўринади.



Расм - 10.4. Тармоқдаги оқим тақсимои: а — ҳалқа тармоғида; б — иккита очик схемага бўлинганда

7. Кейин сунъий усул қўлланилади: икки томонлама таъминладиган тармоқ оқим тақсимои нуқтаси бўйича иккита очик схемага «кесилади», бунда асосий ва олинган схемаларнинг барча тармоқларидаги оқимлар бир хил сақланади (10.4-расм, б). Шу билан бирга, биринчи итерацияда 2-тугуннинг икки қисмга бўлинган қувватлари 2' ва 2'' аниқланади, улар қуйидаги шартни қаноатлантиради $\underline{S}_{2'}^{(1)} + \underline{S}_{2''}^{(1)} = \underline{S}_{2}$ ва қуйидагича ҳисобланади:

$$\begin{aligned}\underline{S}_{2'}^{(1)} &= \underline{S}_{12}^{(1)}; \\ \underline{S}_{2''}^{(1)} &= \underline{S}_{2B}^{(1)}\end{aligned}\tag{10.30}$$

8. Иккита очик схемани бир-биридан мустақил равишда, қаршилиқлардаги қувват йўқотишларини ҳисобга олган ҳолда, 2-

тугундан ўнгга ва чапга қараб очик схемаларни ҳисоблаш алгоритми бўйича ҳисобланади.

Схеманинг ўнг қисмини ҳисоблаш:

$$\underline{S}_{2''B}^{(1)} = \underline{S}_{2''}^{(1)}; \quad \underline{S}_{2''B}^{(1)} = \underline{S}_{2''B}^{(1)} + \underline{\Delta S}_{2''B}^{(1)}; \quad \underline{\Delta S}_{2''B}^{(1)} = \left(\frac{\underline{S}_{2''B}^{(1)}}{\underline{U}_2^{(0)}} \right)^2 \cdot \underline{Z}_{2B};$$

$$\underline{U}_{2''}^{(1)} = \underline{U}_B - \underline{\Delta U}_{2''B}^{(1)}; \quad \underline{\Delta U}_{2''B}^{(1)} = \underline{\Delta U}_{2''B}^{(1)} + j \delta \underline{U}_{2''B}^{(1)};$$

$$\underline{\Delta U}_{2''B}^{(1)} = \frac{P_{2B}^{(1)} R_{2B} + Q_{2''B}^{(1)} \cdot X_{2B}}{\underline{U}_B}; \quad \delta \underline{U}_{2''B}^{(1)} = \frac{P_{2B}^{(1)} \cdot X_{2B} - Q_{2''B}^{(1)} \cdot R_{2B}}{\underline{U}_B};$$

$$\underline{U}_{2''}^{(1)} = \sqrt{\left(\underline{U}_B - \underline{\Delta U}_{2''B}^{(1)} \right)^2 + \left(\delta \underline{U}_{2''B}^{(1)} \right)^2};$$

$$\delta_{2''B}^{(1)} = \arctg \frac{-\delta \underline{U}_{2''B}^{(1)}}{\underline{U}_B - \underline{\Delta U}_{2''B}^{(1)}};$$

$$\underline{U}_{2''}^{(1)} = \underline{U}_{2''}^{(1)} \cdot e^{j \delta_{2''B}^{(1)}} = \underline{U}_{2''}^{(1)} \angle \delta_{2''B}^{(1)}$$

Чап қисмнинг ҳисоби мутлақо ўхшаш тарзда амалга оширилади, натижада 2' ва 2'' тугунларидаги кучланишлар олинади ($\underline{U}_{2'}^{(1)}$ ва $\underline{U}_{2''}^{(1)}$). Аслида бир хил тугун бўлиб 2' ва 2'' тугунларидаги кучланишларнинг фарқ қилиши фақат қувватлар учун моментлар қоидасининг ноаниқлиги билан боғлиқ бўлиб, бу эса тармоқ тармоқларидаги қувват йўқотишларини ҳисобга олмасликдан келиб чиқади ва 2-тугуннинг эквивалент юкламаси $\underline{S}_{92}$ ни 2' ва 2'' тугунлари ўртасида нотўғри тақсимланишига олиб келади.

9. $\underline{U}_{2'}^{(1)}$ ва $\underline{U}_{2''}^{(1)}$ кучланишлар фарқидан келиб чиқувчи тенгловчи оқимни аниқлаш 2-тугунда ўнг ва чап томондан кучланишлар фарқини ҳисоблаганда $\underline{\Delta U}_2^{(1)} = \underline{U}_{2'}^{(1)} - \underline{U}_{2''}^{(1)}$ тенгловчи оқим $\underline{S}_{\text{тенг}2}$ йўналиши 2' тугундан 2'' тугунга қараб деб қабул қилинади.

$\underline{S}_{\text{тенг}2}$ қиймати қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\underline{S}_{\text{тенг}2} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{тенг}} \underline{U}_{2\text{ўр}} = \sqrt{3} \frac{\underline{\Delta U}_2^{(1)}}{\underline{Z}_{AB} \sqrt{3}} \underline{U}_{2\text{ўр}}.$$

2-тугундаги ўртача кучланишни ҳисобга олиб $\underline{U}_{2\text{ўр}} = 1/2 \left(\underline{U}_{2'}^{(1)} + \underline{U}_{2''}^{(1)} \right)$. $\underline{S}_{\text{тенг}2}$ юкламасининг 2' ва 2'' тугунлари ўртасидаги нотўғри тақсимланиши туфайли пайдо бўлувчи тенгловчи оқим қуйидаги кўринишга эга:

$$\underline{S}_{\text{тенг2}} = \frac{\Delta \dot{U}_2^{(1)}}{\underline{Z}_{AB}} \cdot \frac{\dot{U}_2^{(1)} + \dot{U}_2^{(1)'}}{2}. \quad (10.31)$$

S_{22} шарт бажарилганда, 2-тугуннинг юклама тақсимоти $2(S_{22})$ 2' ва 2'' тугунлари ўртасида қуйидагича аниқлаштирилади:

$$\underline{S}_{2'}^{(2)} = \underline{S}_{2'}^{(1)} + S_{\text{тенг2}}; \quad (10.32)$$

$$\underline{S}_{2''}^{(2)} = \underline{S}_{2''}^{(1)} + S_{\text{тенг2}};$$

Амалий ҳисобларда оқим бўлиниш нуқтасидаги кучланишлар фарқи нисбатан кичик бўлса (ушбу итерацияда кучланишни аниқлаш хатолиги доирасида бўлса), оқим бўлиниш нуқтасидаги кучланишлар фарқи нисбатан кичик бўлса), оралиқ итерацияларда тенглаштирувчи оқимни ҳисобга олиш шарт эмас. Буни фақат охириги итерацияда бажариш кифоя. Иккинчи ва ундан кейинги барча итерациялар биринчисидан фақат тугунларнинг аниқроқ кучланишларидан фойдаланилиши билан фарқ қилади. Ҳисоб тармоқнинг барча тугунлари бўйича талаб қилинган аниқликка (10.21) эришилгандан сўнг тугатилади (модули ва бурчаги бўйича).

10.4.2. Узатиш линиясининг икки учларида турли кучланишлар бўлган икки томонлама таъминотли тармоқни ҳисоблаш

Икки томонлама таъминотли тармоқни турли кучланишларда ҳисоблаш алгоритми 10.4.1 бўлимда баён қилинган алгоритмдан фақат 4-банд бажарилгандан кейин тенглаштирувчи оқимни ҳисобга олиш билан фарқ қилади.

Шу сабабли алгоритмга қўшимча 4, а ва 4, б бандлар қўшилади:
4,а. А ва В тугунлари кучланишлари $\dot{U}_A$ ва $\dot{U}_B$ фарқи туфайли юзага келадиган тенглаштирувчи қувват $S_{\text{урAB}}$ ни ҳисоблаш.

Тенглаштирувчи қувват $S_{\text{урAB}}$ тенглаштирувчи ток $\dot{I}_{\text{тенгAB}}$ (10.24) ва тармоқдаги ўртача кучланиш $\dot{U}_{\text{ўртAB}}$ ёрдамида аниқланади:

$$\dot{I}_{\text{тенгAB}} = \frac{\Delta \dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}\sqrt{3}}; \quad \dot{U}_{\text{ўртAB}} = \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B}{2}$$

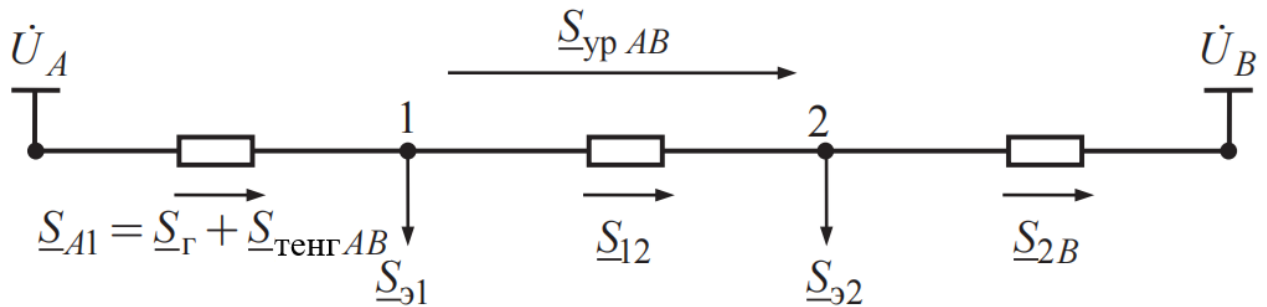
унда

$$S_{\text{ўртAB}} = \frac{\Delta \dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} \dot{U}_{\text{ўртAB}} \quad (10.33)$$

$S_{\text{урAB}}$ йўналишининг танланиши қуйидаги қоидага мувофиқ амалга оширилади:

$$\Delta \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$$

яъни A нуктадан B нуктага йўналтирилган кучланишлар фарқи векторига мувофиқ, тенглаштирувчи оқимнинг қўйилиши 10.5-расмда кўрсатилган.



Расм - 10.5. Тенглаштирувчи оқимнинг қўйилиши

4, б. Бош участка $A-1$ даги оқимни туғрилаш ва $\underline{S}_{A1}$ ни аниқлаш:

$$\underline{S}_{A1} = \underline{S}_{\text{бош}} + \underline{S}_{\text{тенг}AB}.$$

Бош участка $A-1$ даги оқим тугрилангандан сўнг ҳисоблашни давом эттириш 10.4.1-бўлимда баён қилинган тартибдан ҳеч қандай фарқ қилмайди – 5-банддан бошлаб ва ушбу бўлим тугагунга қадар.

Иккинчи итерация ва ундан кейинги ҳар қандай итерация фақат тугунларнинг аниқроқ кучланишлари (модули ва бурчаги) қўлланилиши билангина биринчи итерациядан фарқ қилади. Ҳисоблаш бутун тармоқ тугунлари бўйича кучланишларнинг талаб қилинган аниқлигига (10.21) эришилгандан сўнг тугатилади.

Ўзини ўзи текшириш учун саволлар

1. Икки томонлама таъминотга эга тармоқ деганда нима тушунилади ва у қандай ҳолатларда қўлланилади?
2. Тоқлар учун электр моментлари қоидасининг маъноси нима ва уни (10.3) формуласи орқали қандай ҳисоблайди?
3. Қувватлар учун моментлар қоидасининг (10.7) ва (10.8) ифодаларининг фарқи нимада, ва улар қачон қўлланилади?
4. Бир хил тармоқ деганда нима тушунилади ва унинг қаршиликлари қандай ҳисобланади (10.9-10.11 формулалар асосида)?
5. Бир хил тармоқда актив ва реактив қувватларнинг тақсимланиши қандай мустақилликка эга, ва бунинг натижалари қандай (10.15-10.16 формулалар орқали шарҳланг)?

6. Узатишнинг учларидаги кучланишлар тенг бўлганда икки томонлама таъминотли тармоқни тоқларда ҳисоблаш алгоритмининг асосий босқичлари қандай (10.3.1 бўлим)?
7. Узатиш учларидаги кучланишлар тенг эмас бўлганда тенгловчи тоқни қандай ҳисоблайди ва унинг роли нима (10.24 формуласи асосида)?
8. Қувватларда ҳисоблашда оқим тақсимои нуқтаси деганда нима тушунилади ва унинг ҳисоблашдаги аҳамияти қандай (10.4-расм орқали мисол келтиринг)?
9. Узатиш учларидаги кучланишлар тенг бўлганда қувватларда ҳисоблаш алгоритмининг 6-9 бандларида сунъий усул қандай қўлланилади?
10. Узатиш линиясининг икки учларида турли кучланишлар бўлганда тенглаштирувчи қувват $S_{тензAB}$ ни қандай ҳисоблайди ва унинг йўналиши қандай белгиланади (10.33 формуласи ва 10.5-расм асосида)?

11. Мурраккаб халқа шаклидаги тармоқлар режимларини ҳисоблаш усуллари

11.1. Мурраккаб электр тармоқлари режимларини ҳисоблаш вазифалари

Электроэнергетика тизимларини лойиҳалаш ва эксплуатация қилиш жараёнида истеъмолчилар шинасида талаб қилинадиган электр энергияси сифатини таъминлаш, шунингдек, манбалардан истеъмолчиларга электр энергиясини ишлаб чиқариш ва узатиш режимларини оптималлаштириш мақсадида мурраккаб халқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режим параметрларини баҳолаш зарур.

Барқарор режим параметрлари бир-бири билан чизиксиз боғлиқликда бўлганлиги сабабли, юқорида бир неча марта таъкидланганидек, ҳисоблаш усулидан қатъи назар, мурраккаб халқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режим параметрларини олиш режим параметрларини кетма-кет аниқлаштиришнинг итерацион жараёнига келиб қайтади [4, 5, 8].

Юқорида кўриб чиқилган очиқ тармоқлар ва икки томонлама қувватлантириладиган тармоқларнинг барқарор режим параметрларини ҳисоблаш усуллари асосида мурраккаб халқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режим параметрларини аниқлаш амалда имконсиз.

11.1.1. Мурраккаб халқа шаклидаги тармоқлар режимларини ҳисоблаш усулларига умумий қараш

Мурраккаб халқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режим параметрларини ҳисоблашнинг итерацион усуллари мажмуасини 11.1-жадвалда кўрсатилганидек, шартли равишда икки гуруҳга бўлиш мумкин:

- эквивалентлаштириш ёки ўзгартириш усуллари;
- барқарор режим тенгламалари тизимидан фойдаланадиган усуллар.

11.1-жадвалда кўриниб турибдики, мурраккаб халқа шаклидаги электр тармоқларини эквивалентлаштириш ёки ўзгартириш усуллариининг моҳияти фаол ва пасив схемаларни ўзгартириш усуллариининг фойдаланиб, мурраккаб халқа шаклидаги электр тармоқлари конфигурациясини соддалаштиришдан иборат. Бунда соддалаштириш узатиш учларида бир хил ёки турлича кучланишларда очиқ электр тармоқлари ёки икки томонлама қувватлантириладиган тармоқларни олишга олиб келади.

Барқарор режимни тенгламалар тизимини тузиш ва ечиш билан боғлиқ бўлган жуда кўп сонли усуллар гуруҳи ёрдамида тасвирлаш мумкин: тугун кучланишлари тенгламалари (ТКТ); контур тенгламалари (КТ); тақсимлаш коэффициентлари усуллари (ТКУ). Бундан ташқари, мурраккаб халқа

шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режимларини ҳисоблашнинг яна бир қатор тенгламалари ва усулларини номлаш мумкин, улар ҳозирги вақтда соф ҳолатида жуда кам қўлланилади — контурларни кесиш усули, Кирхгофнинг I ва II қонунларини матрицали ёзувдан фойдаланган ҳолда тўғридан-тўғри ҳисоблаш усули ва бошқалар. Шу билан бирга, бу усулларнинг айрим элементлари барқарор режимларни ҳисоблашнинг саноат дастурларини ишлаб чиқишда қўлланилади.

Жадвал 11.1

Мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларини ҳисоблаш усуллари.

Мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режимларини ҳисоблаш усуллари					
Мурраккаб ҳалқа шаклидаги тармоқларни ўзгартириш усуллари		Барқарор режимлар тенгламаларини тузиш			
Схемаларни ўзгартириш қабуллари		Барқарор режимлар тенгламалари			
Актив схемалар	Пассив схемалар	ТКТ	КТ	ТК	Ва бошқалар
Тугун юкламасини магистралга ёйиш	Кетма-кет эквивалентлаштириш	Барқарор режимлар тенгламалари тизимини линиялаштириш			
Юлдузча марказидан тугун юкламасини ёйиш	Параллель эквивалентлаштириш	Барқарор режимлар тенгламалари тизимини ечиш усулларининг қўлланиши			
Охири таъминот манбаларини бирлаштириш	Юлдузча ва учбурчак ўртасидаги тўғри ва тескари ўзгартиришлар				
Эквивалентлаштирилган тармоқнинг барқарор режимларини ҳисоблаш		Мурраккаб ҳалқа шаклидаги тармоқнинг барқарор режим параметрларини олиш			
Эквивалентлаштирилган тармоқни асил тармоққа тескари ўзгартириш					

Юқорида айтиб ўтилганидек, электр тармоғининг барқарор режимни ҳисоблаши қўлланилаётган ҳисоблаш усулидан қатъи назар, режим параметрларини кетма-кет аниқлаштиришнинг итерацион жараёнига келиб қайтади. Бунда итерацион жараённинг конвергенциясини таҳлил қилиш вазифаси пайдо бўлади. Электр тармоғининг барқарор режим параметрларини аниқлаштиришнинг итерацион жараёни монотон ёки тебранишли бўлиши мумкин. Шунини таъкидлаш керакки, итерацион жараён ҳар доим ҳам конвергент бўлавермайди. Барқарор режимни ҳисоблашнинг

ажралишга мойил итерацион жараёни тармоқ параметрларининг катта нотекислиги ҳолатида пайдо бўлиши мумкин, масалан, тармоқ параметрларини узунчоқ компенсация қилиш қурилмаларидан фойдаланилганда ёки тармоқда ўртача кучланиш ўрамаларининг ноль қаршилигига эга уч ўрамали трансформаторлар мавжуд бўлганда. Бундан ташқари, ажралишга мойил итерацион жараён статик барқарорлик чегарасига яқин оғир режимнинг оқибати бўлиши мумкин.

Итерацион жараён муваффақиятли конвергенция қилганда, барқарор режимни ҳисоблаш итерацион жараёнини тугатиш критерияси тармоқнинг барча тугунларида кучланишлар модуллари ва бурчаклари бўйича талаб қилинадиган аниқликка эришишдир. Агар ξ ва γ — k -итерацияда i – тугун кучланиши модули ва бурчаги бўйича талаб қилинадиган аниқлик параметрлари бўлса, бу ерда $i = 1, 2, \dots, n$, n эса баланс тугунисиз тармоқдаги тугунлар сони бўлса, итерацион жараёни тугатиш мумкин, агар қуйидаги шартлар бажарилса.

$$\frac{|U_i^{(k)} - U_i^{(k-1)}|}{U_i^{(k-1)}} \cdot 100\% \leq \xi; \quad (11.1)$$

$$\frac{|\delta_{1i}^{(k)} - \delta_{1i}^{(k-1)}|}{\delta_{1i}^{(k-1)}} \cdot 100\% \leq \gamma; \quad (11.2)$$

11.1.2. Истеъмолчиларнинг ҳисобий юкламалари

Ҳалқа шаклидаги ва мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режимларини ҳисоблашнинг кўпчилик усуллари тармоқни олдиндан эквивалентлаштиришни талаб қилади. Бунда баъзан пастлаштирувчи трансформаторларнинг паст томонида берилган юкламаларни юқори кучланишга келтириш амалга оширилади. Бундан ташқари, ҳалқа шаклидаги ва мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режимларини ҳисоблашдан олдин алоҳида истеъмолчилар ёки истеъмолчилар гуруҳларининг электр узатиш линиялари томонидан реактив қувват генерациясини ҳисобга олган ҳолда ҳисобий юкламаларини олдиндан олиш қулай бўлади.

11.1 – расмда ҳалқа шаклидаги электр тармоғи кўрсатилган, унда 21, 31 ва 41 тугунларидаги юкламалар пастлаштирувчи трансформаторларнинг паст томонида берилган.

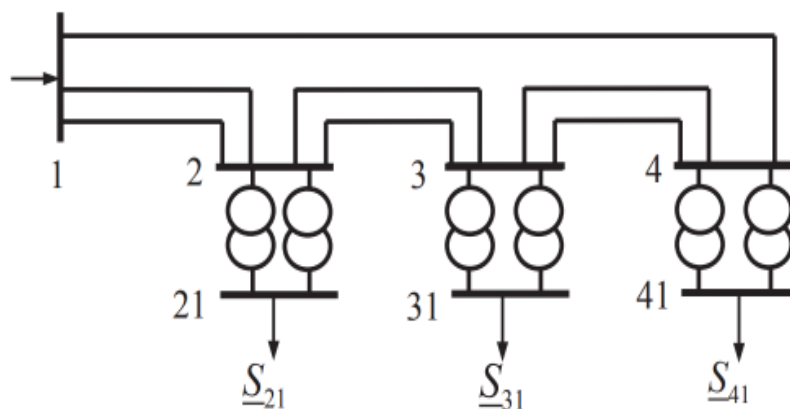
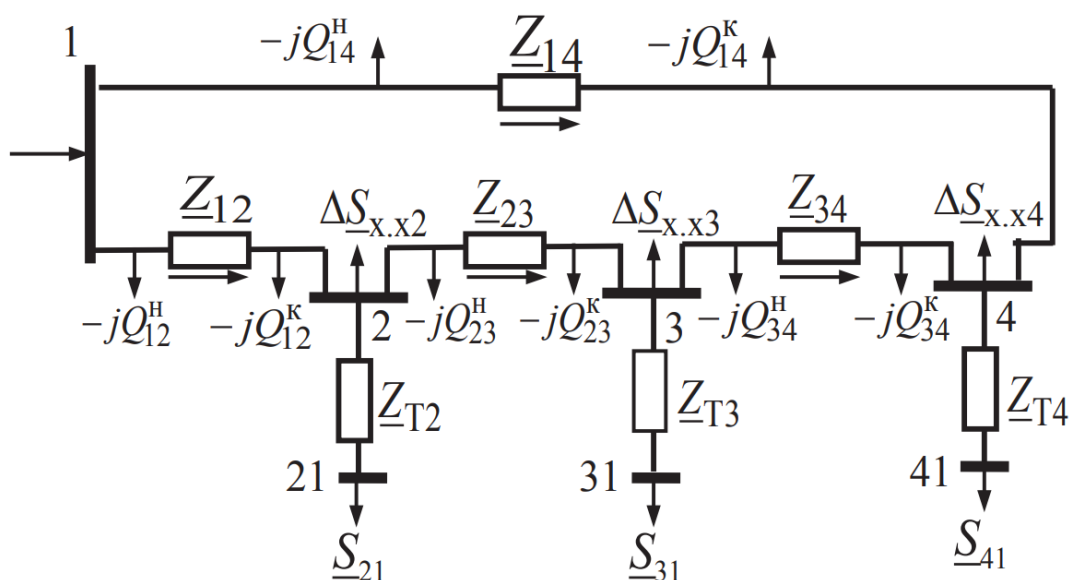


Рис. 11.1. Тармоқнинг асил схемаси

Тармоқнинг асил схемаси қуйидагида кўрсатилган (ҳалқа шаклидаги тармоқ, юклар пасайтирувчи трансформаторларнинг паст томонида жойлашган). Типик асил ҳалқа тармоқ схемалари (трансформаторлар орқали юклар уланган):



11.2-расм. Тармоқнинг алмаштириш схемаси

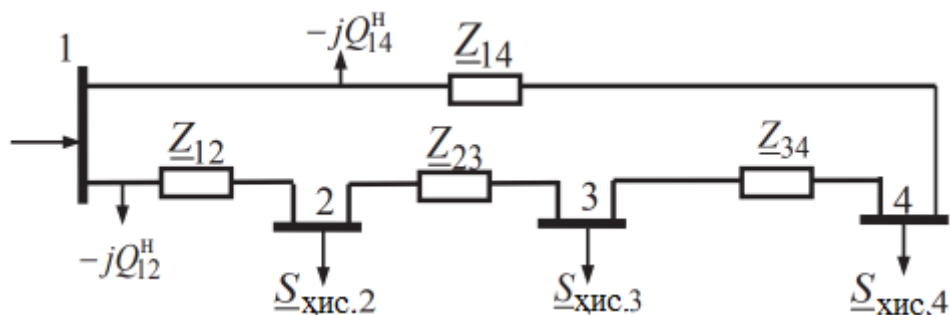
Ҳисобий юклар қуйидаги нисбат бўйича аниқланади [5, 6]:

$$\underline{S}_{\text{хис.}i} = \underline{S}_{\text{юкл.}i} + \Delta \underline{S}_{\text{Т}i} + \Delta \underline{S}_{\text{с.иш.},i} - j \frac{Q_{i(i-1)} + Q_{i(i+1)}}{2}, \quad (11.3)$$

2-тугуннинг ҳисобий юклар қуйидаги кўринишга эга:

$$\underline{S}_{\text{хис.}2} = \underline{S}_{\text{юкл.}21} + \Delta \underline{S}_{\text{Т}2} + \Delta \underline{S}_{\text{с.иш.},2} - j \frac{Q_{12} + Q_{23}}{2},$$

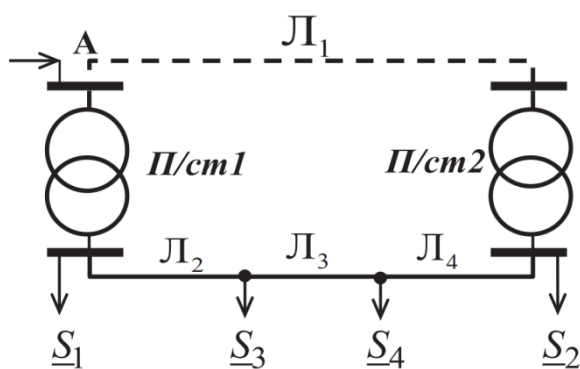
Подстанцияларнинг ҳисобий юкламалари билан тармоқнинг резултирувчи алмаштириш схемаси 11.3-расмда келтирилган.



Расм – 11.3. Ҳисобий юкламалар билан тармоқнинг алмаштириш схемаси

11.1.3. Комплекс трансформация коэффицентларини ҳисобга олиш

Замонавий электр энергетика тизимлари таркибига турли классдаги номинал кучланиш тармоқлари киради, улар трансформатор боғламалари орқали бири-бири билан боғланган. Очик электр тармоқларида трансформатор боғламаларини ҳисобга олиш алоҳида қийинчилик туғдирмайди. Очик электр тармоқларининг ўрнатилган режим параметрларини ҳисоблашда трансформатор боғламаларини ҳисобга олиш усуллари тегишли бўлимларда кўриб чиқилган ва улар тармоқни битта кучланиш классга келтириш ёки турли кучланиш классларида ҳисоблашга қайтади. Бунда исталган трансформация коэффицентли трансформаторларни ҳисобга олишда ҳеч қандай қийинчилик юзага келмайди [5, 8]. Ҳалқа тармоқлар, айниқса мураккаб ёпиқ тармоқларни ҳисоблашда, трансформатор қаршиликлари ёпиқ контурларга кирадиган бўлса, ноҳамвор (неуравновешенные) трансформация коэффицентларини, хусусан комплекс трансформация коэффицентларини ҳисобга олиш зарурати туғилади. 11.4-расмда икки хил номинал кучланиш классли икки тармоқ участкасидан иборат ва улар иккита трансформатор орқали боғланган ҳалқа



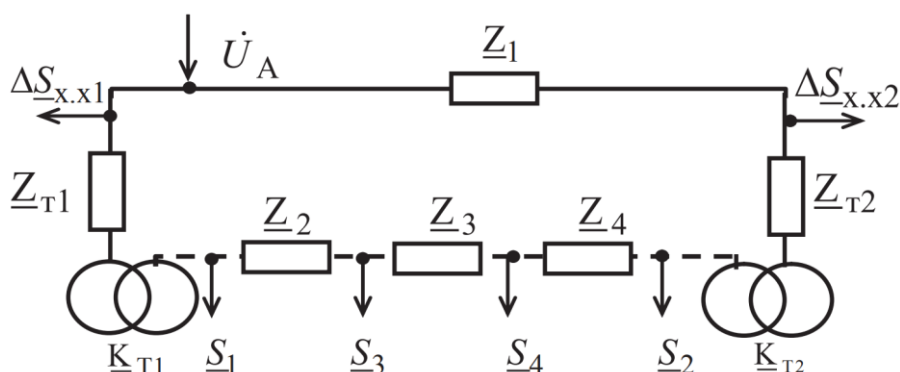
Расм – 11.4. Икки тармоқ синфидаги ҳалқа тармоқ

электр тармоғи схемаси келтирилган.

Алмаштириш схемаси 11.5-расмда кўрсатилган. Алмаштириш схемасига иккита идеал трансформаторни киритиш кўриб чиқиладиган тармоқнинг икки нуқтасида магнит боғламалари борлигини ифодалайди.

Z_2 , Z_3 , Z_4 қаршиликларини L_1 линияси кучланиш классига келтиргандан сўнг алмаштириш схемасини 11.6-расмда

кўрсатилган кўринишга ўтказиш мумкин.

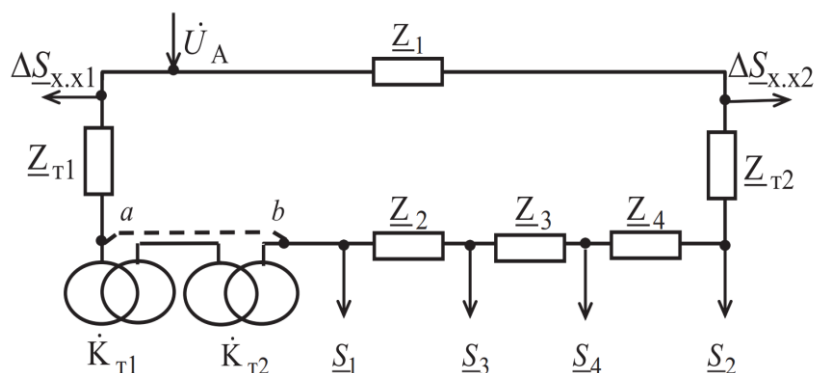


Расм – 11.5. Ҳалқа тармоқнинг алмаштириш схемаси

Комплекс трансформация коэффициентлари $\dot{K}_{T1}$ ва $\dot{K}_{T2}$ зарур бўлганда кучланиш модулларининг ўзгаришининг эмас, балки уларнинг бурчакларини ҳам ҳисобга олиш имконини беради, яъни трансформатор обмоткаларининг уч фазали тизимлардаги уланиш схемаларини ҳисобга олиш мумкин бўлади. Идеал трансформаторлар алмаштириш схемасида қаршиликлар ва ўтказувчанликлар йўқлиги сабабли b нуктасидаги $\dot{U}_b$ кучланиши a нуктасидаги $\dot{U}_a$ кучланишига нисбатан комплекс трансформация коэффициентлари $\dot{K}_{T1}$ ва $\dot{K}_{T2}$ нисбати билан аниқланади:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \frac{\dot{K}_{T2}}{\dot{K}_{T1}} \quad (11.4)$$

Агар трансформация коэффициентлари бир хил бўлса, яъни $\dot{K}_{T1} = \dot{K}_{T2}$, у ҳолда a ва b узелларидаги тармоқлар ҳам бир хил бўлади: $\dot{U}_a = \dot{U}_b$. Шунга кўра, идеал трансформаторларни алмаштириш схемасидан чиқариб ташлаш мумкин, ва a ҳамда b нукталарини бир узелга бирлаштириш керак, бу 11.6-расмда пунктир чизик билан кўрсатилган.



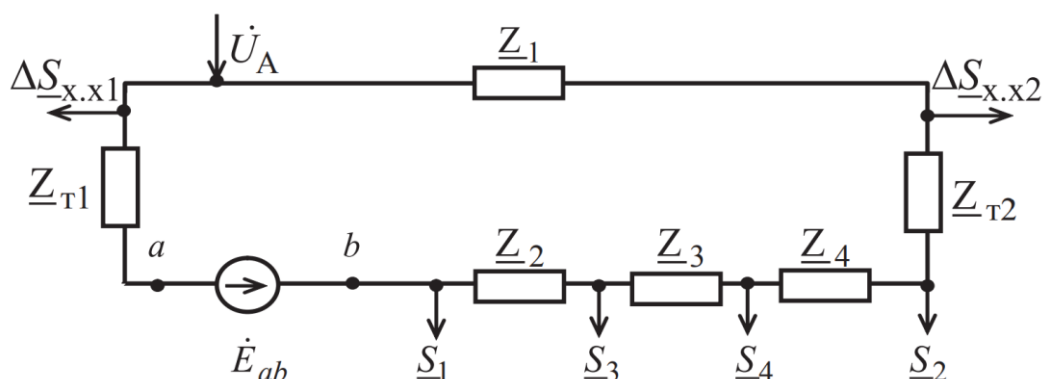
11.6-расм. Ҳалқа тармоқнинг алмаштириш схемаси

Агар трансформация коэффициентлари турлича бўлса, $K_{T1} \neq K_{T2}$, у ҳолда a ва b нукталарининг тармоқлари ҳам турлича бўлади, $\dot{U}_a \neq \dot{U}_b$. Шу сабабли, a ва b нукталарини бирлаштириш мумкин эмас. Идеал трансформаторларни схемадан чиқариб ташлаш учун a ва b нукталари орасига электровозбудитель куч (ЭҚК) $\dot{E}_{ab}$ ҳосил қилувчи манбаъни киритиш зарур. $\dot{E}_{ab}$ миқдори a ва b нукталаридаги тармоқлар нисбатига боғлиқ. Шунда электркўзғатгич кучни аниқлаш учун қуйидаги ифодани олиш мумкин:

$$\dot{E}_{ab} = \dot{U}_a - \dot{U}_b = \dot{U}_a - \dot{U}_a \cdot \frac{K_{T2}}{K_{T1}} = U_a \left(1 - \frac{K_{T2}}{K_{T1}} \right). \quad (11.5)$$

Икки турли номинал тармоқ синфи участкаларидан иборат ҳалқа тармоқнинг алмаштириш схемаси, номувозанатли трансформация коэффициентларини $\dot{E}_{ab}$ электровозбудитель кучи билан алмаштиргандан кейин, 11.7-расмда келтирилган.

Шундай қилиб, ҳалқа ёки мураккаб ҳалқали тармоқларнинг ўрнатилган режимларини ҳисоблашда, турли тармоқ синфли электр узатиш линияларини ўз ичига олган контурларда номувозанатли трансформация коэффициентлари борлигида, электркўзғатгич куч $\dot{E}_{ab}$ мавжудлигини ҳисобга олиш зарур.



Расм – 11.7. Ҳалқа тармоқнинг алмаштириш схемаси

11.2. Мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларини ўзгартириш усулининг асосий қоидалари

Мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларининг барқарор режим параметрларини қўлда ҳисоблаш учун тармоқни ўзгартириш усули ишлатилиши мумкин. Ушбу усулнинг моҳияти тармоқни соддароқ кўринишга (битта ҳалқа ёки очик тармоққа) келтиришдан иборат. Соддалаштирилган тармоқ очик тармоқлар ва икки томонлама қувватланишли тармоқларни ҳисоблашнинг маълум усулларида фойдаланиб ҳисобланади, кейин эса тармоқни тескари ўзгартириш орқали асосий кўринишга қайтарилади. Ўзгартириш усулидан фойдаланилганда тармоқнинг магистрал қисмидаги ҳар қандай тугундан юкламаларни тақсимлаш, юлдуз марказидан тақсимлаш, чекка қувват манбалари ва юкламаларни бирлаштириш, электр тармоқ схемасининг пассив қисмларини ўзгартириш

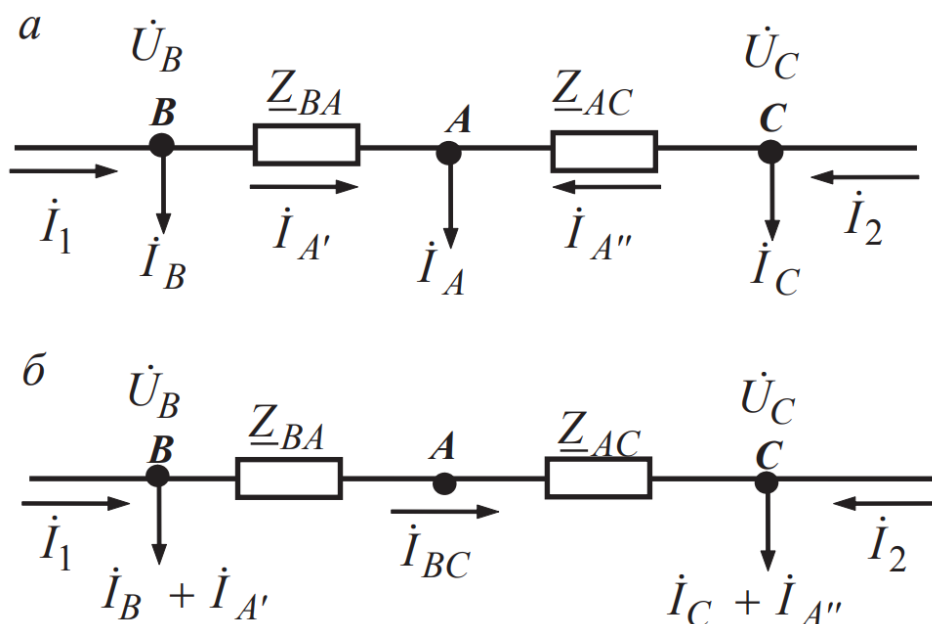
каби усуллар қўлланилади. Ўзгартириш усули ўзгартирилаётган қисмига нисбатан ташқи бўлган тармоқнинг барқарор режим параметрлари ўзгармаслиги шартига риоя қилинган ҳолда қўлланилиш керак. Бундан ташқари, ўзгартириш усулларида фойдаланилганда олдиндан қабул қилинаётган барча фаразларни кўрсатиб ўтиш зарур [3–6, 8]. Қуйида тармоқни ўзгартиришнинг баъзи усуллари кўриб чиқилган.

11.2.1. Тармоқнинг магистрал қисмида юкламаларни тақсимлаш

Тармоқнинг ҳар қандай тугунидан юкламаларни тақсимлаш электр тармоқни ўзгартириш эквивалент бўлиши учун шундай бажарилиши керакки, ўзгартириш натижасида ўзгартирилмаган схеманинг ушбу қисмида режим параметрлари ўзгармасин. Эквивалентлик ўзгартиришда риоя қилинади, агар натижада ўзгартирилмаган схема қисмида режим параметрлари ўзгармаса.

Мурраккаб ҳалқа шаклидаги электр тармоқларини ўзгартириш усулининг асосий қоидалари

Юкламаларни тақсимлаш 11.8, *а* расмда келтирилган электр тармоқ мисолида кўриб чиқилган бўлиб, у *A*, *B*, *C* тугунларидан иборат, уларнинг юкламалари тугун токлари кўринишида I_A , I_B , I_C , ва тармоқ шохобчалари Z_{BA} , Z_{AC} қаршиликка эга. *A* тугуни юкламасини *B* ва *C* тугунлари ўртасида тақсимлаш амалга оширилади, эквивалент схема (11.8, *б* расм) да $I_{A'}$ ва $I_{A''}$ токлари (I_A юклама токи қисмларини) аниқлаш талаб қилинади, улар тегишлича *B* ва *C* тугунлари ўртасида тақсимланган. Тақсимлаш ташқи токлар ўзгармаслигида (ташқи токлар I_1 ва I_2 асосий ва эквивалент схемаларда бир хил бўлиши керак) бажарилиши лозим.



Расм – 11.8. Электр тармоғи схемаси: *а* — бошланғич; *б* — эквивалент

B ва C узеллари ўртасидаги кучланиш тушишини бошланғич схемада $B-A$ ва $A-C$ шохобчалари токлари I_A ва I_B ва C узеллари ўртасидаги кучланиш тушиши бошланғич схемада $B-A$ ва $A-C$ шохобчалари токлари I_A ва I_C ўқорқали, ёки эквивалент схемада I_{BC} токи орқали, токларнинг шартли йўналишига мувофиқ ифодаланиши мумкин:

ўқорқали, ёки эквивалент схемада I_{BC} токи орқали, токларнинг шартли йўналишига мувофиқ ифодаланиши мумкин:

МУНДАРИЖА

	КИРИШ.....	4
1.	ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИ, УЛАРНИНГ ЭЛЕМЕНТЛАРИ ВА ТЕХНОЛОГИК ХУСУСИЯТЛАРИ	6
1.1.	Энергия ва электр энергия тизимларининг таърифлари.....	6
1.2.	Энергия тизимларининг элементлари ва уларнинг хусусиятлари.....	7
1.3.	Электр қурилмалари. Қурилмаларнинг номинал маълумотлари.....	12
1.4.	Энергия тизимларининг электр тармоқларини таснифлаш.....	15
1.5.	Электр тармоқларнинг ўрнатилган режимларини ҳисоблашнинг мақсади ва усуллари.....	18
2.	ЭЛЕКТР УЗАТИШ ЛИНИЯЛАРИНИ КОНСТРУКЦИЯЛАРИ.....	22
2.1.	Электр узатиш линияларининг асосий таркибий элементлари.	22
2.2.	Ҳаво линияси ўтказгичларининг конструктив элементлари.....	23
2.3.	Ҳаво линияси таянчларининг таркибий элементлари.....	27
2.4.	Изоляторлар ва линиялар конструкцияларининг элементлари.	33
2.5.	Ҳаво узатиш линиялари симларининг тебраниш ва силкиниш ҳодисалари.....	36
3.	КАБЕЛ ЛИНИЯЛАРИ.....	41
3.1.	Кабел линияларининг конструкция элементлари.....	41
3.2.	Кабел линияларини ётқизиш (прокладка) усуллари.....	45
4.	ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАЛАРИ ВА ПАРАМЕТРЛАРИ....	49
4.1.	Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемаси параметрлари.....	49
4.2.	Трансформаторлар ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари параметрлари.....	64
5.	ЭЛЕКТР ЮКЛАМАЛАР ВА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ МАНБАЛАРИ.....	79

5.1.	Комплекс юкламалар тугунининг хусусияти.....	79
5.2.	Комплекс юкламалар тугунининг статик хусусиятлари.....	83
5.3.	Электр тармоқларининг ҳисобий схемаларида юкламаларнинг тасвири.....	85
5.4.	Электр тармоқларнинг ҳисоб-китоб схемаларида манбаларни тасвирлаш.....	88
6.	ЭЛЕКТР ЮКЛАМАЛАРНИНГ ГРАФИКАСИ.....	93
6.1.	Юкламалар графиклари турлари.....	93
6.2.	Кунлик график ва унинг хусусиятлари.....	97
6.3.	Йиллик графиклар ва уларнинг хусусиятлари.....	100
6.4.	Энергетика тизимининг кунлик графигини қоплаш муаммоси	102
7.	ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ЙЎҚОТИШЛАРИ.	106
7.1.	Тармоқ участкасида қувват йўқотишлари.....	106
7.2.	Электр тармоқлари элементларида қувват исрофларини ҳисоблаш.....	113
8.	ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ЙЎҚОТИШЛАРИ.....	122
8.1.	Электр тармоқларида электр энергияси йўқотишларининг тузилиши.....	122
8.2.	Тармоқларда электр энергияси йўқолишларини ҳисоблаш принциплари.....	124
8.3.	Ўзгарувчан электр энергияси йўқотишларини аниқлашнинг амалий усуллари.....	127
8.4.	Тармоқ элементларида энергия йўқотишларини ҳисоблашнинг хусусиятлари.....	129
9.	ОЧИҚ ТАРМОҚЛАРНИНГ ЎРНАТИЛГАН РЕЖИМЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ.....	132
9.1.	Тармоқ участкаси тоқлари ва кучланишларининг вектор диаграммалари.....	132
9.2.	Тармоқлашган тармоқ кучланишларининг ва тоқларининг вектор диаграммалари.....	140
9.3.	Очиқ электр тармоғининг барқарор режимларини ҳисоблаш алгоритмлари.....	143
9.3.1.	Ўзатиш охири параметрлари бўйича барқарор режимни ҳисоблаш.....	144
9.3.2.	Ўзатишнинг бошидаги параметрлари бўйича барқарор режимни ҳисоблаш.....	147
9.3.3.	Таъминлантирувчи узел кучланиши ва юклама қувватлари бўйича очиқ тармоқнинг барқарор режимини ҳисоблаш.....	150
10.	ИККИ ТОМОНЛАМА ТАЪМИНОТГА ЭГА ТАРМОҚ РЕЖИМИНИ ҲИСОБЛАШ.....	154
10.1.	Тоқлар ва қувватлар учун электр моментлари қоидаси.....	10.1
10.2.	Бир хил тармоқ учун моментлар қоидаси.....	157
10.3.	Икки томонлама таъминладиган тармоқнинг барқарор	

	режим тоқларида ҳисоблаш.....	158
10.3.1	Узатишнинг учларидаги кучланишлар тенг бўлган икки томонлама таъминланадиган тармоқни тоқларда ҳисоблаш.....	159
10.3.2	Икки томонлама таъминотли тармоқни узатиш учликларидаги турлича кучланишларда тоқларда ҳисоблаш....	161
10.4.	Икки томонлама таъминотли тармоқни қувватларда ҳисоблаш.....	163
10.4.1	Узатиш учликларидаги кучланишлар тенг бўлганда икки томонлама таъминотли тармоқни қувватларда ҳисоблаш.....	163
10.4.2	Узатиш линиясининг икки учларида турли кучланишлар бўлган икки томонлама таъминотли тармоқни ҳисоблаш.....	166

СОДЕРЖАНИЕ

	КИРИШ	4
1.	ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ИХ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ.....	6
1.1.	Определения энергетической и электроэнергетической систем.....	6
1.2.	Элементы энергосистем и их характеристика.....	7
1.3.	Электроустановки. Номинальные данные установок.....	12
1.4.	Классификация электрических сетей энергосистем.....	15
1.5.	Назначение и методы расчета установившихся режимов электрических сетей.....	18
2.	КОНСТРУКЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	22
2.1.	Основные элементы конструкции воздушных линий электропередачи.....	22
2.2.	Элементы конструкции проводов воздушных линий.....	23
2.3.	Элементы конструкции опор воздушных линий.....	27
2.4.	Элементы конструкции изоляторов и линейной арматуры.....	33
2.5.	Явления вибрации и пляски проводов воздушных линий.....	36
3.	КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ.....	41
3.1.	Элементы конструкции кабельных линий.....	41
3.2.	Способы прокладки кабельных линий.....	45
4.	СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	49
4.1.	Параметры схемы замещения линий электропередачи.....	49
4.2.	Параметры схем замещения трансформаторов и автотрансформаторов.....	64
5.	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ И ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	79
5.1.	Характеристика комплексного узла нагрузки.....	79
5.2.	Статические характеристики комплексного узла нагрузки.....	83
5.3.	Представление нагрузок в расчетных схемах электрических сетей.....	85
5.4.	Представление источников в расчетных схемах электрических сетей.....	88
6.	ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.....	93
6.1.	Виды графиков нагрузок.....	93
6.2.	Суточный график и его характеристики.....	97
6.3.	Годовые графики и их характеристики.....	100
6.4.	Проблема покрытия суточного графика энергосистемы.....	102
7.	ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ....	106
7.1.	Потери мощности на участке сети.....	106

7.2.	Расчет потерь мощности в элементах электрических сетей.....	113
8.	ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	122
8.1.	Структура потерь электроэнергии в электрических сетях.....	122
8.2.	Принципы расчета потерь электроэнергии в сетях.....	124
8.3.	Практические методы определения переменных потерь электроэнергии.....	127
8.4.	Особенности расчета потерь энергии в элементах сетей.....	129
9.	РАСЧЕТЫ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАЗОМКНУТЫХ СЕТЕЙ.....	132
9.1.	Векторные диаграммы токов и напряжений участка сети.....	132
9.2.	Векторные диаграммы напряжений и токов разветвленной сети.....	140
9.3.	Алгоритмы расчета установившихся режимов разомкнутой электрической сети.....	143
9.3.1.	Расчет установившегося режима по параметрам конца передачи.....	144
9.3.2.	Расчет установившегося режима по параметрам начала передачи.....	147
9.3.3.	Расчет установившегося режима разомкнутой сети по напряжению питающего узла и мощностям нагрузки.....	150
10.	РАСЧЕТ РЕЖИМА СЕТИ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ.....	154
10.1.	Правило электрических моментов для токов и мощностей.....	10.1
10.2.	Правило моментов для однородной сети.....	157
10.3.	Расчет установившегося режима сети с двусторонним питанием в токах.....	158
10.3.1	Расчет сети с двусторонним питанием в токах при равных напряжениях по концам передачи.....	159
10.3.2	Расчет сети с двусторонним питанием в токах при различных напряжениях по концам передачи.....	161
10.4.	Расчет сети с двусторонним питанием в мощностях.....	163
10.4.1	Расчет сети с двусторонним питанием в мощностях при равенстве напряжений по концам передачи.....	163
10.4.2	Расчет сети с двусторонним питанием в мощностях при различных напряжениях по концам передачи.....	166

Бабаев Азиз Галибович

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИ АСОСЛАРИ

Ўқув қўлланма 60710600 – Электр энергетикаси (тармоқлар ва соҳалар бўйича), 60711000 – “Муқобил энергия манбалари (қайта тикланувчи энергия)” 60710400 – “Энергетика муҳандислиги” бакалавр таълим йўналишларига мўлжалланган

Муҳаррир: – С.А. Дустназарова

Мусахҳиҳ: – Д.Х. Усманова

Дизайнер: – Д.Р. Фозилов