

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК – ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

ОЛИЙ ТАЪЛИМНИНГ

5520200 – «ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ»

йўналиши бўйича тайёрланувчи бакалаврлар учун

ЭЛЕКТР ТИЗИМЛАРИ ВА ТАРМОҚЛАРИ

фанидан маърузалар матни

ҚАРШИ – 2006

УДК 621.316(075)

Тузувчилар: Ғойибов Т.Ш. –

Тошкент давлат техника университетининг «Электр энергетикаси» кафедраси доценти, т.ф.н.;

Холиков Ю.Д. –

Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти «Электр энергетикаси» кафедраси доценти, ф.-м.ф.н.;

Тақризчилар: Саъдуллаев Э.Ф. –

«Узбекэнерго» ДАК Миллий диспетчерлик хизмати
бошлиғининг муовини, т.ф.н.

Ситдиқов Р.А. –

Тошкент давлат техника университетининг «Электр энергетикаси»
кафедраси доценти, т.ф.н.

Мундарижа

1-маъруза	5
K1. Кириш. K2. Белгилашлар системаси ва ҳисоблашлар учун ишлатиладиган асосий ифода-лар. 1.1.Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемалари ва ҳисоб параметрлари.	
2-маъруза	10
2.1 Трансформаторлар ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари ва ҳисоб параметрлари.	
3-маъруза.....	15
3.1. Электр системаларнинг схемалари. Барқарор ҳолатнинг чизиқли ва эгри чизиқли тенгламалари. 3.2.ЭУЛ ҳолатини юклама токи берилганда ҳисоблаш.	
4-маъруза.....	19
4.1. ЭУЛ ҳолатини юклама қуввати берилганда ҳисоблаш. 4.2. ЭУЛда кучланиш пасайиши ва кучланиш исрофи. 4.3. 35 кВ дан паст кучланишдаги очиқ тақсимловчи электр тармоқларни ҳисоблашдаги рухсат этишлар.	
5-маъруза	28
5.1. Содда ёпиқ электр тармоқларда кучланиш ва қувват оқимларининг тақсимланиши.	
6-маъруза	36
6.1. Электр тармоқ турғун ҳолатининг тенгламалари. 6.2. Чизиқли тугун кучланишлари тенгламаларини ечиш.	
7-маъруза	42
7.1. Турғун ҳолатнинг эгри чизиқли тенгламалари. 7.2.Эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламаларини ечишда Зейдел усулининг қўланилиши. 7.3.Ньютон усули.	
8-маъруза	50
8.1. Актив қувват баланси ва унинг частота билан боғлиқлиги. 8.2. Турбиналарнинг айланиш давртезлигини ростлаш. 8.3. Энергетика системасида частотани ростлаш.	
9-маъруза	55
9.1. Реактив қувват баланси ва унинг кучланиш билан боғлиқлиги. 9.2. Юкламанинг ростлаш эффекти. 9.3 Реактив қувват истемолчилари.	
10-маъруза	59
10.1. Реактив қувватни компенсациялаш. 10.2 Компенсацияловчи қурилмалар.	
11-маъруза	62
12.1. Кучланишни ростлаш усуллари. 12.2. Кучланишни қарама-қарши ростлаш. 12.3. Электр станцияларда кучланишни ростлаш.	
12-маъруза	67
13.1. Пасайтирувчи нимстанцияларда кучланишни ростлаш.	
13-маъруза ..	71
14.1. Кучланишни тармоқ қаршилигини ўзгартириб ростлаш. 14.2. Кучланишни реактив қувват оқимини ўзгартириб ростлаш.	

14-маъруза	76
15.1.Энергетика системалари ва электр тармоқларни лойиҳалашнинг вазифалари ва усуллари. 15.2.Техник-иқтисодий кўрсаткичлар.	
15-маъруза	80
16.1.Вариантларни техник-иқтисодий ихатдан солиштириш. 16.2.Электр тармоқ вариантыни ишончилилик даражасини ҳисобга олиб танлаш.	
16.3.Номинал кучланишни танлаш.	
16-маъруза	90
17.1.Ўтказгичлар ва кабелларнинг кўндаланг кесим юзаларини токнинг иқтисодий зичлиги ва иқтисодий интерваллар бўйича танлаш.	
17.2. Тақсимловчи тармоқларда ЭУЛнинг кесим юзасини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича аниқлашнинг характерли хусусиятлари.	
17 – маъруза.....	93
18.1. Электр энергия исрофини ҳисоблаш усуллари. 18.2. Электр энергия исрофини камайтириш тадбирларини классификациялаш.	
Адабиёт.....	97

1-маъруза

Маъруза режаси

1. «Электр таъминоти тизимларида электр тармоқлари» курсининг мақсад ва вазифалари.

2. Қабул қилинган асосий белгилашлар системаси. Тармоқнинг ҳолат параметрлари орасидаги муносибатлар.

3. Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемалари ва ҳисоб параметрлари.

4. Электр узатиш линияларининг солиштирма параметрларини аниқлаш.

Таянч иборалар: Электр тармоқ; электр системаси; кучланиш; ток; ўзгарувчан ток тармоғи; фаза кучланиши; фаза токи; қўшма комплекс сон; линия кучланиши; линия токи; юклама; истеъмолчи; электр узатиш линияси; алмаштириш схемаси; солиштирма параметр; ҳисоб параметри; заряд қуввати.

(Адабиётлар: 1-4, 6, 12-14).

К1. Кириш

«Электр таъминоти тизимларида электр тармоқлари» курси «Электроэнергетика» йўналишида бакалаврларни тайёрлашда муҳим билимлар пойдеворини қўйувчи асосий курслардан бири ҳисобланади. Курсни ўрганишдан мақсад электр системалари ва тармоқлари ҳолатлари ҳисоблаш ва таҳлил қилиш назарияси, уларни лойиҳалаш ва улардан фойдаланишда иқтисодийлик, ишончлилик ҳамда сифатлилиқни таъминлаш борасида билимларни шакллантиришдан иборат.

Курснинг асосий вазифалари қуйидагилардан иборат:

- тармоқ элементларининг алмаштириш схемаларини қуриш, уларнинг параметрларини аниқлаш, электр тармоқлари ва системалари ҳолатларини ҳисоблашни ўргатиш;

- электр тармоқлари ва системаларини лойиҳалаш асосларини ҳамда уларнинг иқтисодийлигини, ишончлилигини, шунингдек, электр энергиянинг сифатини ошириш усуллари ўргатиш;

- электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва истеъмол қилиш жараёнида юз берувчи ҳодисаларнинг физик маъноси билан таништириш.

К.2 Алоқалашувчи тармоқларнинг параметрларини аниқлаш

Тармоқларнинг параметрларини аниқлаш тармоқларнинг ҳолатлари ҳисоблаш ва таҳлил қилиш назарияси, уларни лойиҳалаш ва улардан фойдаланишда иқтисодийлик, ишончлилик ҳамда сифатлилиқни таъминлаш борасида билимларни шакллантиришдан иборат.

$$U = \sqrt{3} \bar{U}_0;$$
$$\dot{U} = U' + jU'' = U * e^{j\varphi_U}; \quad (\text{K.1})$$

$$\dot{I} = I' + jI'' = I * e^{j\varphi_I}; \quad (\text{K.2})$$

$$\dot{S} = P + jQ = S * e^{j\varphi}. \quad (\text{K.3})$$

U', I', D - èàòòàèèèèàðíéíā àèòèā κèñìè; U'', I'', Q - èàòòàèèèèèàðíéíā ðāàèòèā κèñìè;
 U, I, S – катталикларнинг ìiäöëëäðì ; $\varphi_u, \varphi_l, \varphi$ - ìîñ ðíëäà éó÷èàìèø, óíè àà
 κóââàòèèèèèèèè àèòèā àà ðāàéòèā κèñìèèàðè ìðàñèäāāè áóð÷èèèèèèèè.

$$\dot{S} = 3S_{\phi} = 3\dot{U}_{\phi}\hat{I}_{\phi}$$

$$\dot{S} = \sqrt{3} \dot{U} \hat{I} = P + jQ \quad (\text{K.4})$$

Àãäð, êïïïëääñ êó÷ëàìèø U âà ток / îðãñëääãë áóð÷àè ø ãã òàïã áýëñà, ó ?ëëää

$$(K.4) \text{ äàí } P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad \text{êâëëá ÷-èκàäë.}$$

$$\dot{I} = \frac{\hat{S}}{\sqrt{3}\hat{U}} = \frac{P - jQ}{\sqrt{3}(U' - jU'')};$$

âà óøáo óîê ìïäóëèнинг êâääðàòè қóéääãèãà òáíã:

$$I^2 = \frac{S^2}{3U^2}.$$

$$\Delta S = 3I^2 Z = \frac{S^2}{U^2} Z = \frac{S^2}{U^2} r + j \frac{S^2}{U^2} x = \Delta P + j\Delta Q,$$
$$Y = \frac{1}{Z} = g + jb; \quad g = \frac{r}{r^2 + x^2}, \quad b = -\frac{x}{r^2 + x^2}.$$

6

1.1 Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемалари ва ҳисоб параметрлари

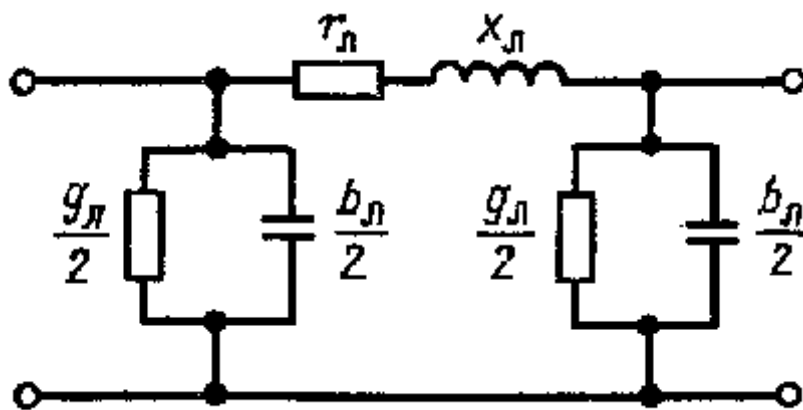
Нисбатан катта бўлмаган узунликдаги электр узатиш линиялари параметрларининг тақсимлангининг эътиборга олмаслик ва уларни бутун узунлик бўйича бир хилда тақсимланган деб қараш мумкин.

Узунлиги 300-400 км дан ошмаган 110 кВ ва ундан юқори кучланишда ишловчи ҳаводаги электр узатиш линиясининг алмаштириш схемаси одатда П-симон кўринишда тасвирланади (1.1-расм). Расмда $r_{\text{л}}, x_{\text{л}}$ - электр узатиш линиясининг актив ва реактив қаршиликлари ва $g_{\text{л}}, b_{\text{л}}$ - электр узатиш линиясининг актив ва сиғим ўтказувчанликлари.

Актив қаршилик қуйидаги формула бўйича топилади:

$$r_{\text{л}} = r_0 l, \quad (1.1)$$

бу ерда r_0 - солиштира актив қаршилик, Ом/км (ўтказгичнинг ҳарорати $+20^{\circ}\text{C}$ бўлганда); l - узатиш линиясининг узунлиги, км.



1.1-расм. Ҳаводаги электр узатиш линиясининг П-симон алмаштириш схемаси

Симлар ва кабелларнинг актив қаршиликлари 50 Гц частотада тахминан омик қаршиликка тенгдир. Шу туфайли юза эффекти ҳодисаси эътиборга олинмайди. r_0 нинг қиймати пўлаталюминий ва бошқа рангли металлдан тайёрланган ўтказгичлар учун кўндаланг кесим юзаларига боғлиқ равишда жадвалдан аниқланади. ўтказгичнинг ҳарорати 20°C дан фарқ қилганда мос формулалар бўйича топилади.

Реактив қаршилик қуйидаги тартибда топилади:

$$x_{\text{л}} = x_0 l, \quad (1.2)$$

бу ерда x_0 - солиштира реактив қаршилик, Ом/км.

Электр узатиш линиясининг алоҳида фазаларидаги реактив қаршиликлар умумий ҳолда турлича. Симметрик ҳолатларни ҳисоблашда x_0 нинг ўртача қийматидан фойдаланилади:

$$x_0 = 0,144 \lg(D_{\text{yp}} / r_{\text{yp}}) + 0,0157, \quad (1.3)$$

бу ерда $r_{\text{ут}}$ - ўтказгичнинг радиуси; $D_{\text{ур}}$ - фаза ўтказгичлари оралиғидаги ўрта геометрик масофа:

$$D_{\text{ур}} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}, \quad (1.4)$$

бу ерда D_{ab}, D_{bc}, D_{ca} - мос фаза ўтказгичлари орасидаги масофа.

Номинал кучланиши 330 кВ ва ундан юқори бўлган электр узатиш линияларида фаза ўтказгичлари бир нечта ўтказгичларга парчаланadi. Бундай ҳолларда (7.14) формуласидаги $r_{\text{ут}}$ ўрнига қуйидаги формула бўйича топиловчи $r_{\text{эк}}$ фойдаланилади:

$$r_{\text{эк}} = \sqrt[n_{\phi}]{r_{\text{ут}} a_{\text{ур}}^{n_{\phi}-1}}, \quad (1.5)$$

бу ерда $r_{\text{эк}}$ - ўтказгичнинг эквивалент радиуси; $a_{\text{ур}}$ - битта фазадаги ўтказгичлар орасидаги ўрта геометрик масофа; n_{ϕ} - битта фазадаги ўтказгичлар сони.

Парчаланган ўтказгичли электр узатиш линиялари (ЭУЛ) учун (1.3) формуладаги сўнгги ташкил этувчи $0.0157 / n_{\phi}$ кўринишда бўлади. Шунингдек, бундай ЭУЛлари учун солиштирма актив қаршилик қуйидагича топилади:

$$r_0 = r_{0\text{ут}} / n_{\phi},$$

бу ерда $r_{0\text{ут}}$ - олинган кесимдаги ўтказгичнинг жадвалдан олинувчи солиштирма қаршилиги.

Пўлаталюминий ўтказгичлар учун x_0 кесим юзасига боғлиқ равишда, пўлат ўтказгичлар учун эса кесим юзаси ва токка боғлиқ равишда жадвалдан олинади.

ЭУЛнинг *актив ўтказувчанлиги* икки кўринишдаги актив қувват исрофларини ифода этади: изоляторлар орқали оқувчи дайди тоқлар туфайли юз берувчи исрофлар ва тожланиш исрофлари.

Изоляторлардаги дайди тоқлар қиймати жуда кам бўлиб, улар туфайли юз берувчи исрофларни ҳисобга олмаслик мумкин. Тожланиш даражаси ўтказгичдаги кучланиш ва унинг радиусига боғлиқ бўлади. Шу сабабли бу исрофнинг қийматини рухсат этилган ораликда тутиш учун тожланиш бўйича рухсат этилувчи энг кичик кесим юзаси белгиланган. Унга мувофиқ энг кичик кесим юзаси 110 кВ учун 70 мм², 150 кВ учун 120 мм², 220 кВ учун 240 мм².

220 кВ гача кучланишдаги тармоқларни ҳисоблашда актив ўтказувчанлик эътиборга олинмайди.

ЭУЛнинг *сиғим ўтказувчанлиги* $b_{\text{л}}$ алоҳида фаза ўтказгичлари орасидаги ва фаза ўтказгичлари билан ер орасидаги сиғим таъсирида вужудга келади ва қуйидагича ҳисобланади:

$$b_{\text{л}} = b_0 l, \quad (1.6)$$

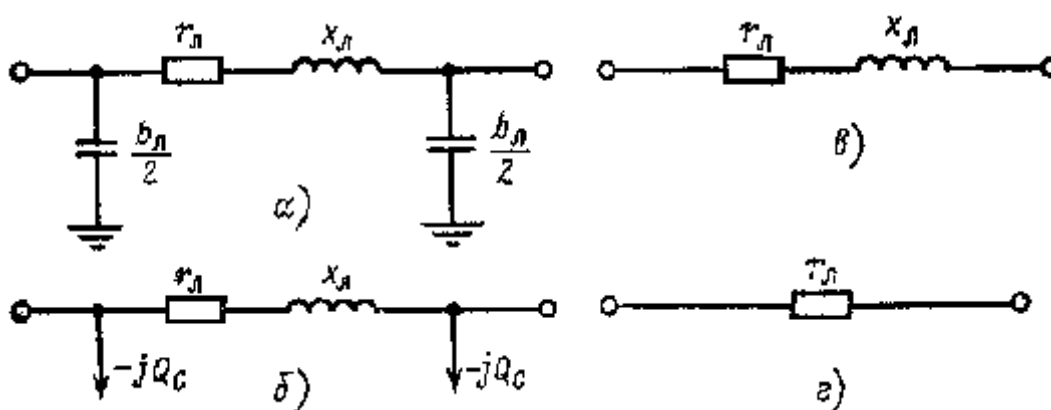
бу ерда b_0 - солиштирма сиғим ўтказувчанлик бўлиб, жадвалдан аниқланиши ёки қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{\text{ур}}}{r_{\text{ут}}}} \cdot 10^{-6}. \quad (1.7)$$

Кўпгина ҳолларда 110-220 кВ кучланишли ЭУЛларини ҳисоблашда уларнинг схемалари етарлича содда кўринишда (1.2,б-расм) кўринишида ифодаланади. Бу схемада сиғим ўтказувчанлик ўрнига (1.2,а-расм) у таъсирида ишлаб чиқарилувчи реактив қувват ҳисобга олинади. ЭУЛ сиғим қувватининг ярми қуйидагича топилади:

$$Q_c = 3I_c U_\phi = 3U_\phi^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_0 l = \frac{1}{2} U^2 b_l, \quad (1.8)$$

бу ерда U_ϕ ва U - фаза ва фазалараро кучланишлар, кВ; I_c - ерга томон оқувчи сиғим токи, $I_c = U_\phi b_l / 2$.



1.2-расм. Электр узатиш линиясининг алмаштириш схемаси.

а,б- 110-220 кВ кучланишли ҳаводаги узатиш линиялари учун; в- 35 кВ ва ундан паст кучланишли ҳаводаги узатиш линиялари учун; 10 кВ ва ундан паст кучланишли кабелли узатиш линиялари учун.

(1.8) дан кўринадики, ЭУЛда ишлаб чиқарилувчи Q_c реактив қувват (заряд қуввати) кучланишнинг квадратига туғри пропорционалдир.

35 кВ ва ундан паст кучланишдаги ҳаводаги ЭУЛда b_c ва бунга мос равишда Q_c жуда кичик бўлганлиги сабабли эътиборга олинмайди (1.2,в-расм).

Кабелли ЭУЛларининг алмаштириш схемалари ҳам умумий ҳолларда ҳаводаги ЭУЛлардаги каби П-симон кўринишда ифодаланади (1.1-расм). (1.3), (1.7) формулалардан кўриниб турибдики, ўтказгичларнинг яқинлашиши билан x_0 камаяди ва b_0 ортади. Кабелли ЭУЛларда фаза ўказгичлари ораларидаги масофалар кам бўлганлиги сабабли x_0 ҳаводаги ЭУЛларидагига нисбатан жуда кам бўлади. 10 кВ ва ундан паст кучланишдаги кабелли ЭУЛларининг алмаштириш схемаларида x_0 эътиборга олинмайди (1.2,г-расм). g_l актив ўтказувчанлик 110 кВ ва ундан юқори кучланишли кабелли ЭУЛларининг алмаштириш схемаларида эътиборга олинади.

Синов саволлари

1. Курснинг асосий мақсад ва вазифалари нимадан иборат?
2. Курс талабага қандай йўналишдаги билимларни беради?
3. Курсни ўзлаштириш қайси курслар бўйича муайян билимларни талаб этади?

4. Комплекс ток учун қандай белгилаш қабул қилинган ва у бошқа ҳолат параметрлари билан қандай боғланган?
5. Комплекс кучланиш учун қандай белгилаш қабул қилинган ва у бошқа ҳолат параметрлари билан қандай боғланган?
6. Актив, реактив ва тўла қувватлар учун қандай белгилашлар қабул қилинган ва улар бошқа ҳолат параметрлари билан қандай боғланган?
7. ЭУЛнинг алмаштириш схемаси умумий ҳолда қандай кўринишда тасвиранади?
8. Тақсимловчи электр тармоқларнинг ЭУЛ алмаштириш схемаси қандай кўринишда тасвирланади?
9. Таъминловчи электр тармоқларнинг ЭУЛ алмаштириш схемаси қандай кўринишда тасвирланади?
10. Ҳа юқори кучланишли ЭУЛ алмаштириш схемаси қандай кўринишда тасвирланади?
11. ЭУЛнинг солиштирма параметри нима? Унга қайси параметрлар киради?
12. ЭУЛнинг алмаштириш схемасида тожланиш туфайли исроф бўлувчи қувват қандай ҳисобга олинади?
13. ЭУЛнинг алмаштириш схемасида заряд қуввати қандай ҳисобга олинади?

2-маъруза

Маъруза режаси

1. Икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси, каталог ва ҳисоб параметрлари.
2. Уч чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси, каталог ва ҳисоб параметрлари.
3. Автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси, каталог ва ҳисоб параметрлари.
4. Автотрансформаторнинг характерли хусусиятлари. Автотрансформаторнинг номинал ва тип қувватлари.

Таянч сўзлар: Чулғам; ўзак; каталог параметри; номинал параметр; тип қуввати; ўтиш қуввати, уланиш схемаси.

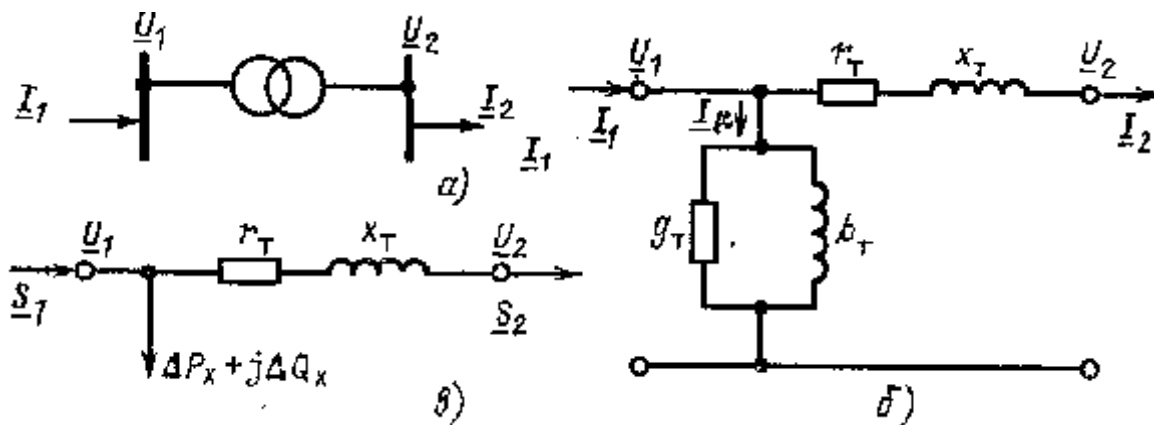
(Адабиётлар: 1-4, 6, 12-14).

2.1 Трансформатор ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари

Икки чулғамли трансформаторнинг (2.1,а-расм) алмаштириш схемаси Г-симон кўринишда ифодаланади (2.1,б-расм).

Алмаштириш схемасининг бўйлама қисми r_t, x_t трансформаторнинг актив ва реактив қаршиликларига эга. Бу қаршиликлар мос равишда трансформаторнинг бирламчи ва бирламчи чулғамга келтирилган иккиламчи чулғамининг актив ва реактив қаршиликлари йиғиндасига тенгдир. Бундай

схемада трансформация, яъни идеал трансформатор мавжуд бўлмасдан, иккиламчи чулғамнинг қаршиликлари бирламчи чулғамга келтирилгандир. Агар трансформатор билан боғланган тармоқ биргаликда кўрилса ва бунда тармоқ кучланишнинг бир хил даражасига келтирилмаса, у ҳолда трансформаторнинг алмаштириш схемасида идеал трансформатор курсатилади.



2.1-расм. Икки чулғамли трансформаторнинг схемалари.

а-шартли белгиланиши; б- Г-симон алмаштириш схемаси; в- соддалаштирилган алмаштириш схемаси.

Алмаштириш схемасидаги кўндаланг шохобча (магнитланиш шохобчаси) g_T , b_T актив ва реактив ўтказувчанликлардан ташкил топган. Актив ўтказувчанлик трансформаторнинг пўлатдан ясалувчи ўзагида магнитловчи ток I_μ орқали исроф бўлувчи актив қувват исрофларини ифодалайди. Реактив ўтказувчанлик эса трансформатор чулғамларидаги ўзаро индукция магнит оқими билан белгиланади.

220 кВ ва ундан паст кучланишли электр тармоқарини ҳисоблашда трансформаторлар соддалаштирилган алмаштириш схемалари билан тасвирланади (2.1,в-расм). Бу схемада магнитланиш шохобчасининг ўрнига трансформатор пўлатида ёки салт ишлаш ҳолатида исроф бўлувчи қувват кўшимча юклама сифатида ҳисобга олинади.

Ҳар бир трансформатор учун қуйидаги параметрлар (каталог маълумотлари) маълум бўлади: S_n - трансформаторнинг номинал қуввати, МВА; $U_{юн}$, $U_{кн}$ - юқори ва қуйи чулғамларнинг номинал кучланишлари, кВ; ΔP_c - салт ишлаш ҳолатидаги актив исроф, кВт; $I_c\%$ - салт ишлаш токи, I_n дан %; ΔP_k - қисқа туташув исрофи, кВт; $u_k\%$ - қисқа туташув кучланиши, U_n дан %. Бу маълумотлар бўйича алмаштириш схемасининг барча параметрларини (қаршиликлар ва ўтказувчанликларни), шунингдек улардаги исрофларни топиш мумкин.

Магнитланиш шохобчаси ўтказгичлари салт ишлаш тажрибаси натижаларидан фойдаланиб топилади. Бу да трансформатор фақат салт ишлаш ҳолатидагига тенг бўлган қувват исроф қилади:

$$\Delta \dot{S}_c = \Delta P_c + j\Delta Q_c.$$

Бундан келиб чиқиб, ўтказувчанликлар қуйидаги ифодалар бўйича топилади:

$$g_T = \Delta P_c / U_H^2, \quad (2.1)$$

$$b_T = \Delta Q_c / U_H^2, \quad (2.2)$$

Трансформаторда магнитлаш токи жуда кичик актив ташкил этувчига эга:

$$I_\mu = I_c \approx I_c'',$$

бу ерда I_c'' - I_c нинг реактив ташкил этувчиси.

Юқоридагидан

$$\Delta Q_c = 3I_c'' U_{\phi.H} \approx 3I_x U_{\phi.H} = 3 \cdot \frac{I_c \% I}{100} \cdot U_{\phi.H} = \frac{I_c \% S_H}{100}. \quad (2.3)$$

Трансформаторларнинг r_T ва x_T қаршиликлари қисқа туташув тажрибаси натижаларидан фойдаланиб топилади. Бу тажрибада трансформаторнинг иккиламчи чулғами қисқа туташтирилади ва бирламчи чулғамига ҳар иккала чулғамларда номинал тоklar оқишини таъминловчи кучланиш берилади. Бу кучланиш қисқа туташув кучланиши u_k деб юритилади. Қисқа туташув ҳолатида u_k U_H га нисбатан жуда кичик бўлганлиги сабабли магнитланиш шохобчасида исроф бўлувчи қувват ҳам жуда кичик бўлади ва исроф бўлувчи қувватнинг барчаси чулғамда юз беради, яъни

$$\Delta P_k = 3I_H^2 r_T = \frac{S_H^2}{U_H^2} r_T, \quad (2.4)$$

ва

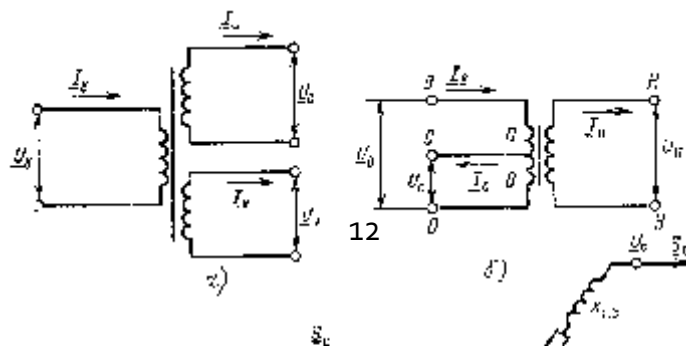
$$r_T = \frac{\Delta P_k U_H^2}{S_H^2}, \quad (2.5)$$

Замонавий катта қувватли трансформаторларда $r_T \ll x_T$ ва $u_k \approx u_k''$. Қисқа туташув тажрибасидан

$$u_k = \frac{u_k \% U_H}{100} \approx \sqrt{3} I_H x_T.$$

ва

$$x_T = \frac{u_k \% U_H^2}{100 S_H}. \quad (2.6)$$



2.2-расм. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг схемалари.
 а, б- чулғамларнинг туташув схемалари; в, г- Г-симон ва соддалаштирилган алмаштириш схемалари; д- қисқа туташув тажрибаси схемаси.

Уч чулғамли трансформаторлар ва автотрансформаторлар. Кўп ҳолларда нимстанцияда учта номинал кучланиш – юқори U_B , ўрта U_C ва қуйи U_H кучланишлар талаб этилади. Бунинг учун иккита икки чулғамли трансформаторлардан фойдаланиш мумкин. Бироқ иккита икки чулғамли трансформаторларга нисбатан битта уч чулғамли трансформатор ёки уч чулғамли автотрансформатордан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир. Уч чулғамли трансформаторнинг чулғамлари ўзаро магнитик боғланишда бўлади (2.2,а-расм). Автотрансформатор чулғамларининг туташуви схемаси 2.2,б-расмда тасвирланган. Қуйи чулғам қолган иккала чулғамлар билан магнитик боғланишда, кетма-кет ва умумий чулғамлар эса бир-бири билан ўзаро электрик ва магнитик боғланишда бўлади (2.2,б-расмдаги П ва О). Кетма-кет чулғам бўйлаб I_B , умумий чулғам бўйлаб эса $I_B - I_C$ ток оқади.

Автотрансформаторнинг номинал қуввати деб у номинал шароитларда юқори кучланиш тармоғидан олиши ёки унга узатиши мумкин бўлган энг катта қувватга айтилади:

$$S_H = \sqrt{3} U_{B.H} I_{B.H}. \quad (2.7)$$

Бу қувват, шунингдек, *ўтиш қуввати* деб ҳам юритилади. Бу қувват автотрансформаторнинг қуйи чулғаида юклама бўлмаган ҳолда юқори кучланиш тармоғидан ўрта кучланиш тармоғига ёки тескари йўналишда узатиши мумкин бўлган энг катта қувватга айтилади.

Автотрансформаторнинг кетма-кет чулғаи Π *тип қувватга* мўлжалланади (2.2,б-расм):

$$S_{\Pi} = \sqrt{3}(U_{B.H} - U_{C.H})I_{B.H} = \sqrt{3}U_{B.H}I_{B.H}\left(1 - \frac{U_{C.H}}{U_{B.H}}\right) = \alpha S_H, \quad (2.8)$$

бу ерда $\alpha = 1 - U_{C.H} / U_{B.H}$ - S_{Π} нинг S_H га нисбатан неча марта кичик эканлигини кўрсатувчи афзаллик коэффийенти.

Юқоридаги тартибда умумий чулғамнинг қуввати ҳам тип қувватига тенг эканлигини исботлаш мумкин. Қуйи кучланиш чулғами ҳам тип қуввати ёки ундан кичик қувватга мўлжалланади. У номинал қувват орқали қуйидагича ифодаланади:

$$S_{н.н} = \alpha_{н.н} S_n, \quad (2.9)$$

бу ерда $U_{в.н} \leq 330$ кВ бўлган ҳолларда $\alpha_{н.н} = 0,25; 0,4; 0,5$.

$U_n > 220$ кВ бўлган ҳолат учун уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси 2.2,в-расмда, $U_n \leq 220$ кВ бўлган ҳолат учун эса 2.2,б-расмда тасвирланган. Ушбу ҳолатда ҳам салт ишлашда исроф бўлувчи қувватлар ΔP_x ва ΔQ_x икки чулғамли трансформаторлардагидек ҳисобланади. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторлар учун қисқа туташув исрофлари ва кучланишларининг учала чулғамлар жуфтликлари учун, яъни $\Delta P_{k(в-н)}, \Delta P_{k(в-с)}, \Delta P_{k(с-н)}$ ва $u_{k(в-н)}\%, u_{k(в-с)}\%, u_{k(с-н)}\%$ кўринишида берилади. Ҳар бир ΔP_k ва $u_k\%$ мумкин бўлган учта тажрибанинг бирига таалукдир. Масалан, $\Delta P_{k(в-н)}$ ва $u_{k(в-н)}$ ларнинг қийматлари қуйи чулғам қисқа туташтирилган, ўрта чулғам салт ҳолда бўлган юқори чулғамга қуйи чулғам орқали номинал ток оқишини таъминловчи $u_{k(в-н)}$ кучланиш берилган ҳолатда аниқланади. Бундай ҳолда худди икки чулғамли трансформаторлардагидек

$$r_{т.в} + r_{т.н} = \Delta P_{k(в-н)} U_n^2 / S_n^2, \quad (2.10)$$

$$r_{т.в} + r_{т.с} = \Delta P_{k(в-с)} U_n^2 / S_n^2, \quad (2.11)$$

$$r_{т.с} + r_{т.н} = \Delta P_{k(с-н)} U_n^2 / S_n^2, \quad (2.12)$$

(2.10)-(2.12) тенгламаларда учта номаълум актив қаршиликлар мавжуд. Уларни биргаликда ечиш асосида қаришиликлар учун ифодага эга бўламиз:

$$r_{т.в} = \frac{\Delta P_{к.в} U_n^2}{S_n^2}, \quad (2.13)$$

$$r_{т.с} = \frac{\Delta P_{к.с} U_n^2}{S_n^2}, \quad (2.14)$$

$$r_{т.н} = \frac{\Delta P_{к.н} U_n^2}{S_n^2}, \quad (2.15)$$

бу ерда $\Delta P_{к.в}, \Delta P_{к.с}, \Delta P_{к.н}$ лар қуйидаги формулалар бўйича топилади:

$$\Delta P_{к.в} = 0,5(\Delta P_{k(в-с)} + \Delta P_{k(в-н)} - \Delta P_{k(с-н)}), \quad (2.16)$$

$$\Delta P_{к.с} = 0,5(\Delta P_{k(в-с)} + \Delta P_{k(с-н)} - \Delta P_{k(в-н)}), \quad (2.17)$$

$$\Delta P_{к.н} = 0,5(\Delta P_{k(в-н)} + \Delta P_{k(с-н)} - \Delta P_{k(в-с)}). \quad (2.18)$$

Худди шунга ўхшаш равишда $u_{к.в}\%, u_{к.с}\%, u_{к.н}\%$ лар ҳисобланади:

$$u_{к.в}\% = 0,5(u_{k(в-с)}\% + u_{k(в-н)}\% - u_{k(с-н)}\%), \quad (2.19)$$

$$u_{к.с}\% = 0,5(u_{k(в-с)}\% + u_{k(с-н)}\% - u_{k(в-н)}\%), \quad (2.20)$$

$$u_{к.н}\% = 0,5(u_{k(в-н)}\% + u_{k(с-н)}\% - u_{k(в-с)}\%). \quad (2.21)$$

$u_{к.в}\%, u_{к.с}\%, u_{к.н}\%$ ларнинг топилган қийматларидан фойдаланиб, қуйидаги формулалар бўйича алоҳида чулғамларнинг реактив қаршиликлари аниқланади:

$$x_{т.г} = \frac{u_{кв} \% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad (2.22)$$

$$x_{т.с} = \frac{u_{к.с} \% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad (2.23)$$

$$x_{т.н} = \frac{u_{к.н} \% \cdot U_n^2}{100S_n}, \quad (2.24)$$

Синов саволлари

1. Икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси умумий ҳолда қандай кўринишда тасвирланади?
2. Икки чулғамли трансформаторнинг каталог параметрларига нималар киради?
3. Икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси параметрлариги умумий ҳолда нималар киради? Уларнинг қийматлари каталог параметрлари орқали қандай топилади?
4. Таъминловчи электр тармоқларида икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси одатда қандай кўринишда тасвирланади?
5. Тақсимловчи электр тармоқларида икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси одатда қандай кўринишда тасвирланади?
6. Ҷта юқори кучланишли электр тармоқларида икки чулғамли трансформаторларнинг алмаштириш схемаси одатда қандай кўринишда тасвирланади?
7. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси умумий ҳолда қандай кўринишда тасвирланади?
8. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг каталог параметрларига нималар киради?
9. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси параметрлариги умумий ҳолда нималар киради? Уларнинг қийматлари каталог параметрлари орқали қандай топилади?
10. Таъминловчи электр тармоқларида уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси одатда қандай кўринишда тасвирланади?
11. Ҷта юқори кучланишли электр тармоқларида икки чулғамли трансформаторларнинг алмаштириш схемаси одатда қандай кўринишда тасвирланади?
12. Автотрансформатор уч чулғамли трансформаторга нисбатан қандай характерли хусусиятларга эга?
13. Автотрансформаторнинг номинал, ўтиш ва тип қувватлари нима? Улар ўзаро қандай боғланган?

3 – маъруза

Маъруза режаси

1. Электр тармоқ барқарор ҳолатининг чизиқли ва эгри чизиқли тенгламалари.

2. Электр тармоқ схемасининг элементлари.
3. Электр узатиш линияси ҳолатини юклама токи ва кучланиши берилганда ҳисоблаш.
4. Электр узатиш линияси ток ва кучланишининг вектор диаграммаси.

Таянч иборалар: очик тармоқ; содда ва мураккаб ёпиқ тармоқ; таъминловчи тармоқ; тақсимловчи тармоқ; шаҳар электр тармоғи; қишлоқ хўжалик электр тармоғи; саноат электр тармоғи; тармоқ ҳолати; электр узатиш линиясининг ҳолати; кувват исрофи; кучланиш пасайиши; кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчиси; кучланиш пасайишининг кўндаланг ташкил этувчиси; кучланиш исрофи.

(Адабиётлар: 1-6, 12-14).

Ýěăēòð óçàòèø éÿëëàðè, î÷èκ âà ñîääà ëïèκ òàðîîκëàð
xîëàòëàðèéè ?èñîáëàø

3.1. Yëâêôð ñëñòàìàëàðíéíã ñõàìàëàðè. Áàðқаdîð ?ñëàòíéíã ÷èçèкëè àà нoчизикли (эгри ÷èçèкли) òáíãëàìàëàðè

Ýěăêòð ñěñoàìàñěìéíă ñõàìàěăðè âà óěăðíéíă ýěàìáíòěăðè. Ýěăêòð ñěñoàìàси – бу ýěăêòð ýíăðăěýíé èøěăă ÷èkàðèø, òàkñěìèěăø âà èñoăúíî kèèèø ó÷óí ìýěăèěěàíăáí ýěăêòð çàíăèðèăèð. Ýěăêòð çàíăèðè ва унинг кèñìěăðèé èěàíèø êăòìà - êăòèèăěéíé êýðñăòòă÷è хамда унинг àññèé òõñoñěýòěăðèé àèñ ýòèèðòă÷è ÷èçìà øàèèèăà áăðèèăăèăáí òàñăèð ýěăêòð çàíăèðèéíă àèàøòèèø ñõàìè äăèèèăäè. Ýěăêòð çàíăèð âà óíă ìñ àèàøòèèø ñõàìàси øoxíă÷ăèð, òòăóíèàð âà óíóíèè ðñèăă êñíòóðèàðäăí éáíðàò áýèăäè.

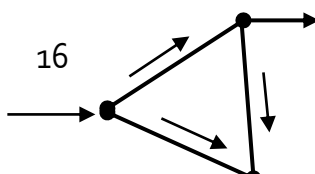
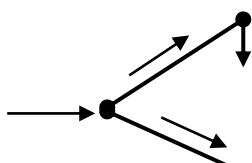
Øoxíá÷à äää ýëãèøð çàíæèðèíèíã ýëãíáíøèàðè êãòì - êãò óëàíãàí àà áèð òëë òíê òêóâ÷è êíñìíã àéòíëäí.

Èêèè .èè óíààì îðòèk øàíá÷àèàðìè àèðèàøèðàäèãàì íókòàãà óóãóí äãéèèäèè.

Êííòóð äää áèð íå÷à ðoxíá÷àèàð áýéëää ýòàèèääí ðàð καιάαé ,ìèκ éýëää àéòèèääè.

Àãàð ýëâèðð çàìæðèèìíã ñõàìacèää êííóóðèàð áýèìñà, ó î÷èκ çàìæðð (òàðìίκ) äãéèèääè.

Ýëãèòð çàíæèðëàð íàçàðèÿñëää òóãíëàð àà êííóóðëàð éÿκíòèëääëääí àà éÿκíòèëìàëääàí áÿëèøè íóíëéí. Éÿκíòèëääëääí òóãíëàð àà êííóóðëàð òàκàò èéêèòà ðoxíá÷àíé áéðëàðòèðàää. Áóíääé éÿκíòèëääëääí òóãíí àà êííóóðëàðíé êãòíà - êãò àà íàðëëëäé òéàð κíëääëàððé ,ðààíëää ñòáíàääí éÿκíòèø íóíëéí. Íí÷εçεêéé òíê íàíáàëàððé áóíää èéðíàéää. Êãëãóñëää òàκàò éÿκíòèëìàëääëääí òóãíí àà êííóóðëàðääí òíëääëàíàìèç. Í÷εκ òàðííκää êàð κàíääé þéëàíà òàκàò áéð òííííàí òàúíèëëàíàëé (3.1-ðàñí), ÿúíé êàð κàíääé òóãííàääé èñòàúííë÷é κóââàòíé òàκàò áéð òííííàí íëää. Äàíàé èñòàëëàí ðoxíá÷à óçèèñ, øó ðoxíá÷àääí κóââàò èñòàúííë κèëóâ÷é êàíà þéëàíàëàððíëá òàúíèëëàíèøé óçèëääé.

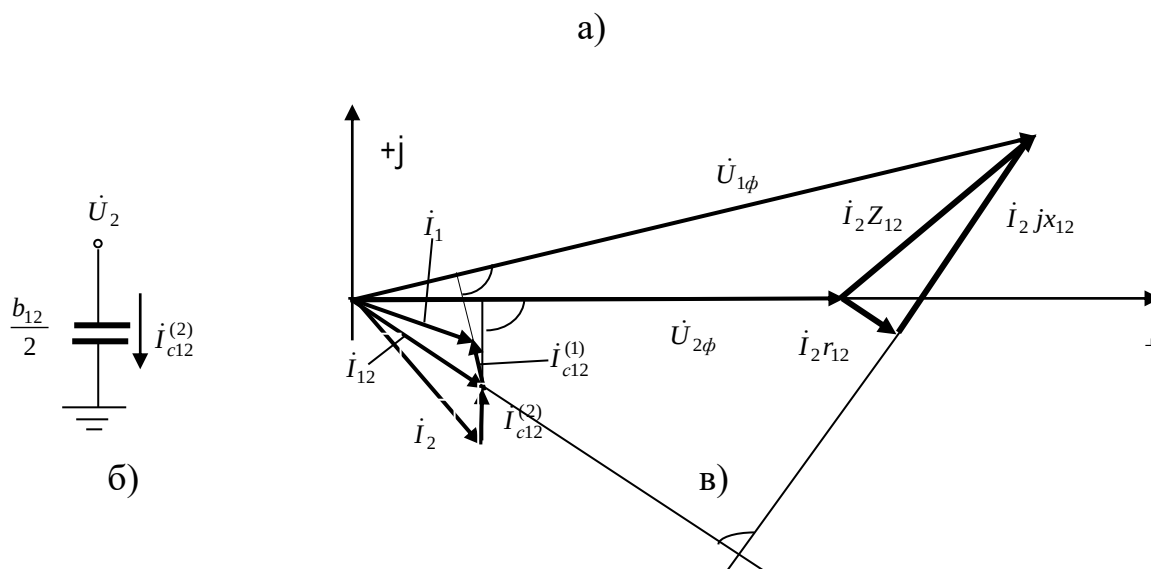


6)

Aãð ñõàiaàà èàìèàà áèòòà êííòóð ìàâæóá áýẽñà, ó ÿìèκ áãéèèààè. Ëìèκ òàðìíκàà
 èèèè ÿèè óíààì ìðòèκ øoxíá÷àèð ìðκàèè òàùìèìèàìààèãàì èàìèàà áèòòà òóãóí
 áýèààè, øóìèíá ó÷óí øoxíá÷àèððààì áèðèèìíá óçèèèèøè áíðκà øoxíá÷àèððèìíá
 èñòàùíìè÷èààì óçèèèèøèãà ìèèá êãèìàéàè.

Éýíààèàíā ìāññēā yēāíāíòèàð - áó ñòāííēíā òóāóíēàðē àā òíēēñ, ýúíē ñòāíòèàèē ñēēā òāíā āýēāāí òóāóí íðāèēñēāā κýēēēāāí ðoxíā÷à. Áýēēàìā ìāññēā yēāíāíòèàð - áó ñòāíòèàèē ñēēā òāíā āýēāāí òóāóíāāí (òíēēñ òóāóíāāí) òàðκàðē Ñàììā òóāóíēàðíē àèðēàðòèðòā÷ē ðoxíā÷àèàð, ýúíē āýēēàìā ðoxíā÷àèàð òíēēñ òóāóíāā òēàììāāāí. Áýēēàìā ðoxíā÷àèàð ÝΥΪ àā òðāíñòíðìàòíð ÷òēÑàìēàðèíēíā àèòēā àā èíāòēòēā κàððèèèèèàðē, āýēēàìā èìììāíñàòèýēíā÷ē κòðèèìàèàð ñēÑèìèàðē èāāèèàðíē ýç è÷èāā ñēààē. Áéðèì Ñíēēàðāā òðāíñòíðìàòíðíēíā ñýēàò ýçàāèèāāē èñðíòēàð Ñàì àèìàðòèðèð ñòāìacèāā èýíāàèàíā yēāíāíò èýðèíèèèāā òāñāèðèàìāē. ÝΡΕ àā òíē ìàíāàèàðē àèìàðòèðèð ñòāìacèíēíā àèòēā yēāíāíòèàðē Ñèñíāèèàāē. Áó yēāíāíòèàð çàíæèðāā òēàíāāí íòκòàèàðāā èó÷èàìèð àā òíēíē áíðκà ìàðàìàððèàðāāí íòñòàκèē àìèκèàèèē. Ýèàèòð ñèñòāìæàðíēíā Ñíēàòèàðèíē Ñèñíāèèàā ÝΡΕ ìàíāàèàðèèāí èàì òíēāāèèèèèèāāē. Øò ñāāāāèè áóíāāí èāèèì āñíñāí òíē ìàíāàèàðē Ñàκèāā āàì áíðāāē.

Ààðḡàðîðēàøāāî Æîēàòîéîā òāîāēàîàēàðē. Òàðēēàēā òàḡàò ÷ēçēḡēē ìāññēâ ýēāîāîēàð ââ ìîāóēē Æàîāâ òàçàññē ýçāāðîāñ ýēâēòð òîē ìàîāāēàðē ēēðāâēāî ýēâēòð çàîæēðîéîā ààðḡàðîðēàøāāî Æîēàòē ÷ēçēḡēē àēāāàðàēē òāîāēàîàēàð àēēâî ēôîāāēàîāâē. Õóóó òāîāēàîàēàð ààðḡàðîðēàøāāî Æîēàòîéîā ÷ēçēḡēē òāîāēàîàēàðē āāēēēāâē ââ óîāâ ìîñ çàîæēðēàð ÷ēçēḡēē ýēâēòð çàîæēðēàð āāēēēāâē. Áóîāâé çàîæēðēàð ýēâēòð ñēñòāîîâîēîā âēòòà òóāóîēāâî òàøḡàðē Æàîîâ òóāóîēàðēââ ââîāðàòð ââ ēñòâîîîē÷ēēàðîéîā ìîāóēē Æàîāâ òàçàññē áýēē÷â ýçāāðîāñ òîēēàðē ààðēēāîāââē Æîēàòîé Æēñîāēàøââ ēøēàòēēāâē. Îāâòââ ýēâēòð ñēñòāîîâēàðîéîā Æîēàòēîé Æēñîāēàøââ ìāññēâ ýēâîāîēàðîéîā ì÷ēçēðēēēēâé ýúòēáîðââ îēēîāēâē. Áó ìàîîîââ àēîâòēðēð ñōâîâîçēîéîā áýēēàîâ ḡēñîē âîēîî ÷ēçēḡēēâēð. Øó àēēâî âēð ââḡòââ îāâòââ ýēâēòð ñēñòāîîâîçîéîā ààðḡàðîðēàøāāî Æîēàòēîé Æēñîāēàøââ òîē ìàîāāēàðēîéîā ì÷ēçēðēēâé òâññēòēàðē (òâðâēòâðēñòēēâēàðē) ýúòēáîðââ îēēîāâē.



3.2-расм. Электр узатиш линияси ҳолатини ҳисоблаш.

а – алмаштириш схемаси; б – сифим токини аниқлаш; в – юкламали ЭУЛ кучланиш ва токлари вектор диаграммаси.

ЎЎЙйёйё ìòèðèää ðëлама óëàíääí áŷëñà, áó íóқòàðà êó÷ëàíèø ìäóóèè áîääàè êó÷ëàíèø ìäóóèèää íëñààòàí èè÷èè áŷëääè: $U_{2\phi} < U_{1\phi}$ (3.2в-расм).

Ñàèò èøëàø òŷëàòèää $I_2 = 0$ ва ЎЎЙ áŷëè÷à òàқàò ñèŷŷèè òŷè îқàèè $I_{12} = I_{c2}$ àà áó òŷëää $U_{2\phi} < U_{1\phi}$.

Синов саволлари

1. Электр тармоқнинг барқарор ҳолати нима?
2. Электр тармоқнинг барқарор ҳолат тенгламалари қандай қонунлар асосида қабул қилинади?
3. Қандай ҳолларда электр тармоқнинг барқарор ҳолати тенгламаси чизиқли кўринишда бўлади?
4. Қандай ҳолларда электр тармоқнинг барқарор ҳолати тенгламаси ночизиқли кўринишда бўлади?
5. Электр тармоқнинг барқарор ҳолати қандай мақсадларда ҳисобланади?
6. Қандай тармоқлар очик тармоқлар дейилади?
7. Қандай тармоқлар содда ёпиқ тармоқлар ва қандай тармоқлар мураккиб ёпиқ тармоқлар дейилади?
8. Юклама токи ва кучланиши маълум бўлганда ЭУЛ ҳолати қандай ҳисобланади?
9. Электр тармоқнинг ҳисоб ва ҳолат параметрларига нималар киради?
10. ЭУЛ токи ва кучланишининг вектор диаграммасини қуринг.
11. ЭУЛ токи ва кучланишининг вектор диаграммасидан нима мақсадда фойдаланилади?

4 – маъруза

Маъруза режаси

1. ЭУЛ ҳолатини юклама қуввати ва кучланиши берилганда ҳисоблаш.
2. ЭУЛ ҳолатини юклама қуввати ва манъба кучланиши берилганда ҳисоблаш. Икки элапли усул.
3. Бир нечта кетма-кет уланган ЭУЛлардан ташкил топиб, юкламалари қувватлари маълум бўлган очик тармоқ ҳолатларини ҳисоблаш.

Таянч иборалар: Таъминловчи электр тармоқ; тақсимловчи электр тармоқ; ЭУЛ ҳолати; юклама қуввати; заряд қуввати; кучланиш пасайиши; кучланиш исрофи; қувват исрофи; вектор диаграммаси; кучланиш пасайишининг кўндаланг ташкил этувчиси; кучланиш исрофининг энг катта қиймати.

(Адабиётлар: 1-4, 6, 12-14).

4.1 Электр узатиш линияси ҳолатини юклама қуввати берилганда ҳисоблаш

ЭУЛ охирида кучланиш берилган ($\dot{U}_2 = const$). Юклама қуввати $\dot{S}_2$, кучланиши $\dot{U}_2$, электр узатиш линиясининг қаришилиги $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$ ва ўтказувчанлиги b_{12} маълум (4.1a-расм). Кучланиш $\dot{U}_1$, узатиш линиясининг бўйлама қисми охири ва бошланишидаги қувватлар $\dot{S}_{12}^{(2)}, \dot{S}_{12}^{(1)}$, қувват исрофи $\Delta \dot{S}_{12}$, узатиш линияси бошланишидаги қувват $\dot{S}_1$ ларни топиш талаб этилади. Қизиш бўйича чекловни текшириш мақсадида, баъзан, $\dot{I}_{12}$ токни ҳам топиш талаб этилади.

Ҳисоблаш узатиш линиясининг охиридан бошланишига томон қидирилувчи қувват ва кучланишларни Кирхгоф ва Ом қонунларидан фойдаланиб аниқлаш тартибида давом эттирилади.

Узатиш линиясининг охиридаги заряд (сигим) қуввати

$$Q_{c12}^{(2)} = 3\hat{I}_{c12}^{(2)}\dot{U}_{2\phi} = \frac{1}{2}U_2^2 jb_{12}. \quad (4.1)$$

Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича узатиш линияси бўйлама қисмининг охиридаги қувват

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{c12}^{(2)}. \quad (4.2)$$

Узатиш линиясидаги қувват исрофи

$$\Delta \dot{S}_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}. \quad (4.3)$$

Узатиш линияси бўйлама қисмининг бошланиши ва охирида ток бир хил. Бўйлама қисми бошланишида қувват бу қисм охиридагига нисбатан қувват исрофи миқдори кўп, яъни

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (4.4)$$

Ом қонунига мувофиқ узатиш линияси бошланишидаги кучланиш:

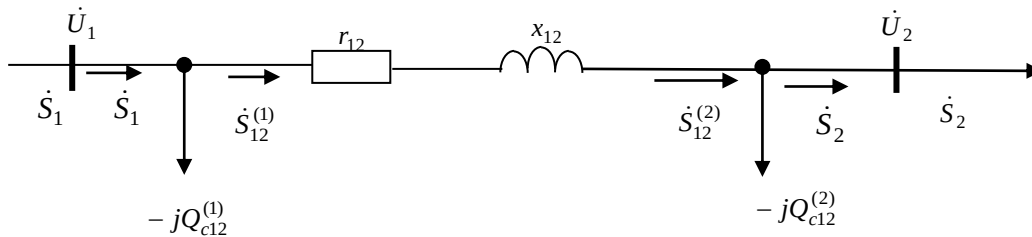
$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\hat{S}_{12}^{(2)}}{\hat{U}_2} Z_{12}. \quad (4.5)$$

Узатиш линиясининг бошланишидаги заряд қуввати

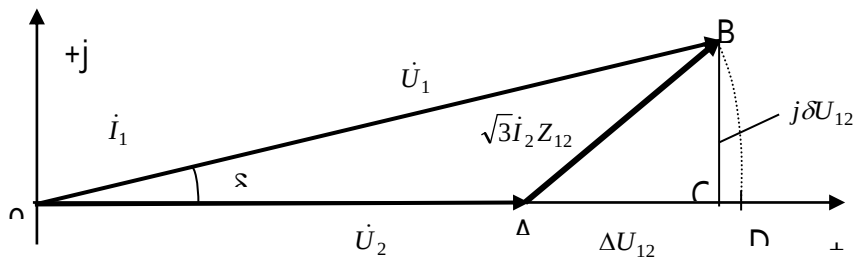
$$Q_{c12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 j b_{12}. \quad (4.6)$$

Узатиш линиясининг бошланишидаги қувват

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - j Q_{c12}^{(1)}. \quad (4.7)$$



а)



б)

4.1-расм. ЭУЛ ҳолатини ҳисоблаш.

а – Юклама қуввати берилган ҳолда ЭУЛ ҳолатини ҳисоблаш схемаси; б – Охирида берилган маълумот бўйича ЭУЛ ҳолати ҳисобланганда унинг бошланиши ва охиридаги кучланишларнинг вектор диаграммаси.

Узатиш линиясининг бошланишида кучланиш берилган ($\dot{U}_1 = const$).

$\dot{S}_2, \dot{U}_1, Z_{12} = r_{12} + jx_{12}, b_{12}$ лар маълум, $\dot{U}_2, \dot{S}_{12}^{(2)}, \dot{S}_{12}^{(1)}, \Delta \dot{S}_{12}, \dot{S}_1$ ларни топиш талаб этилади (4.1-расм).

Ушбу ҳолда $\dot{U}_2$ номаълум бўлганлиги учун Кирхгоф ва Ом қонунларидан фойдаланиб узатиш линиясининг охиридан бошланишига томон кетма-кет равишда номаълум ток ва кучланишларни топиш мумкин эмас. 2 тугун учун эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Y_{22} \dot{U}_2 + Y_{12} \dot{U}_1 = \dot{I}_2(U) = \frac{\hat{S}_2}{\hat{U}_2}. \quad (4.8)$$

Бу тенгламани ечиб, номаълум $\dot{U}_2$ ни топиш ва сўнгра (4.1)-(4.4), (4.6), (4.7) ифодалар бўйича барча қувватларни ҳисоблаш мумкин.

Бироқ ушбу ҳолатда нисбатан содда ва тахминий *икки этап*ли усулни қўллаш мумкин.

1-этап. Фараз қилайлик,

$$\dot{U}_2 = U_n, \quad (4.9)$$

ва олдинги маърузаларда келтирилган ифодалар бўйича қувват оқимлари ва исрофини топамиз:

$$Q_{c12}^{(2)} = \frac{1}{2} U_{\text{н}}^2 j b_{12}; \quad (4.10)$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - j Q_{c12}^{(2)}; \quad (4.11)$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}; \quad (4.12)$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}; \quad (4.13)$$

2-этап. 1-этапда топилган қувват оқими $\dot{S}_{12}^{(1)}$ дан фойдаланиб, Ом қонуни бўйича $\dot{U}_2$ кучланишни аниқлаймиз, лекин ток $\dot{I}_{12}$ ни $\dot{S}_{12}^{(1)}$ ва $\dot{U}_1$ лар орқали ифодалаймиз:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\hat{S}_{12}^{(1)}}{\hat{U}_1} Z_{12}. \quad (4.14)$$

(4.10) ва (4.11) формулаларда $\dot{U}_2$ нинг ўрнига $U_{\text{н}}$ фойдаланилганлиги учун 1-этапда қувват оқимлари тахминан топилади. Бунга мос равишда 2-этапда кучланиш $\dot{U}_2$ ҳам тахминан топилади.

Қувватлар ва кучланишларнинг янада аниқроқ қийматларини топиш учун 1 ва 2-этапларни кетма-кет равишда такролаш мумкин. Бундай ҳисоблашни ЭХМда амалга ошириш мақсадга мувофиқдир.

4.2 Электр узатиш линиясида кучланиш пасайиши ва кучланиш исрофи

4.1,б-расмда ЭУЛ бошланиши ва охиридаги кучланишларнинг вектор диаграммалари келтирилган. Бу диаграмма 3.2,в-расмдаги диаграммага ўхшаш.

Кучланиш пасайиши – электр узатиш линиясининг бошланиши ва охиридаги кучланишлар орасидаги геометрик фарқ, яъни бу кучланишларнинг комплекс қийматлари орасидаги фарқ. Кучланиш пасайиши вектор (комплекс) катталиқдир, яъни 4.1,б-расмда $\vec{AB}$

$$\vec{AB} = \Delta \dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \Delta U_{12} + j \delta U_{12}. \quad (4.15)$$

Кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчиси ΔU_{12} кучланиш пасайиши векторининг ҳақиқий сонлар ўқидаги ёки $\dot{U}_2$ вектор ўқидаги проекцияси бўлиб, 4.1,б-расм бўйича у AC га тенг. Кучланиш пасайишининг кўндаланг ташкил этувчиси δU_{12} эса кучланиш пасайиши векторининг муvҳум сонлар ўқидаги проекцияси бўлиб, 4.1,б-расм бўйича у CB га тенг.

Кучланиш исрофи – электр узатиш линияси бошланиши ва охиридаги кучланишларнинг модуллари орасидаги фарқ, яъни

$$\Delta U_{12} = |U_1| - |U_2|. \quad (4.16)$$

4.1,б-расмда тасвирланган вектор диаграмма бўйича кучланиш исрофи қабул қилинган масштабда AD кесма узунлигига тенг. Агар кучланиш пасайишининг кўндаланг ташкил этувчиси δU_{12} кичик бўлса (масалан, $U_{\text{н}} < 110$ кВ бўлган

Электр тармоқларининг ҳолатларини ҳисоблаш қувватларда олиб борилади. Шу сабабли кучланиш пасайиши, унинг ташкил этувчилари ва кучланиш исрофи ЭУЛ даги қувват оқимлари орқали ифодаланади.

А́о ìàðãðàôää òàâî àà èàáâëи ЭУЛга эга бўлган òàқñèìèâ÷è òàðìķèàð
 кўðéà ÷èкèèääè. Таксимловчи электр тармоқларнинг ҳаâîдаги ЭУЛлари îàòòââ
 35 êВã÷à èó÷èàìèøèè áýèääè. (Îðèðãè ìàéòèàððââ U_н=110éâ âà òàòòî 220éâ
 áýèääî òàâîдаги ЭУЛлари òàқñèìèâ÷è òàðìķèàðда ìàéâî áýèääè). Òàқñèìèâ÷è
 òàðìķèàððââè каáâëи ЭУЛèàððââ àññîâî U_н=10 êВ ã÷à, àéðè òèèèàððââ ýñà 20, 35
 êВ гача áýèääè. Òàқñèìèâ÷è òàðìķèàð îàòòââ î÷èк áýèääè ,èè î÷èк òèèèàððââ
 èøèèèèè. А́о òàðìķèàð қóèèääèè түрèàððââ áýèèèèèè:

- øàǵàð òàðǵǵǵǵǵǵǵ;
- κèøēĩκ òǵǵǵǵǵǵǵ òàðǵǵǵǵǵǵǵ;
- ñàǵǵǵǵ òàðǵǵǵǵǵǵǵ.

Уѣаḏāā æóāā èàòòà ìèḑāîḏāā þēēàìèø ìâæóā, òìòìèè óçòíēēāē âà óēàḏāāāē
 ýāēèòḏ ýíāḏāēýñē èñḏîôè æóāā èàòòàāèḏ. Ἀóíāàì òàøḑàḏè óēàḏíēíā ḑòḏèèèèèēā ēýî
 ìèḑāîḏāā ìàòàēē ñāḏôēàíāāè. $U_n \leq 35$ êâ áýēāàì òàḑñèìèîâ÷è òàḏîîḑēàḏíē ðēñíáēàøāâḡì
 ḏóôñàò этишлар ḑóēēāāāè÷à:

1) ЭУЛiеiã ñè²èi kóââàòè ²èñiãâà îèèiìáéäè. Óiеiã кèèiàòè (4.6) èôîâââáí àìèкèàìââè. Ìiеiàè èó÷èàìèøè 110 èВ áýëâáí ЭУЛiеiã ñè²èi kóââàòè Q_{c110}=3 ÎÃÐ ãà òáíã(4.2,à-ðàñì) .

$U_n = 6 \div 35$ ёВ аўёääá ЭУЛёаä $U_l = 110$ ёâ аўёääá ёёлёёёаäääá кёñкаäġк аўёääё. 35 ёâ ёö÷ёääлёёё ЭУЛ учун (4.2,б-расм) Q_{c35} Q_{c110} га нисбатан 100-90 марта кичик бўлади:

$$\frac{Q_{c110}}{Q_{c35}} \approx (110/35)^2 * (100/10) \approx 100;$$

Q_c ièiā kèéiàòè yúòèáíðāā ièèiāāāiāāāè ЭУЛнèiā yéâèâèâiô àèiàòèðèðè ñõāiāñè 4.2,â-ðāñiāā êāèòèðèèāi. Áó ЭУЛнинг òýðò kóòāèè сифатидаги òāiāèàìāñè kóèèāāāè÷à áýèāāè:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_2 + \sqrt{3} * I_2 * Z_{\text{Л}}; & U_1 &= A * U_2 + B * I_2; \\ I_1 &= I_2; & I_1 &= C * U_2 + D * I_2; \end{aligned}$$

Áó ãðàà U_1 -ЭУЛ áíøëàíèøèääãè éó÷-èàíèø, U_2 -ЭУЛ îõèðèääãè éó÷-èàíèø, l_1 , l_2 -
 èèlèÿ áíøèääãè àà èèlèÿ îõèðèääãè òíêèàð, Z_n -ЭУЛ καðøèèèèèè $\hat{A}, \hat{A}, \tilde{N}, D$ -òàκñèlèîâ÷-
 òàðîîκ ЭУЛñè ó÷-óí òÿðð κóóáèèèèèè àîlèlèèèèèè. ðκîðèèèèèè ðîèàò ó÷-óí: $\hat{A}=1$;
 $\hat{A}=1/3 * Z_{\hat{A}}$; $\tilde{N}=0$; $D=1$;

2) Êààáëëи ЭУЛíëíã ðããèòèà кàðøëëëëäë (õ) ?ëñíããà ìëëíàëëë.

ЭУЛіеіā ēāōēōēā қад̄өēēēēē ө́о ЭУЛ ỳōēāçāē÷ēāδēāāí òîē îқēā ỳōāāíāā Ẁñēē āẏēāāēāāí ẏçāāδōā÷āí îāāíēō îāēāñēē āēēāí āāēāēēēāíāāē. Ỗōēāçāē÷íēíā ñēíēāδēē āēδ-āēδēāā ỳқēí æíēēāδāāíēēēē āā ө́о ñēíēāδāā îāāíēō îқēí ēāíēēēē ñāāāāēē ēāāāēū ЭУЛіеіā δāāēōēā қад̄өēēēēē ēē÷ēē āẏēāāē.

Êāāāēли ЭУЛіеіā ỳēāēāāēāíō àēíāδōēδēδ ñōāíāñē 4.2,ā-δāñíāā ēẏδñāōēēēāāí. Áó āδāā r_{ϵ} -ēāāāēли ЭУЛіеіā āēōēā қад̄өēēēēēē.

3) Òδāíñōíδíāòíδíēíā ẏẏēāō ỳçāāēāāāē қоāāāō ēñδíōē Ẁēñíāāā íēēíāēāē. Òδāíñōíδíāòíδíēíā ỳēāēāāēāíō àēíāδōēδēδ ñōāíāñē 4.2,ā-δāñíāā ēẏδñāōēēēāāí. Áóíāā Z_m -òδāíñōíδíāòíδ қад̄өēēēēēēē, U_p -òδāíñōíδíāòíδíēíā ðқíðē ēó÷ēāíēδēē δēíāñēāāāē ēó÷ēāíēδ, U_n -òδāíñōíδíāòíδíēíā îāñō ēó÷ēāíēδēē δēíāñēāāāē ēó÷ēāíēδ.

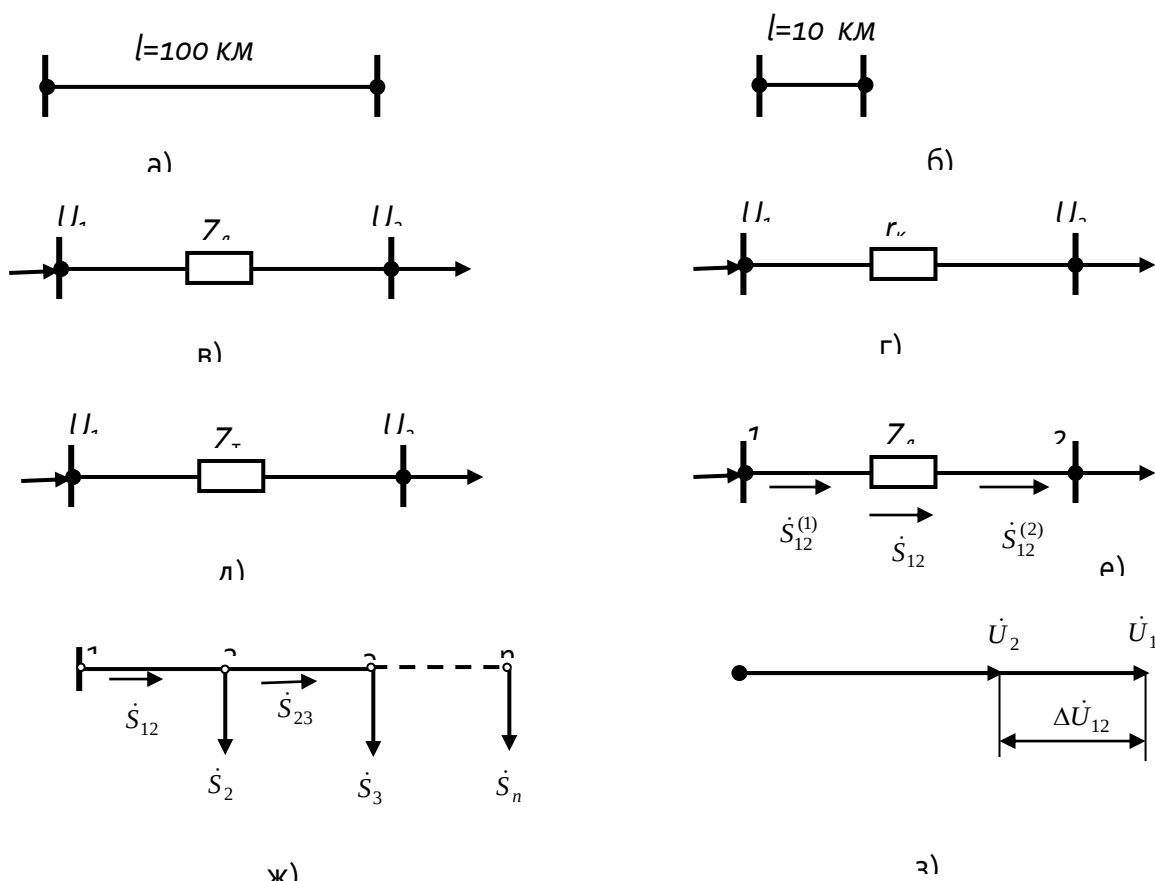
Áāδ÷ā òāδíқēāδāā òδāíñōíδíāòíδíēíā ẏẏēāō ỳçāāēāāāē қоāāāō ēñδíōē òāқāòāēíā āēōēā қоāāāō ēñδíōē ΔD āā ỳíāδāēẏ ēñδíōē ΔA íē āíēқēāδāā Ẁēñíāāā íēēíāēē.

4) Ó÷āñōēāēāδāāāē қоāāāō îқēíēāδēíē Ẁēñíāēāδāā қоāāāō ēñδíōē Ẁēñíāāā íēēíāēāē. (4.2,ā-δāñí). Áóíāā $S_{12}^{(o)}=S_{12}^{(6)}=S_{12}$;

Áó ēōíāāāā: $S_{12}^{(6)}$ - ЭУЛ áíøланишēāāāē òẏēā қоāāāō; $S_{12}^{(o)}$ - ЭУЛ òēēδēēāāāē òẏēā қоāāāō. ЭУЛіеіā áíøēāíẀē÷ ó÷āñōēāñēāāāē қоāāāō (4.2,æ-δāñí) қоēēāāāē ìōíāāāāí āíēқēāíāāē:

$$S_{12} = \sum_K^n S_K;$$

Áó āδāā ϵ - ðēēāíāíēíā òāδōēā íñāδē, n - ðēēāíāлар сінē.



4.2-рasm. Таксимловчи электр тармоқларни ҳисоблашдаги рухсат этишлар.

5) Kó÷ëàíèø òóøóàëíèã ëýíààëàíã òàøèèè ýòóâ÷èñèèè ÑU ýúòèàíðãà òèèíàéàè, ýúíè òàðííííèã àéðè òóãóíèàðè íðàñèàà éó÷èàíèøíèã фаза бўйича силжиши ҳисобга олинмайди. Кучланишлар вектор диаграммаси 3.9,3-расмда келтирилган. Ҳисоблашларда кучланиш òóøóâèèèã òàқàòãèà áýéèàà òàøèèè ýòóâ÷èèè ðèñíãàà ïèèààè, áó ýíà éó÷èàíèø исрофèàà òãíà:

6) Εὐ-εἰς ἐκ τῆς ἰσοφείας $\mathbb{Z}^n$ ἵστανται εὐ-εἰς ἐκ τῆς $\mathbb{Z}^n$ κεί-
 κεί- α δὲ ἄγεις- α γινῶν, ἀλλῆς U_n -ἄγεις- α ἀνὰ $\mathbb{Z}^n$ ἵστανται:

$\dot{A}_{12} - \dot{A}_{12}$ - $\dot{A}_{12}$ - $\dot{A}_{12}$, $\dot{Q}_{12}$ - $\dot{Q}_{12}$ - $\dot{Q}_{12}$, $\dot{r}_{12}$ - $\dot{r}_{12}$ - $\dot{r}_{12}$, $\dot{x}_{12}$ - $\dot{x}_{12}$ - $\dot{x}_{12}$.

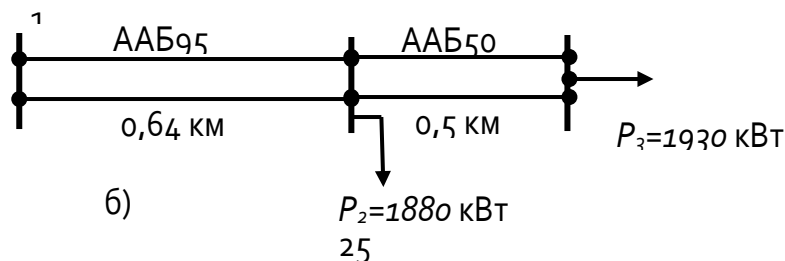
4.3-ðàñiäâ êäëòèðèëäâí òàκñèìèâ÷è ýäëòò òàðííκiëíã àèìàðòèðèð ñòàìàññèé êýðèá ÷èκàìèç.

Αό ἡὸαῖαίε ρῆῃῖαέαδᾶᾶ οὐᾱοῖεὰδᾶᾶᾷε κρᾱᾰᾰò S_κ , ЭУЛ а́ѳланишєᾶᾶᾷе
 ёó÷εαῖεϑ U₁ ᾶᾶ ЭУЛ ó÷ᾗñòêᾶèàðēᾶᾶᾷε καθθēēēēēᾶð Z_{Kj} ᾰᾰðēēᾶᾰᾰᾰᾰ. Αόῖᾶᾶ: ê-ЭУЛ ó÷ᾗñòêᾶñē
 ᾰῖθēᾶᾶᾷε οὐᾱοῖ ῖῖᾰðē, j-ó÷ᾗñòêᾶ ῖōēðēᾶᾶᾷε οὐᾱοῖ ῖῖᾰðē.

Όόάοίεαδääåē éó÷εàίεø àà ЭУЛ ó÷àñòéàèàðèääåē κóââàò ìκèìéìé (S_{kj}) àìεκῆάνιοι
êäðäê. S_{kj} κóââàò Èèððãíóíéìã áéðèí÷è κίíóíé áýéè÷à àìεκῆàìääè:

Áóíàà ЭУЛ ó-àñòèàèàðèààãè àèòèà àà ðààèòèà κόάάàòèàð κόέέààãè-à áÿèààè:

$$Q_{23}=Q_{3j} \quad Q_{12}=Q_2+Q_{3j} \quad (4.19)$$



4.3-ḡāñi. Òàķñèiēiā÷è òàḡñiķ.

à-àēiàððèðèð ñōāiāñē; á-ēāāēēi ēлектр узатиш линияси.

Òàùìēiēiā÷è iāiāà ēó÷ēāiēðē āā ýiā ēāi ēó÷ēāiēðēē òōāóí ēó÷ēāiēðēāðē iḡāñēāāāē òāḡñ ēó÷ēāiēðē исрофиēiā ýiā ēāòòā ķēēiàòē āāēēēāāē. 4.3-ḡāñiāāāē òàḡñiķ ó÷óí $\Delta U_{\text{э.кат}} = U_1 - U_3$.

Óiōiēē xīēāā ēó÷ēāiēðē исрофēiēiā ýiā ēāòòā ķēēiàòē ķóēēāāāē÷ā àiēķēāiāāē:

$$\Delta U_{\text{э.кат}} = \sum \Delta U_{\hat{e}j} \quad (4.20)$$

Áó èōiāāda $\Delta U_{\hat{e}j}$ -ЭУЛ ó÷āñòēāñēāāāē ēó÷ēāiēðē исрофē; m – ЭУЛāāāē ó÷āñòēāēāð ññē;

Шунингдек бу катталик ķóēēāāāē÷ā Òēñiāēāiēðē Òāi iōiēēi:

$$\Delta U_{\hat{y}.ēam} = \sum (\mathcal{D}_{\hat{e}j} r_{\hat{e}j} + Q_{\hat{e}j} x_{\hat{e}j}) / U_i; \quad (4.21)$$

Áó āḡāā: r_{kj} -ЭУЛ ó÷āñòēāñēning āēòēā ķāḡðēēēēgi, $x_{\hat{e}j}$ -ЭУЛ ó÷āñòēāсининг ḡāāēòēā ķāḡðēēēēāē, $\mathcal{D}_{\hat{e}j}$, $Q_{\hat{e}j}$ -ЭУЛ ó÷āñòēāēāḡēāāāē āēòēā āā ḡāāēòēā ķóāāāò оқимлари.

Āāāḡ ЭУЛāāāē ķóāāāò iķēiēāḡēiē ñēēāiā ķóāāāòēāðē iḡķāēē èōiāāēāñāē, (3.61) èōiāāiē ñiāāāḡñ ēýḡēiēðāā ,ķēð iōiēēi āýēāāē, ýúiē 3.10,à-ḡāñiāāāē ñōāiā ó÷óí ķóēēāāāē÷ā ,ķēð iōiēēi:

$$\Delta U_{\hat{y}.ēam} = \frac{P_{12} r_{12} + Q_{12} x_{12}}{U_{\text{н}}} + \frac{P_{23} r_{23} + Q_{23} x_{23}}{U_{\text{н}}}; \quad (4.22)$$

Áó èōiāāiē (4.17)-(4.19)-ēāḡiē Òēñiāāā iēēā āā ķóēēāāāē āāēēēēāðēāḡiē ēēðēòēā, áñķā ðāēēāā ,ķēð iōiēēi:

$$r_2 = r_{12}; \quad (4.23)$$

$$r_3 = r_{12} + r_{23}; \quad (4.24)$$

$$x_2 = x_{12}; \quad (4.25)$$

$$x_3 = x_{12} + x_{23}; \quad (4.26)$$

(4.18)-(4.19)-èōiāāēāḡiē (4.22)-āā ķýýiēç:

$$\Delta U_{\text{э.кат}} = \frac{(P_2 + P_3)r_2 + (Q_2 + Q_3)x_2}{U_{\text{н}}} + \frac{P_3(r_3 - r_2) + Q_3(x_3 - x_2)}{U_{\text{н}}}$$

ēēē

$$\Delta U_{\hat{y}.ēam} = \frac{P_2 r_2 + Q_2 x_2}{U_{\text{н}}} + \frac{P_3 r_3 + Q_3 x_3}{U_{\text{н}}} = \frac{\sum_{\kappa=2}^n (P_{\kappa} r_{\kappa} + Q_{\kappa} x_{\kappa})}{U_{\text{н}}}$$

Áó āḡāā: P_k , Q_k - k -i÷è òōāóíāāāē ñēēāiā ķóāāāòē; $r_{\hat{e}}, x_{\hat{e}}$ - 1 āā $\hat{e}$ - òōāóíēāð iḡāēē Òēāāāē āēòēā āā ḡāāēòēā ķāḡðēēēēēāḡ, n - òōāóíēāð ññē.

Āāāḡ, ýòēāçāē÷iēiā ēýiāāēāiā ēāñēi ñçāñē $F_{\hat{e}j}$ ЭУЛiēiā Òāiā ó÷āñòēāēāḡēāā áēḡ ðēē āýēñā, ó Òñēāā:

$$\Delta U_{\hat{y}.ēam} = \frac{1}{U_{\kappa}} (r_0 \sum_{\kappa=2}^n P_{\kappa} L_{\kappa} + x_0 \sum_{\kappa=2}^n Q_{\kappa} L_{\kappa}); \quad (4.29)$$

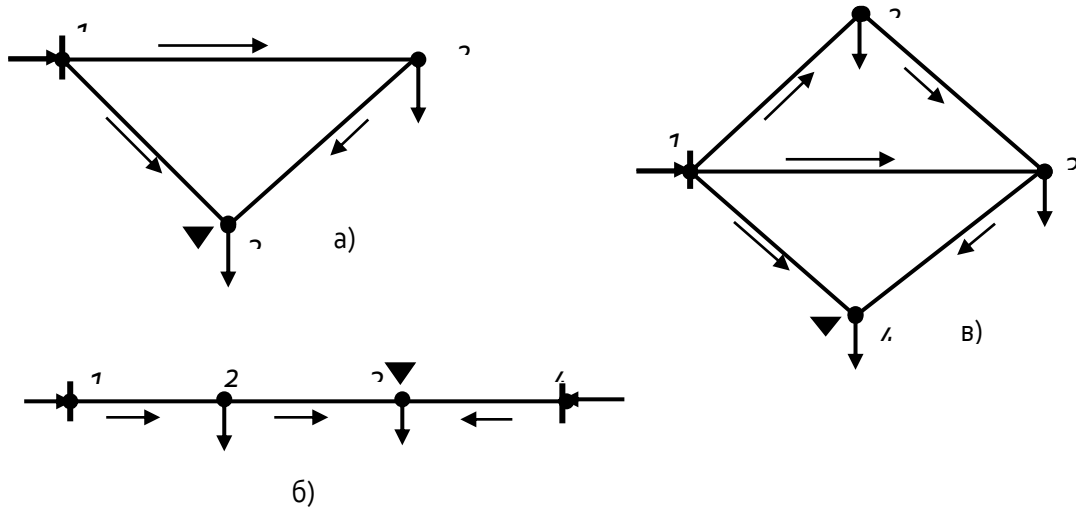
Áóiāā $L_{\hat{e}}$ - 1 āā $\hat{e}$ - òōāóíēāð iḡāēē Òēāāāē iāñiā.

Āēḡ iā÷òā ðoxiā÷āāi ēāiḡāò āýēāāi òàḡñiķāā ēó÷ēāiēðē исрофиēiā ýiā ēāòòā ķēēiàòē ķāiāāē àiēķēāiēðēiē ēýḡēā ÷ēķāiēç (4.4-ḡāñi).

òàùìèíàíààè. Бундай очик тамоклар шахобчаланган ёки шахобчаланмаган бўлиши мумкин.

Ќíààà ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķëàðëää èëëëòà øàŷíá÷àààí қоáààò èñòàùíë кëëààëãàí òóãóíëàð áíð, ëãëëí óíààí îðòëķ øàŷíá÷àààí қоáààò èñòàùíë кëëààëãàí òóãóíëàð ёўķ. (5.1,à,á-ðàñì). Ќíààà ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķë òàқàò àëòòà ёííòóðãà ŷãà.

Àëëàíà (халқасимон) ŷëãëòð òàðìķë ñíààà ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķëíëíà òóñóñëë ёўðëíëøë ŷëñíàëàíàë. (5.1,à-ðàñì). Ó àëòòà ,ìèķ ёííòóðãàí ááíðàò. Òàùìèíâ÷ë ìàíàà ñëòàòëää ŷëãëòð ñòàíòëŷëàðàí ,ëë ñëñòàíààãë ŷëãëòð ñòàíòëŷñëãà óëáíàí ñìñòàíòëŷëàð øëíàëàðëääí òíëààëàíëëààë. 5.1,à-ðàñìààë ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķëíë 5.1,à-ðàñìààëãàë èëëë òíííààí òàùìèíâíòà÷ë òàðìķ ёўðëíëøëàà òàñàëðëàò íóíëëí.



5.1-ðàñì. Ќíààà ,ìèķ òàðìķëàð.

à - ŷ÷áóð÷àë øàëëëãàãë ñíààà ,ìèķ òàðìķ; á - èëëë òíííààí òàùìèíâíòà÷ë òàðìķ; â - íóðàëëää ёпик òàðìķ.

ŷàқëқàòààí ŷàí 1-òóãóíë èëëëãà áŷëñàë àà áó òóãóíëàðíë 1 àà 4 ààà àãëëëãàñàë, ó ŷíëàà 5.1,à-ðàñìààë ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķààí 5.1,á-ðàñìààë èëëë òíííààí òàùìèíâíòà÷ë èëëŷ ŷíñëë áŷëààë.

Íóðàққàá ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķëàðëää ó÷òà àà óíààí îðòëķ øàŷíá÷àëàðíë àëðëàøòëðóà÷ë òóãóíëàð ìààæóá (5.1,â-ðàñì). Áóíàë òàðìķëàð èëëë ,ëë óíààí îðòëķ ёííòóðãàí ááíðàò áŷëààë.

Íóðàëëàá ŷëãëòð òàðìķëàðëíëíà àòçàëëëë øóíààëë, óëàðãà èñòàùíë÷ëëàðíë òàùìèíâàà èøí÷ëëëë ààðàæàñë èàòòà àà қоáààò èñðíòë èàí áŷëààë, èàí÷ëëëë ŷñà - òíëààëàíëøàà íóðàëëàà àà қўøëí÷à èëëŷëàð ŷëñíàëàà òàðìķ қóðëëëøë кëíàòàà òóøààë. Ќèķ ŷëãëòð òàðìķëàð ŷíëàòëíë ŷëñíàëàø í÷ëķ òàðìķ ŷíëàòëíë ŷëñíàëàøààí кëëëíðķ áŷëààë.

Ќíààà ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķëàðëää қоáààò èñðíòëíë ŷëñíààà íëíàààí ŷíëàà қоáààò íқëíëàðëíëíà òàқñëíëàíëøë. Ќíààà ,ìèķ ŷëãëòð òàðìķëíë èққë òíííëàà òàùìèíâíòà÷ë электр узатиш линияси (линия) ёўðëíëøëàà òàñàëðëàéíëç (5.2,à-ðàñì) àà óíëíà ŷàð òëë ŷíëàòëàðëíë қўриб ўтаíç.

$$\dot{S}_{12} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{S}_k \hat{Z}_{kn}}{\hat{Z}_{1n}}; \quad (5.6)$$

$$\dot{S}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{S}_k \hat{Z}_{1k}}{\hat{Z}_{1n}}; \quad (5.7)$$

(5.6) àà (5.7) èôîääèäðääãèääê àìèκèäø ìóíèéí:

$$\dot{I}_{12} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{I}_k \hat{Z}_{kn}}{\hat{Z}_{1n}}; \quad (5.8)$$

$$\dot{I}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{I}_k \hat{Z}_{1k}}{\hat{Z}_{1n}}; \quad (5.9)$$

Àèð æéíñèè òàðííκ àèìàøòèðèø ñõàìàñèíéìā ʔàììà øàʔíá÷àèàðèää àèòèà àà ðāàèòèà
κàðøèèèèèèàðè ìèñāàòèàðè àèð òèè áýèààè:

$$x_{kj} / r_{kj} = x/r = \text{const.} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{12} &= \frac{\sum_{k=2}^{n-1} (P_k + jQ_k) \left\{ 1 - j \frac{X_{kn}}{r_{kn}} \right\} r_{kn}}{\left\{ 1 - j \frac{X_{1n}}{r_{1n}} \right\} r_{1n}} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} (P_k + jQ_k) \left\{ 1 - j \frac{X}{r} \right\} r_{kn}}{\left\{ 1 - j \frac{X}{r} \right\} r_{1n}} = \\ &= \frac{\sum_{k=2}^{n-1} (P_k + jQ_k) r_{kn}}{r_{1n}}; \end{aligned}$$

$\ddot{e}\hat{e}\grave{e}:$

$$\dot{S}_{12} = P_{12} + jQ_{12} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} P_k r_{kn}}{r_{1n}} + j \frac{\sum_{k=2}^{n-1} Q_k r_{kn}}{r_{1n}}; \quad (5.6, \text{à})$$

Όόάάε øóíääé (5.7) èôîääìè ðàì áèð æèíñèè ýääèòð ààðìíè ó÷óí κóέέääãè÷à ,çèø ìóìèèì:

$$\dot{S}_{n,n-1} = P_{n,n-1} + jQ_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} P_{1k}r}{r_{1n}} + j \frac{\sum_{k=2}^{n-1} Q_{1k}r}{r_{1n}}; \quad (5.7, \text{à})$$

[illegible]

$$Z_{kj} = (r_o + jX_o) * l_{kj};$$

Αόοοί εέιεύ άύέε÷ά ύοέαϑε÷εαδίείā εāñει ρϑαñε άεδ οέε άύεāáíāā (5.7) āā (5.8) εοíāāεαδίε κóεēāāāε÷ά ,ϑεø ίοίεεί:

$$\left. \begin{aligned} \dot{S}_{12} &= \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{S}_k l_{kn}}{l_{kn}}; \\ \dot{S}_{n,n-1} &= \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{S}_k l_{1k}}{l_{1k}} \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

Αό āδāā: l_{kn}, l_{1n}, l_{1k} - ίñ ħíēāā k βα n , 1 βα k , 1 βα k οóāóíēāδ íδāñēāāāē ό÷āñóēāēāδ όϑóíēēēēāδē.

Ēāēòēδēā ÷εκαδēēāí αό εοíāāēāδāāí ēϑδéíēā οóδēāāēēē, άεδ æéíñēē ýēāēòδ òāδíñē ό÷āñóēāēāδēāā āēòēā āā δāāēòēā κóāāāòēāδ òακñēíēāíēøē άεδ-άēδēāā áíēēεκ γíāñ. Αóíāē òāδíñēāδāā P āā Q εαδíēíā òακñēíēāíēøēíē ñíāāāēāòēδēēāāē. Áēòòāñē òακαò āēòēā ρēēāíā áēēāí, εκεí÷ēñē γñā òακαò δāāēòēā ρēēāíā áēēāí ρēēāíòēδēēāí, ēēēēòā άεδ - άēδēāā áíēēεκ άýēíāāāí òāδíñē ēϑδéíēøēāā ēñíāēāíāēē (5.2,ā āā 5.2,ā-δāñíēāδ). Óēāδíēíā ēāδ άēδē ό÷óí 5.2,ā-δāñíāāāē ñōāí άýéē÷ā āēòēā κóāāāò òακñēíēāíēøē, 5.2,ā-δāñíāāāē ñōāí άýéē÷ā δāāēòēā κóāāāò òακñēíēāíēøē áíεκεāíāāē. Òāδíñēíā ό÷āñóēāēāδēāāāē òýēā κóāāāòēāδ øó ό÷āñóēāēāδāāí íκεā ýòā,ōāāí āēòēā āā δāāēòēā κóāāāòēāδ ēēēíāēñē ēϑδéíēøēāā áíεκεāíāāē (5.2,ā-δāñí). Αóíāē óñóē ēñíāēāø øø ēāæíēíē ēāíāēòēδāāē.

Øóíāā γúòēāíδ κēēēø ēāδāēē, òāδíñēíā ēāíā ό÷āñóēāēāδēāā ýòēāϑε÷εāδ ēāñēí ρϑαñēíēíā òāíāēēēē òāδíñēíā άεδ æéíñēē āāā ēñíāēāíēøēāā āñíñ άýēā íēíāēāē. Αóíēíā ό÷óí γíā òāδíñēíā ēāíā ό÷āñóēāēāδēíēíā ñíēēøòēδíā āēòēā āā δāāēòēā καδøēēēēēāδē ēāí άεδ òēē άýēēøē ēāδāē.

Òāδíñēíā άεδ κēñíē ēāāí ēéíeyñēāāí, κíēāāí κēñíē ēāāāēü ēéíeyñēāāí éāíδāò άýēñā, ýòēāϑε÷εāδíēíā ēāñēí ρϑαñē άεδ òēē āā άεδ òēē íāòāēāāí òāē,δēāíāāí άýēñā ēāí αó òāδíñē άεδ æéíñēē άýēā íēíāēāē. Αāāδ òāδíñēíā ēāδ òēē ό÷āñóēāēāδēāā ýòēāϑε÷εāδ íδāñēāāāē ýδòā÷ā āāíñāòδēē íāñíòā άεδ òēē άýēíāñā, αóòóí όϑóíēēē άýēēāā άεδ òēē ýòēāϑε÷εāāí òāē,δēāíāāí òāδíñē ēāí άεδ æéíñēē άýēíāēāē. Αó ēēēāēā ēñēāā ēāí ēéíey ό÷āñóēāēāδēāāē ñíēēøòēδíā āēòēā καδøēēēēēāδē òāíā άýēñā ēāí ñíēēøòēδíā δāāēòēā καδøēēēēēāδē òāíā άýēíāēāē.

ēāδ òēē ό÷āñóēāēāδāā ýòēāϑε÷εāδ ēāñēí ρϑαēāδē āā óēāδíēíā ýϑαδí æíēēāøóāē òóδēē÷ā άýēāāí тармоқларни ñóíúēē óñóēēāδ ,δāāíēāā άεδ æéíñēē κēēēø ίοίēēí. Αóíāā òāδíñēíā áēδēí ό÷āñóēāēāδēāā ēííāāíñāòíδíē ēāòíā-ēāò óēāø ,δāāíēāā γδēøēø ίοίēēí. ēííāāíñāòíδíēíā καδøēēēēē øóíāē òāíēāíēøē ēāδāēē, αóíāā òāδíñēíā áēδēí ό÷āñóēāēāδēāāē āēòēā āā δāāēòēā καδøēēēēēāδē íēñāāòēāδē άεδ òēē άýēñēí. Áēδēí ēñēēāδāā áóíēíā íāòēæāñēāā òāδíñēāāē κóāāāò āā γíāδāēý ēñδíòēāδēíē ēāíāēòēδēā, ēñòāúíñē÷ēāāāē éó÷ēāíēø ēñēāòē ýòøēēāñāē.

Ééíeyíēíā ό÷ēāδēāā ēāδ òēē éó÷ēāíēø āāδēēāāí, íāñāēāí $U_1 > U_4$ (5.2,ā-δāñí). Юēēēāíā κóāāāòēāδē $\dot{S}_1, \dot{S}_2$ βα ēéíey ό÷āñóēāēāδēíēā καδøēēēēēāδē Z_{kj} маълум. S_{kj} κóāāāò íκεíēāδēíē òñēø ēāδāē.

Υεάεοδίοαοίεεάιέιā ιαçaðεé àñĩñεαðε éοðñεääί λαύεοί άýεääί όñòìà - όñò κýεεø όñóεεääί όίεääεάιέā 5.2,ā-ðāñìääāε εέιέýíε 5.2,æ āā 5.2,ç-ðāñìεαðāāāε εέεεòā εέιέý áεεāί àεìàøòεðεø ίοίεéí. Εέιέýíεíā áίøεāíε÷ Ñíεαòεεääāε κóāāàò ίκεìεαðεíε ýñā Ñĩñεε άýεääί εκκεòā εέιέýíεíā κóāāàò ίκεìεαðε εέεéíεāεñε εýðεíεøεāā àίεκεāø ίοίεéí. 5.2,æ-ðāñìääāε ó÷εαðεääāε éó÷εāίεøε áεð ðεé άýεääί εέιέýíεíā κóāāàò ίκεìεαðε (5.4) āā (5.5) éòíāεεαðāāί àίεκεāíāāε. 5.2,ç-ðāñìääāε εέιέýāā εαòòā éó÷εāίεøεε таъминлаш манбасидан êε÷εé éó÷εāίεøεε таъминлаш манбасига томон I_T òāíāεāøòεðóā÷ε òíê āā S_T òāíāεāøòεðóā÷ε κóāāàò ίκāāε:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_T &= \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_4}{\sqrt{3}Z_{14}}; \\ \dot{S}_T &= \sqrt{3}\dot{I}_T U_H = \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_4}{\dot{Z}_{14}} U_H; \end{aligned} \right\}. \quad (5.12)$$

(5.4), (5.5) āā (5.12) éòíāεεαðāāί àίεκεāíāāί κóāāàò ίκεìεαðε ,ðāāíεāā 5.2,ā-ðāñìääāε εκκε òĩñíāāί òāúíεíεāíóā÷ε εέιέýδαγι κóāāàò ίκεìεαðεíε àίεκεāø ίοίεéí:

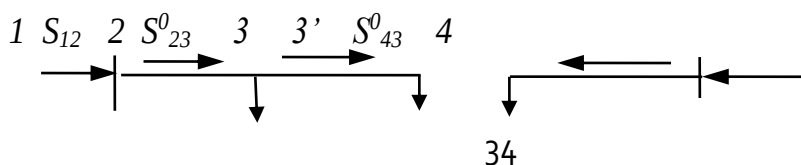
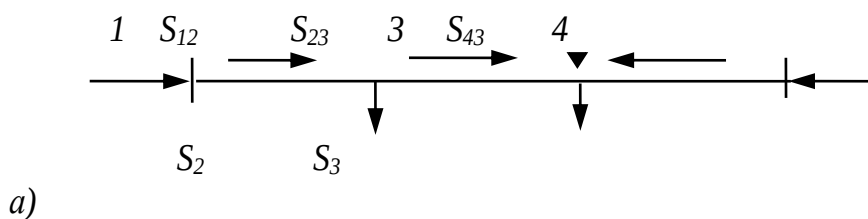
$$S_{12} = \frac{\sum_{k=2}^3 \dot{S}_k \hat{Z}_{k4}}{\hat{Z}_{14}} + S_T \quad (5.13)$$

$$S_{43} = \frac{\sum_{k=2}^3 \dot{S}_k \hat{Z}_{k1}}{\hat{Z}_{14}} - S_T. \quad (5.14)$$

ΔS_{ej} κóāāàò εñðíðε κóεέääāε÷ā àίεκεāíāāε:

$$\sum \Delta \dot{S}_{kj} = \sum 3I_{kj}^2 Z_{kj} = \sum \frac{S_{kj}^2}{U_H^2} Z_{kj}.$$

Ñíāāā ,íεκ òāðĩκεαðāā κóāāàò ίκεìεíεíā òακñεíεāíεøεíε κóāāàò εñðíðεíε □εñíāāā íεāāί □íεāā àίεκεāø. Ñíāāā ,íεκ òāðĩκāāί □ĩñεε κεεéíāāί 5.3,ā-ðāñìääāε εκκε òĩñíεāíā òāúíεíεāíóā÷ε εέιέýíε εýðεā ÷εκαίεç. Íεāéí (5.4), (5.5), (5.2) éòíāεεαð ,ðāāíεāā κóāāàò εñðíðεαðεíε □εñíāāā íεíāāāί □íεāā S_{12} , S_{23} , S_{43} κóāāàò ίκεìεαðεíε àίεκεāéíεç. Фараз қилайлик, қувват оқимининг бўлиниш нуқтаси íóκòāñε 3 òóāóí. Унда линияни 5.3,ā-ðāñìääāεāāε 3 òóāóíεāāί εέεεāā àεðāòāíεç ва пайдо бўлган 13 □āíāā 43 εέιέýεαðāāāε κóāāàò ίκεìεαðεíε í÷εκ òāðĩκεαð □íεαòεíε □εñíāεāγāñāāεāāε □εñíāεāéíεç.





ёўдһаòèèääí. Áó èèìèÿää 2 òòãóíè - àèòèâ қоââàò îкèìèìèíã, 3 òòãóíè - ðâàèòèâ қоââàò îкèìèìèíã áÿèèìèø íóқòàñèàèð.

Áó ðèààòää ðàì èâéèíãè ðèñíá èøèàðèèè ààæàðèø ó÷óí, ðèқ оàðìíкíè èккèòà î÷èк èèìèÿää àæðàòèø íóíèèí. Íèàèí áÿèèìèø íóқòàèàðè ððàñèààèè ó÷àñòèààââ қоââàò èñðìòèèè ðèñíáèàà íèàìèç:

$$\Delta P_{32} = \frac{P_{32}^2 + Q_{32}^2}{U_H^2} r_{32};$$

$$\Delta Q_{32} = \frac{P_{32}^2 + Q_{32}^2}{U_H^2} x_{32}.$$

Àãàð 2 òòãóíèèää $S_2^\phi = P_2^\phi + jQ_2^\phi = P_{12} + j(Q_{12} + Q_{23} + \Delta Q_{32})$ àà 3 òòãóíèèää $S_3^\phi = P_3^\phi + jQ_3^\phi = P_{43} + P_{32} + \Delta P_{32} + jQ_{43}$ ðèèàìèèðð óèàíãàí àãà қàáóè кèèñàè, èâéèíãè ðèñíáèàðèèè, ðèқ оàðмíк ÿðèèää 5.3, à-ðàñíàà ёўдһаòèèèääí èккèòà î÷èк èèìèÿ ó÷óí íèèá áðèèø íóíèèí.

Ðкíðèèààèè èòíààââ $P_{12}, Q_{12}, P_{43}, Q_{43}$ èàð (5.4), (5.5) èòíàèèàððàí, P_{23}, Q_{32} (5.2) èòíàèààí àìèкèàíàèè.

Èèèè òñííèèàìà òàóìèèèàíóâ÷è èèìèÿää èó÷èàìèèøèàðèèíã òàқñèèèèàìèèèè. Икки томонлама таъминланувчи линияда кучланишнинг тақсимланишини аниқлаш учун аввало юқоридаги каби қувват оқимининг бўлиниш нуқтаси (ёки нуқталари) топилади ва тармоқ бу нуқтада (нуқталарда) иккига ажратилади. Сўнгра пайдо бўлган очик тармоқларда кучланишининг тарқалиши юқорида кўриб ўтилган икки этапли усулни қўллаб ҳисобланади.

Синов саволлари

1. Қандай электр тармоқлар содда ёпик тармоқлар дейилади?
2. Икки томондан таъминланувчи тармоқларда қувват оқимларининг тақсимланишини ҳисоблашда тенглама қайси қонун асосида ва қандай тузилади?
3. Икки томондан таъминланувчи тармоқларнинг таъминлаш пунктларида кучланиш бир хил бўлган ҳолатда қувват тақсимланиши қандай ҳисобланади?
4. Икки томондан таъминланувчи тармоқларнинг таъминлаш пунктларида кучланиш ҳар хил бўлган ҳолатда қувват тақсимланиши қандай ҳисобланади?
5. Қувват оқимининг бўлиниш нуқтаси деб қандай нуқтага айтилади? У қандай аниқланади?
6. Икки томондан таъминланувчи тармоқларда қувватнинг тақсимланиши исрофни ҳисобга олиб қандай аниқланади?
7. Икки томондан таъминланувчи тармоқларда кучланиш қандай аниқланади?
8. Икки томондан таъминланувчи тармоқда қувват оқимининг бўлиниш нуқтасидаги кучланиш қандай ҳисобланади?
9. Халқасимон электр тармоқ қандай қилиб икки томондан таъминланувчи тармоқ кўринишига келтирилади?
10. Қувват оқимининг тақсимланиш нуқтаси актив ва реактив қувватлар бўйича турлича бўлган ҳолатда қувват оқимлари исрофни ҳисобга олиб қандай топилади?

6 – маъруза

Маъруза режаси

1. Электр тармоқнинг тўғри чизиқли тенгламалари.
2. Электр тармоқнинг эгри чизиқли тенгламалари.
3. Электр тармоқнинг элементлари.
4. Тармоқнинг алмаштириш схемаси. Очик ва ёпиқ тармоқлар.
5. Электр тармоқнинг тугун кучланишлари тенгламалари.
6. Чизиқли тугун кучланишлари тенгламалари системасини оддий ва Зейдел усуллари ёрдамида ҳисоблаш.

Таянч иборалар: алмаштириш схемаси; актив элемент; пассив элемент; очик тармоқ; ёпиқ тармоқ; турғун ҳолат; базис тугун; балансловчи тугун; тугун кучланишлари тенгламалари; итерация; оддий итерация; матрица; хусусий ўтказувчанлик; ўзаро ўтказувчанлик.

(Адабиётлар: 1, 2, 5, 6, 8).

Электр тармоқ ҳолатларини тугун тенгламалари асосида ҳисоблаш

6.1. Электр тармоқ турғун ҳолатининг чизиқли ва эгри чизиқли тенгламалари.

Электр системасини электр энергияни ишлаб чиқариши, узатиш ва тақсимлаш истеъмол қилувчи электр занжирлари сифатида қараш мумкин.

Алмаштириш схемаси (ёки схема) деб электр занжирларини ташкил этувчи қисмларнинг ўзаро туталиш кетма-кетлиги ва уларнинг хоссаларини ифодаловчи график тасвирга айтилади.

Очик тармоқларда ҳар бир тугун фақат бир томондан манбаланади. Ҳар қандай шахобча узилган ҳолатида у орқали қувват оқиб боровчи барча тугунлар манбадан узилади.

Камида битта контурга эга бўлган электр тармоғи *ёпиқ тармоқ* деб аталади. Ёпиқ электр тармоқда икки ёки ундан кўп томондан манбаланувчи камида битта тугун мавжуд бўлади.

Электр тармоқлар схемалари элементлари актив ва пассив элементларига бўлинади:

Алмаштириш схемаларининг *пассив элементлари* (қаршилиқлар ва ўтказувчанликлар) электр тоқининг ўтиши учун йўл ҳосил қилади. Электр тармоқларининг пассив элементлари (шахобчалари) одатда бўйлама ва кўндаланг элементларга бўлинади.

Алмаштириш схемасининг *актив элементи* – бу ЭЮК ва ток ман-баларидир. Улар занжирнинг уланган нуқталарида кучланиш ва токнинг қийматларини бошқа элементларнинг параметрларига боғлиқ бўлмаган ҳолда аниқлайди.

Электр системаларнинг турғун ҳолатларини ҳисоблашда ЭЮК манбалари кам фойдаланилади. Улар асосан қисқа туташув тоқлари ва турғунликни ҳисоблашда кенг қўлланилади. Шу сабабли қуйида гап асосан ток манбалари ҳақида боради.

Шундай қилиб, юқорида кўриб ўтилган электр занжир пасив элементларининг асосий параметрлари бўлиб актив қаршилик r , индуктивлик L ва сиғим C ҳисобланади. Баён этишни осонлаштириш учун ўзаро индуктивликни ҳисобга олмаймиз. Занжир параметрлари ҳар доим у ёки бу даражада ток ва кучланишга боғлиқдир. қаршилик r токка боғлиқ равишда ўзгаради, чунки бунда ўтказгичнинг ҳарорати ўзгаради. Конденсатор сиғими кучланишга ва ғалтак индуктивлиги токка боғлиқ ҳолда ўзгариши мумкин. Бироқ бу боғлиқликлар шунчалик даражада заифки уни ҳисобга олмаслик ва пасив элементлар параметрларини кучланиш ва токка боғлиқмас деб қараш мумкин. Бундай ҳолатларда электр занжири элементларининг характеристикаларини (r қаршиликда кучланишни токка боғланишини, C сиғимли зарядни кучланишга боғланишини ва индуктивлиги L бўлган ғалтакда пайдо бўлувчи магнит оқимини токка боғланишини) туғри чизик кўринишда тасвирлаш мумкин. Занжирнинг бундай элементларини *чизикли* деб юритилади. Чизикли элементларда r, C, L доимий, яъни улар кучланиш ва токка боғлиқ эмас.

Кучланиш ва ток манбалари доимий (ўзгармас) бўлганда *электр занжирларининг турғун ҳолати* деб унинг шундай ҳолатига айтиладики, бунда ҳар қандай шохобчада ток ва ҳар қандай тугунда кучланиш узоқ давр мобайнида ўзгаришсиз қолади. Чизикли пасив элементлар ва модули ҳамда фазаси ўзгармас ток манбаларига эга бўлган занжирларнинг турғун ҳолатлари чизикли алгебрик тенгламалар – турғун ҳолатнинг чизикли тенгламалари орқали ифодаланади. Бундай занжирлар чизикли электр занжирлари деб аталади. Бу ҳолат электр системалари ҳолатларини барча тугунларда истемолчилар ва генераторларнинг модул ва фаза бўйича ўзгармас токлари берилганда ҳисоблашга мос келади.

Назарий электроникада камида битта эгри чизикли пасив элементга (r, C ёки L) эга бўлган занжир эгри чизикли занжир деб аталади.

Электр системаларининг турғун ҳолатларини ҳисоблашда пасив элементларнинг эгри чизиклилиги одатда ҳисобга олинмайди. Шу билан бир қаторда электр системалари ҳолатларини ҳисоблашда ток манбаларининг характеристикалари ҳисобга олинади. Ток манбаларининг характеристикаларини эгри чизиклилиги истемолчи ва генератор тугунларида доимий қувват ёки қувватнинг кучланишига боғлиқлигини ифодаловчи статик характеристикалар берилган ҳолатига мос келади. Эгри чизикли ток манбаларига эга бўлган электр системаларнинг алгебрик тенгламалар - турғун ҳолатининг эгри чизикли тенгламалари орқали ифодаланади.

Тугун кучланишлари тенгламалари (тугун тенгламалари). Электр системалари ва занжирларининг ҳолатлари ҳисоблашнинг физик маъноси ва мақсадидан келиб чиқиб дастлабки маълумотларнинг турлича усулларда берилганида ҳисобланади.

Ушбу параграфда энг кўп ўзгарувчи ва энг содда ҳолатни кўриб ўтамиз. Электр занжири барча пасив элементларининг қаршилик ва ўзгарувчанликлар маълум. Бундан ташқари P ва Q бўйича балансловчи тугундан бошқа барча тугунлардаги ток манбаларидан токларнинг ўзгармас қийматлари, барча ЭЮК, шунингдек кучланиш бўйича базис ҳисобланувчи битта тугуннинг кучланиши берилган. n та тугунда кучланиш ва m та шохобчадан токни топиш талаб этилади.

Умумий ҳолда кучланиш бўйича базис ва P, Q лар бўйича балансловчи тугунлар битта бўлмаслиги мумкин.

Одатда, электр системалари ҳолатларини ҳисоблашда бу тугунлар битта деб қаралади. Биз ҳам қуйида бу тугунлар битта $(n + 1)$ -тугун деб ҳисоблаймиз ва уни, соддалик учун, балансловчи деб атаймиз.

Кирхгофнинг 1-қонуни бўйича мустақил тенгламалар сони мустақил тугунлар сони n га тенгдир. $(n+1)$ - тугун учун Кирхгофнинг 1-қонуни тенгламаси қолган n та тугун учун тенгламалар йиғиндисига тенг ва мустақил тенгламалар қаторига кирмайди.

Агар номаълумлар сифатида n та тугун кучланишлари қабул қилинса, у ҳолда тугун ҳолатини Кирхгофнинг 1-қонуни ва Ом қонунидан келиб чикувчи тугун тенгламалари ёрдамида ёзиш етарли. Агар барча шохобчалардаги тоқлар тугун кучланишлари ва шохобчалар ўтказувчанликлари орқали ифодаланса, тугун кучланишлари тенгламалари Кирхгофнинг 1-қонунидан келиб чиқади. Тугун кучланишлари тенгламалар сони мустақил тугунлар сонига тенг. Бунда тугунлардан бирининг $[(n+1)]$ кучланиши қиймати ихтиёрий, жумладан нолга тенг деб қабул қилиниши мумкин.

n номаълумли n та тугун кучланишлари тенгламалари системасини ечиб, барча тугунлар кучланишларини аниқлаймиз. Сўнгра Ом қонуни бўйича шохобчалардаги тоқларни ҳисоблаймиз..

Балансловчи тугун кучланиши $U_\delta \neq 0$ бўлганда тугун кучланишлари тенгламалари 4 та тугундан иборат бўлган тармоқ учун қуйидагича ёзилади:

$$\begin{aligned} Y_{11}U_1 - Y_{12}U_2 - Y_{13}U_3 - \dots - Y_{1n}U_n &= I_1, \\ -Y_{21}U_1 - Y_{22}U_2 - Y_{23}U_3 - \dots - Y_{2n}U_n &= I_2, \\ &\vdots \\ -Y_{n1}U_1 - Y_{n2}U_2 - Y_{n3}U_3 - \dots - Y_{nn}U_n &= I_n, \end{aligned} \quad (6.1)$$

бу ерда I_k - k -чи тугун тоқи; U_k - k -чи тугуннинг номаълум кучланиши; Y_{kj} ($k \neq j$ бўлганда) k ва j тугунларнинг номаълум кучланишлари; Y_{kk} - k тугуннинг ҳусусий ўтказувчанлиги.

Агар иккита тугун орасида занжир бўлмаса, у ҳолда бу тугунларнинг ўзаро ўтказувчанлиги нолга тенг. Агар k и j тугунлар ўзаро Z_e қаришилиққа ва Y_i ўтказувчанлиққа эга бўлган битта шохобча орқали туташган бўлса, у ҳолда

$$Y_{kj} = Y_e = -1/Z_e \quad (6.2)$$

k - тугуннинг ҳусусий ўтказувчанлик Y_{kk} шу k тугунга туташган барча шохобчалар ўтказувчанлиқларининг йиғиндисига тенгдир.

Агар k тугунга m шохобчага туташган бўлса, у ҳолда

$$Y_{kk} = \sum_{l=1}^m Y_l = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n+1} Y_{kj} \quad (6.3)$$

(6.1) тенгламалар системаси қуйидагича ечилади. Система тугунларидан бири, масалан $(n+1)$ -чи, кучланиш бўйича базис ва тоқ бўйича балансловчи тугун сифатида қабул қилинади. Бу тугундаги кучланиш U_{n+1} маълум, тоқ I_{n+1} эса номаълум ва қолган n та тугун тоқлари йиғиндисига тенг деб қабул қилинади. Натижада, (6.1) дан n та номаълум тугун кучланишига эга бўлган n та тенгламали тугун кучланишлари тенгламаларисистемаси ҳосил бўлади, яъни

$$\begin{aligned} Y_{11}U_1 - Y_{12}U_2 - Y_{13}U_3 - \dots - Y_{1n}U_n &= I_1 + Y_{1,n+1}U_{n+1}; \\ -Y_{21}U_1 - Y_{22}U_2 - Y_{23}U_3 - \dots - Y_{2n}U_n &= I_2 + Y_{2,n+1}U_{n+1}; \\ &\vdots \\ -Y_{n1}U_1 - Y_{n2}U_2 - Y_{n3}U_3 - \dots - Y_{nn}U_n &= I_n + Y_{n,n+1}U_{n+1}. \end{aligned} \quad (6.4)$$

$$-Y_{31}U_1 - Y_{32}U_2 + Y_{33}U_3 = I_3 + Y_{3\delta}U_{\delta};$$

ёки матрица кўринишда

$$\mathbf{Y}\mathbf{U} = \mathbf{I} + \mathbf{Y}_{\delta} U_{\delta} \quad (6.5)$$

Ўзгарувчан ток тармоғи учун тугун кучланишлари тенгламалари системаси (6.4) ёки (6.5) каби n тартибли комплекс кўринишдаги тенгламалар системаси сифатида ифодаланади

$$\dot{\mathbf{Y}}\dot{\mathbf{U}} = \sqrt{3} \mathbf{I} + \dot{\mathbf{Y}}_{\delta} U_{\delta} \quad (6.6)$$

Бу ерда $\dot{\mathbf{Y}}_{\delta} U_{\delta}$ - к.чи элементи $\dot{\mathbf{Y}}_{k\delta} U_{\delta}$ га тенг бўлган устун матрица.

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{Y}} &= \mathbf{G} - j\mathbf{B} \\ \dot{\mathbf{U}} &= \mathbf{U}' - j\mathbf{U}'' \\ \mathbf{I} &= \mathbf{I}' + j\mathbf{I}'' \end{aligned} \quad (6.7)$$

эканлигини назарда тутиб ва (6.7) ни (6.6) қўйсак $2n$ тартибли ҳақиқий тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{G} & \mathbf{B} \\ -\mathbf{B} & \mathbf{G} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \mathbf{U}' \\ \mathbf{U}'' \end{bmatrix} = \sqrt{3} \begin{bmatrix} \mathbf{I}' \\ -\mathbf{I}'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{g}_{\delta} \mathbf{U}'_{\delta} \\ \mathbf{b}_{\delta} \mathbf{U}''_{\delta} \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

6.2 Чизикли тугун кучланишлари тенгламаларини ечиш усуллари.

Аниқ ва итерацион усуллар. Турғун ҳолатнинг чизикли тугун кучланишлари тенгламаларини ечиш усуллари икки гурпуга бўлиш мумкин: аниқ (ёки тўғри) ва итерацион (ёки тахминий).

Аниқ ёки тўғри усуллар деб барча ҳисоблашлар аниқ (яхлитланмасдан) олиб борилади деб қаралувчи усулларга айтилиб, унда ҳисоблаш натижасида номаълумларнинг аниқ қийматлари ҳосил бўлади. Амалда барча ҳисоблашлар яхлитлашлар билан олиб борилади, шунинг учун номаълумларининг аниқ усул билан олинган қийматлари ҳам хатоликларга эга бўлади. Аниқ усулларга мисол тариқасида Гаусс ва тескари матрица усуллари келтиришимиз мумкин.

Итерацион ёки тахминий усуллар деб ҳисоблашлар яхлитлашларсиз олиб борилади деб ҳисобланган ҳолда ҳам тенгламалар системаси ечимини берилган аниқликда топиш имконини берувчи усулларга айтилади. Итерацион усулларни қўллаганда системанинг аниқ ечими назарий жихатдан чексиз инерция жараёни натижасида олинishi мумкин. Итерацион усулларга мисол тариқасида оддий итерация усули, Зейдел усули, Ньютон - Рафсон усули ва усулнинг бошқа модификацияларини келтиришимиз мумкин.

Оддий итерация ва Зейдел усуллари - итерацион усуллар ичида энг оддийларидир. Оддий итерация усули билан танишиш электр системаларининг турғун ҳолатларини ҳисоблашда итерацион усулларни қўллашнинг маъносини тушуниш учун муҳимдир. Соддалик учун матрица кўринишда (6.6) каби ифодаланувчи учинчи тартибли тугун тенгламалари системаси билан чекланамиз.

Диагонал элементлар $Y_{ii} \neq 0$, $i=1,2,3$ деб фараз қилиб, системанинг биринчи тенгламасидан U_1 ни, иккинчисидан U_2 ни ва учинчисидан U_3 ни ифодалаймиз. Бунда дастлабки тенгламалар системасига эквивалент бўлган қуйдаги системага эга бўламиз:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= B_{12}\dot{U}_2 + B_{13}\dot{U}_3 + B_1 ; \\ \dot{U}_2 &= B_{21}\dot{U}_1 + B_{23}\dot{U}_3 + B_2 ;\end{aligned}\quad (6.9)$$

$$\dot{U}_3 = B_{31}\dot{U}_1 + B_{32}\dot{U}_2 + B_3 ;$$

Бу ерда

$$B_{kj} = -\dot{Y}_{kj} / \dot{Y}_{kk}, \quad k \neq j \quad B_k = I_k + \dot{Y}_{k\delta} U_\delta / \dot{Y}_{kk}; \quad k, j=1,2,3 \quad (6.10)$$

Номаълумларининг бошланғич қийматлари $U_1^{(0)}, U_2^{(0)}, U_3^{(0)}$ ларни қабул қиламиз. Уларни (6.9) нинг ўнг томонига қўйиб биринчи яқинлашув қийматларини $U_1^{(1)}, U_2^{(1)}, U_3^{(1)}$ ни оламиз. Номаълумларнинг биринчи яқинлашув қийматларини ҳисоблаш инерция жараёнининг биринчи қадамига мос келади. Пайдо бўлган биринчи яқинлашув қийматлари худда шу тариха иккинчи яқинлашув қийматларини олиш учун фойдаланилади. Олдинги i -чи қадамда пайдо бўлган номаълум қийматларидан фойдаланиб, уларнинг $(i+1)$ -чи қадамдаги қийматлари топилади:

$$\begin{aligned}U_1^{(i+1)} &= B_{12}U_2^{(i)} + B_{13}U_3^{(i)} + B_1 ; \\ U_2^{(i+1)} &= B_{21}U_1^{(i+1)} + B_{23}U_3^{(i)} + B_2 ;\end{aligned}\quad (6.11)$$

$$U_3^{(i+1)} = B_{31}U_1^{(i+1)} + B_{32}U_2^{(i+1)} + B_3 ;$$

(6.11) матрица кўринишида қуйдагича ифодаланади:

$$U^{(i+1)} = BU^{(i)} + B \quad (6.12)$$

(6.11) ёки (6.12) билан белгиланувчи итерация жараёни оддий итерция деб аталади.

Зейдел усули оддий инерция усулининг модификациясидир. Унинг оддий инерциядан асосий фарқи шунда иборатки, унда $(k-1)$ -чи тугун кучланишининг $(i+1)$ чи яқинлашишда топилган қиймати $U_{k-1}^{(i+1)}$ шу ернинг ўзида k -чи тугун кучланишининг $(i+1)$ яқинлашишдаги қиймати $U_k^{(i+1)}$ ни ҳисоблашда фойдаланилади. Шундай қилиб, бунда кучланишларнинг $(i+1)$ чи яқинлашишдаги қийматлари қуйдагича ҳисобланади:

$$\begin{aligned}U_1^{(i+1)} &= B_{12}U_2^{(i)} + B_{13}U_3^{(i)} + B_1 ; \\ U_2^{(i+1)} &= B_{21}U_1^{(i+1)} + B_{23}U_3^{(i)} + B_2 ; \\ U_3^{(i+1)} &= B_{31}U_1^{(i+1)} + B_{32}U_2^{(i+1)} + B_3 ;\end{aligned}\quad (6.13)$$

n та мустақил тугунга эга бўлган электр системасининг k -чи тугуни кучланишининг $(i+1)$ -чи яқинлашишдаги қийматини, оддий итерация ва Зейдел усулларида фойдаланилганда, топиш формулалари мос равишда қуйдаги кўринишда бўлади. □

$$\begin{aligned}U_k^{(i+1)} &= \sum_{j=1}^{k-1} b_{kj} U_j^{(i)} + \sum_{j=k+1}^n b_{kj} U_j^{(i)} + b_k ; \\ U_k^{(i+1)} &= \sum_{j=1}^{k-1} b_{kj} U_j^{(i+1)} + \sum_{j=k+1}^n b_{kj} U_j^{(i)} + b_k\end{aligned}\quad (6.14), (6.15)$$

Оддий итерация усули Зейдел усулига нисбатан ҳеч қандай афзалликка эга бўлмаганлиги сабабли электр системалари турғун ҳолатларини ЭХМда амалий

ҳисоблашларда доимо оддий инерция усули эмас, балки Зейдел усулидан фойдаланилади.

Агар Зейдел усули тез яқинлашса ва n тартибли системани ечишда n қадамдан кам талаб этилса, у ҳолда ЭХМда ҳисоблашда аниқ усуллардагига нисбатан, масалан Гаусс усулидагига нисбатан, кам вақт талаб этилади. Бу шундан келиб чиқадики, Зейдел усули бўйича ҳисобланганда битта қадамни амалга ошириш учун талаб этилувчи арифметик амаллар сони n^2 га туғри пропорционал бўлса, аниқ усул, масалан Гаусс усули, бўйича ҳисоблаганда барча арифметик амаллар сони n^3 га туғри пропорционал. Келтирилган нисбат тугун ўтказувчанликлари матрицасининг заиф тўлалиги ҳисобга олинмаган тақдирда ўринлидир. Шу билан бир қаторда бу фактор ҳисобга олинса ҳам Зейдел усули, агар у тез яқинлашса, аниқ усулларга нисбатан кам ЭХМ вақтини талаб этади.

Зейдел усулининг муҳим афзаллиги алгоритмнинг соддалиги ва уни ЭХМда амалга оширишнинг қулайлигидан иборатдир. Хусусан у тугун ўтказувчанликлари матрицасининг заиф тўлалигини ҳисобга олганда эффективдир, чунки ушбу усулда бу факторни ҳисобга олиш алгоритми жуда соддадир.

Зейдел усулининг асосий камчилиги унинг секин яқинлашиши ёки ҳатто унинг бўйлама компенсацияловчи қурилмаларга, ўрта кучланиш чулғами қаршилиги жуда кичик бўлган уч чулғамли трансформаторларга эга бўлган тармоқларнинг турғун ҳолатларини, шунингдек чегаравий ва турғунмас ҳолатларни ҳисоблашда узоқлашишидир (яқинлашмаслигидир)

Синов саволлари

1. Электр тармоқнинг пасив элементларига нималар киради?
2. Электр тармоқнинг актив элементларига нималар киради?
3. Тугун кучланишлари тенгламалари қандай қонун асосида тузилади?
4. Қандай ҳолларда тугун тенгламалари тўғри чизиқли қурилишда бўлади?
5. Электр тармоқнинг ҳолати қандай мақсадларда ҳисобланади?
6. Электр тармоқнинг барқарор (турғун) ҳолати нима билан характерланади?
7. Электр тармоқ ҳолатини ҳисоблашнинг тўғри усулларига қандай усуллар киради?
8. Электр тармоқ ҳолатини ҳисоблашнинг итератив (кетма-кет яқинлашиш) усулларига қандай усуллар киради?
9. Кетма-кет яқинлашиш усулларининг афхзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?
10. Электр тармоқлар ҳолатларини ҳисоблашда тугун кучланишлари тенгламаларидан фойдаланишга асосланган усулларнинг афзалликлари нималардан иборат?

7 - маъруза

Маъруза режаси

1. Эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламалари системаси.
2. Тармоқ ҳолатини ҳисоблашда юкламаларнинг берилиш усуллари.
3. Ток ва қувват баланси кўринишидаги тугун кучланишлари тенгламалари системалари.
4. Эгри чизиқли ток ва қувват баланси кўринишидаги тугун кучланишлари тенгламалари системаларини Зейдел ва Ньютон усуллари ёрдамида ечиш.

Таянч иборалар: алмаштириш схемаси; актив элемент; пассив элемент; очик тармок; ёпиқ тармок; турғун ҳолат; базис тугун; балансловчи тугун; тугун кучланишлари тенгламалари; итерация; оддий итерация; матрица; хусусий ўтказувчанлик; ўзаро ўтказувчанлик.

(Адабиётлар: 1-6, 12-13).

7.1 Турғун ҳолатнинг эгри чизиқли тенгламалари.

Эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламалари электр тармоқларининг турғун ҳолатини эгри чизиқли ток манбалари берилганда ифодалайди. Электр системасининг алмаштириш схемасида токнинг эгри чизиқли манбаларига қувватлари берилган генераторлар, шунингдек статик характеристикалари ёки ўзгармас қуввати берилган истеъмолчи юкларлари мос келади. Истеъмолчи ёки генераторнинг қуввати берилганда тугундаги ток қуйдагича ифодаланади:

$$\dot{I}_k(U) = \frac{\dot{S}_k}{\sqrt{3}U_k} \quad (7.1)$$

Бу ерда $\dot{S}_k = cost$ – к-чи тугундаги учала фаза қувватининг қўшмаси; U_k – к-чи тугундаги фазалараро кучланишининг қўшмаси; I_k – к-чи тугундаги кучланишига боғлиқ бўлган эгри чизиқли ток.

Агар юклама қувватининг статик характеристикаси берилса, у ҳолда эгри чизиқли ток қуйдагича ифодаланади:

$$\dot{I}_k(\dot{U}) = \frac{\dot{S}_k(\dot{U})}{\sqrt{3}U_k} = \frac{P_k(U) - jQ_k(U)}{\sqrt{3}U_k} \quad (7.2)$$

Бу ерда $P_k(U)$, $Q_k(U)$ – к-чи тугун актив ва реактив юкларларининг статик характеристикалари.

4 та тугунга эга бўлган ўзгаручан ток системасидаги юкларлар ва генераторларнинг ўзгармас қувватлари берилган ҳолда эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламалари қуйдаги кўринишда ёзилади.

$$\begin{aligned} Y_{11}U_1 - Y_{12}U_2 - Y_{13}U_3 &= \frac{\dot{S}_1}{U_1} + Y_{1\delta}U_\delta; \\ -Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 - Y_{23}U_3 &= \frac{\dot{S}_2}{U_2} + Y_{2\delta}U_\delta; \\ -Y_{31}U_1 - Y_{32}U_2 + Y_{33}U_3 &= \frac{\dot{S}_3}{U_3} + Y_{3\delta}U_\delta; \end{aligned} \quad (7.3)$$

Ушбу тугун кучланишлари тенгламалари системаси матрица кўринишида куйдагича ифодаланади:

$$\mathbf{Y} \dot{\mathbf{U}} = \sqrt{3} \mathbf{I}(\dot{\mathbf{U}}) + \mathbf{Y}_\delta \dot{\mathbf{U}}_\delta \quad (7.4)$$

Бу ерда $\mathbf{Y}$ - комплекс кўринишдаги хусусий ва ўзаро ўтказувчанликлар матрицаси; $\mathbf{I}(\mathbf{U})$ - k -чи элементи (7.1) ифода бўйича аниқланувчи тоқлар вектор-устуни; $\mathbf{Y}_\delta \mathbf{U}_\delta$ - k -чи элементи $\mathbf{Y}_{k\delta} \mathbf{U}_\delta$ ифода бўйича аниқланувчи вектор- устун. $\mathbf{U}_\delta$ - балансловчи тугуннинг берилган кучланиши.

Ёзилган (7.3) тенгламаларнинг ҳар бири маълум тугундаги комплекс тоқлар балансига мос келади. Шу сабабли (7.3) ва (7.4) тенгламаларнинг ток баланси кўринишдаги тугун кучланишлари тенгламалари деб атаймиз.

Тез-тез (7.3) даги тоқлар баланси кўринишдаги тенгламаларни ҳар иккала томонини мос тугун комплекс кучланишнинг қўшмасига кўпайтириш натижасида ҳосил бўлувчи қувватлар баланси кўринишдаги тугун кучланишлари тенгламаларидан фойдаланилади. 4 тугунли ўзгарувчан ток системаси учун қувватлар баланси кўринишдаги тугун тенгламалари куйдагича ёзилади:

$$\begin{aligned} \hat{U}_1 (Y_{11}U_1 - Y_{12}U_2 - Y_{13}U_3 - Y_{1\delta}U_\delta) &= \hat{S}_1; \\ \hat{U}_2 (-Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 - Y_{23}U_3 - Y_{2\delta}U_\delta) &= \hat{S}_2; \\ \hat{U}_3 (-Y_{31}U_1 - Y_{32}U_2 + Y_{33}U_3 - Y_{3\delta}U_\delta) &= \hat{S}_3; \end{aligned} \quad (7.5)$$

(7.5) ни матрица кўринишда куйдагича ёзиш мумкин:

$$\hat{\mathbf{U}}_{\text{diag.}} (\mathbf{Y} \hat{\mathbf{U}} - \mathbf{Y}_\delta \mathbf{U}_\delta) = \hat{\mathbf{S}} \quad (7.6)$$

Бу ерда $\hat{\mathbf{U}}_{\text{diag.}}$ - k -чи диагональ элементи k -чи тугун кучланишининг қўшмасига тенг бўлган диагональ матрица; $\square$ - k -чи элементи k -чи тугунда берилган қувватнинг қўшмасига тенг бўлган вектор-устун.

7.2 Эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламаларини ечишда Зейдел усулининг қўлланилиши

Эгри чизиқли тугун кучланишлари тенгламалари системаларини Зейдел усули билан ечишдаги итерацион жараён (6.15) сингари куйдагича ифодаланади:

$$\begin{aligned} \dot{U}_k^{(i+1)} &= \varphi_{3k}(\dot{U}_1^{(i+1)}, \dot{U}_2^{(i+1)}, \dots, \dot{U}_{k-1}^{(i+1)}, U_k^{(i)}, U_{k+1}^{(i)}, \dots, U_n^{(i)}) = \\ &= \frac{1}{Y_{kk}} \left(\sum_{j=1}^{k-1} Y_{kj} U_j^{(i+1)} + \sum_{j=k+1}^k Y_{kj} U_j^{(i)} - \frac{\hat{S}_k}{\hat{U}_k^{(i)}} + Y_{k\delta} U_\delta \right). \end{aligned} \quad (7.7)$$

Бу ерда $\varphi_{3k}(U_1^{(i+1)}, \dots, U_{k-1}^{(i+1)}, U_k^{(i)}, U_{k+1}^{(i)}, \dots, U_n^{(i)})$ – Зейдал усули қўлланилганда ЭХМда ҳисоблашиш қулайлигини таъминлаш учун комплекс номаълумлар ҳақиқий номаълумлар билан алмаштирилади ва актив ҳамда реактив кучланишлар куйдагича ҳисобланади:

$$\begin{aligned} U_k'^{(i+1)} &= \varphi'_{3k}(U_1'^{(i+1)}, \dots, U_{(k-1)}'^{(i+1)}, U_k'^{(i)}, \dots, U_n'^{(i)}, U_1''^{(i+1)}, \dots, U_{(k-1)}''^{(i+1)}, U_k''^{(i)}, \dots, U_n''^{(i)}) \\ U_k''^{(i+1)} &= \varphi''_{3k}(U_1''^{(i+1)}, \dots, U_{(k-1)}''^{(i+1)}, U_k''^{(i)}, \dots, U_n''^{(i)}, U_1'^{(i+1)}, \dots, U_{(k-1)}'^{(i+1)}, U_k'^{(i)}, \dots, U_n'^{(i)}) \end{aligned} \quad (7.8)$$

Бу ерда ϕ'_{3k}, ϕ''_{3k} -эгри чизикли комплекс функция ϕ_{3k} нинг ҳақиқий ва мавҳум ташкил этувчилари.

Зейдел усулининг турғун ҳолати эгри чизикли тенгламалари ечимига яқинлашуви секиндр. Зейдел усулининг яқинлашувини тезлаштириш учун тезлаштирувчи коэффициентлар ёки тўлиқсиз релаксациялаш усули фойдаланилади. Тезлаштирувчи коэффициентлардан фойдаланиш куйдаги тартибда амалга оширилади.

к-чи тугуннинг $(i+1)$ -чи қадамида одатдаги (7.7) итерация формуласи бўйича топилган кучланишни $\dot{U}_k^{(i+1)}$ деб белгилаймиз. Ушбу тугуннинг $(i+1)$ - чи қадамдаги тезлашган кучланиши $U_{k,mez}^{(i+1)}$ куйдаги формула бўйича аниқланади.

$$\dot{U}_{k,mez}^{(i+1)} = \dot{U}_{k,mez}^{(i)} + \alpha(\dot{U}_k^{(i+1)} - U_{k,mez}^{(u)}) = U_{k,mez}^{(u)} + \alpha\Delta U_k^{(i+1)}. \quad (7.9)$$

Бу ерда $\Delta U_k^{(i+1)} = U_k^{(i+1)} - U_{k,mez}^{(i)}$ - к-чи тугуннинг $(i+1)$ -чи қадамдаги ўзгариши; $\square$ - тезлаштирувчи коэффициент. $\square=1$ бўлганда одатдаги итерация жараёни келиб чиқади.

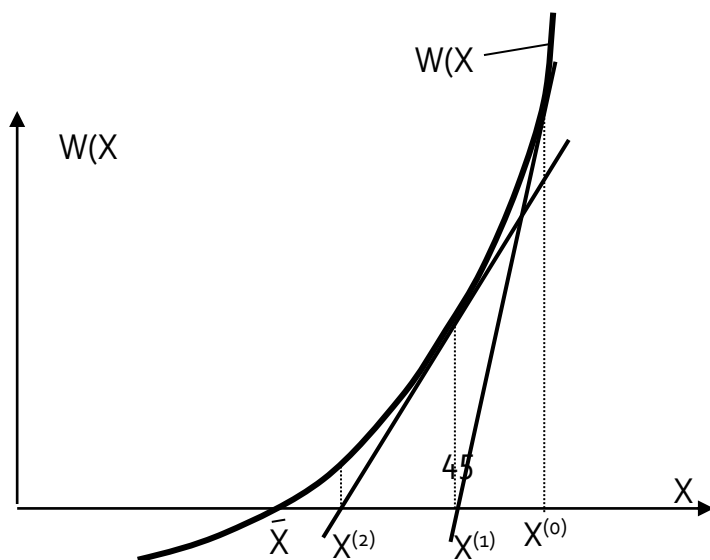
Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, Зейдел усулининг асосий афзаллиги унинг осон программаланиши ва талаб этилувчи оператив хотиранинг камлиги, шунингдек итерацияни амалга оширишда талаб этилувчи ҳисоб амалларининг камлигидир. Камчилиги эса-секин яқинлашиш. Зейдел усулини хусусан бўйлама компенсацияловчи қурилмалар, ўрта чулғамининг қаршилиги жуда кичик бўлган уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторларга эга бўлган ва шунингдек параметрлари ўрта ножинсли бўлган электр системалари ҳолатларини ҳисоблашда секин яқинлашади ва хатто ўзоқлашиши мумкин. Зейдел усули шунингдек турғунлик чегарасига яқин ҳолатларни ҳисоблашда ёмон яқинлашади ёки узоқлашади.

7.3 Ньютон усули

Эгри чизикли агебраик тенгламаларни Ньютон усули билан ечиш эффективдир. Чунки у нисбатан мураккаб бўлмаган ҳисоблаш системасига эга бўлиб, тез яқинлашиш хусусиятига эга. Ньютон усули ҳар қандай синфдаги эгри чизикли тенгламаларни ечишда қўлланилиши мумкин.

Ньютон усулининг маъноси ҳар бир итерацияда эгри чизикли тенгламалар системасини ечими шу эгри чизикли тенгламалар системасининг ечимига жуда яқин бўлган тўғри чизикли тенгламалар системаси билан алмаштиришдан иборатдир. Бу усулнинг маъноси билан куйдаги тенгламани ечиш мисолида танишамиз:

$$w(x) = 0 \quad (7.10)$$



7.1 - расм. Ньютон усулининг итерация жараёни.

Тенгламанинг ечими бўлиб $w(x)$ функцияси графиги нол орқали ўтувчи $\square \bar{X}$ нукта (7.1-расм) ҳисобланади.

Бошланғич қиймат $X^{(0)}$ ни қабул қиламиз. (7.10) тенгламани $X^{(0)}$ нукта атрофида чизикли тенглама билан алмаштирамиз:

$$w(x^{(0)}) + \frac{\partial w}{\partial x}(x^{(0)})(x - x^{(0)}) = 0. \quad (7.11)$$

(7.11) нинг чап қисми $w(x)$ функцияни Тейлор қаторига ёйишдаги 2 та бошланғич ташкил этувчидан иборат. (7.11) ни ечиб, $\Delta X^{(1)}$ ни топамиз:

$$\Delta X^{(1)} = X^{(1)} - X^{(0)} = - \frac{w(x^{(0)})}{\frac{\partial w}{\partial x}(x^{(0)})}. \quad (7.12)$$

Номаълумнинг янги интерациядаги қиймати сифатида

$$X^{(1)} = X^{(0)} + \Delta X^{(1)} = X^{(0)} - \frac{w(x^{(0)})}{\frac{\partial w}{\partial x}(x^{(0)})}. \quad (7.13)$$

ни қабул қиламиз.

Кейинги яқинлашишлар ҳам шу сингари аниқланади.

$$X^{(i+1)} = X^{(i)} + \Delta X^{(i+1)} = X^{(i)} - \frac{w(x^{(i)})}{\frac{\partial w}{\partial x}(x^{(i)})}. \quad (7.14)$$

$w(x^{(i)})$ функциянинг абсолют қиймати берилган сондан кичик бўлиб қолганда яқинлашишга эришилади деб ҳисобланади:

$$|w(x^{(i)})| \leq E \quad (7.15)$$

Яқинлашишни $\Delta X^{(i)}$ нинг қиймати бўйича текшириш нотўғри натижага олиб келиш мумкин.

Ньютон усулининг геометрик маъноси билан танишайлик. Ньютон усули бўйича ҳар бир қадамда $w(x)$ функцияси x нинг олдинги қадамдаги қийматида $w(x)$ эгри чизигига уринма кўринишдаги тўғри чизикли функция билан алмаштирилади. Масалан, 1-қадамда (7.11) нинг чап томонидаги тўғри чизикли функция графиги $X^{(0)}$ нуктада $w(x)$ эгри чизигига уринмадир (7.1-расм).

Шу сабабли Ньютон усули уринма деб ҳам юритилади. $X^{(i+1)}$ яқинлашиш $X^{(i)}$ нуктада $w(x)$ эгри чизигига уринманинг x ўқи билан кесишиш нуктасидир (7.1-расм).

Ҳақиқий номаълумли эгри чизикли алгебраик тенгламалар системасини Ньютон усули ёрдамида ечишни кўриб ўтамыз.

$$\left. \begin{aligned} w_1(x_1, x_2, x_3) &= 0; \\ w_2(x_1, x_2, x_3) &= 0; \\ w_3(x_1, x_2, x_3) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.16)$$

Агар вектор устун X ва вектор-функция $W(X)$ дан фойдалансак, у ҳолда

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}, \quad W(x) = \begin{bmatrix} w_1(x_1, x_2, x_3) \\ w_2(x_1, x_2, x_3) \\ w_3(x_1, x_2, x_3) \end{bmatrix} \quad (7.17)$$

ва (7.16) системасини матрица кўринишда ёзиш мумкин:

$$W(x) = 0. \quad (7.18)$$

$X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, X_3^{(0)}$ лар номаълумларнинг бошланғич қийматлари бўлсин. (7.16) эгри чизикли тенгламаларнинг ҳар бирини Тейлор қаторига ёйиш натижасида пайдо бўлган чизикли тенгламалар билан алмаштирамиз. Масалан, биринчи чизикли тенглама қуйдаги кўринишда бўлади.

$$\begin{aligned} &w_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}) + \frac{\partial w_1}{\partial x_1}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})(x_1 - x_1^{(0)}) + \\ &+ \frac{\partial w_1}{\partial x_2}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})(x_2 - x_2^{(0)}) + \frac{\partial w_1}{\partial x_3}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)})(x_3 - x_3^{(0)}) = 0. \end{aligned} \quad (7.19) \square$$

Якоби матрицасининг яъни W_k функция системасининг X_k номаълумлар бўйича матрицасини қуйдаги кўринишда ёзамиз:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial w_1}{\partial x_1} \frac{\partial w_1}{\partial x_2} \frac{\partial w_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial w_2}{\partial x_1} \frac{\partial w_2}{\partial x_2} \frac{\partial w_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial w_3}{\partial x_1} \frac{\partial w_3}{\partial x_2} \frac{\partial w_3}{\partial x_3} \end{bmatrix}. \quad (7.20)$$

У ҳолда пайдо бўлган чизикли тенгламалар системасини матрица кўринишда қуйдагича ёзиш мумкин:

$$W(x^{(0)}) + \square (x - x^{(0)}) = 0. \quad (7.21)$$

Бу система $\square x_k^{(1)} = x_k^{(1)} - x_k^{(0)}$ га нисбатан чизикли. Фараз қилайлик Якоби матрицасининг аниқловчиси нолга тенг эмас.

(7.21) чизикли тенгламалар системасини $\square^{(1)}$ га нисбатан ечамиз ва сўнгра номаълумларнинг биринчи яқинлашишдаги қийматларини топамиз:

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \square x^{(1)} \quad (7.22)$$

Шундай қилиб итерация жараёнининг ҳар бир қадами

$$\square (x^{(i)}) \square x^{(i+1)} = -w(x^{(i)}) \quad (7.23)$$

чизикли тенгламалар системасини ечиш ва номаълумларнинг янги яқинлашишдаги қийматларини

$$x^{(i+1)} = x^{(i)} + \square x^{(i+1)} \quad (7.24)$$

ифода бўйича аниқлашдан иборат.

Яқинлашишни текшириш қуйдаги шарт бўйича амалга оширилади:

$$\square \quad (7.25)$$

Қувватлар баланси кўринишдаги тугун тенгламаларини ечиш. k -чи тугун учун қувватлар баланси кўринишдаги тугун кучланишлари тенгламасини қуйдагича ёзамиз:

$$\dot{w}_{sk}(\dot{U}) = \hat{S}_k + Y_{kk} \dot{U}_k \hat{U}_k - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n+1} Y_{kj} \dot{U}_j \hat{U}_k, \quad (7.26)$$

Бу ифодада $\dot{w}_{sk}(U)$ функцияси k -чи тугунда қувват балансмаслигига мос келади. Ҳисоблашни ҳақиқий сонлар устида амаллар бажариш орқали олиб бориш учун (7.26) ни ҳақиқий ва мавҳум қисмларга ажратамиз:

$$w_{sk}(\dot{U}) = w_{pk}(U', U'') + jw_{qk}(U', U'').$$

Бу ерда w_{pk} , w_{qk} - мос равишда k тугундаги актив ва реактив қувват балансмасликлари U', U'' - кучланишларнинг ҳақиқий ва мавҳум ташкил этувчиларининг вектор-устунлари.

Тугун кучланишлари тенгламаларини ечишда номаълум сифатида тугунлардаги кучланишларнинг модули ва фазаси $U, \square$; ҳақиқий ва мавҳум қисмлари U', U'' лар фойдаланилиши мумкин.

Номаълумлар сифатида $U, \square$ қабул қилинганда k -чи тугун учун қувватлар баланси кўринишидаги (7.26) дан келиб чиқувчи тенгламалар қуйидагича:

$$w_{pk} = P_k + g_{kk} U^2 - U_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n+1} U_j (g_{kj} \cos \delta_{kj} + b_{kj} \sin \delta_{kj}); \quad (7.27)$$

$$w_{qk} = Q_k - b_{kk} U^2 - U_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n+1} U_j (g_{kj} \sin \delta_{kj} + b_{kj} \cos \delta_{kj}). \quad (7.28)$$

Бу ерда $\delta_{kj} = \delta_k - \delta_j; k = 1, 2, \dots, n$.

Бу ҳолатда

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial w_p}{\partial U} & \frac{\partial w_p}{\partial \delta} \\ \frac{\partial w_q}{\partial U} & \frac{\partial w_q}{\partial \delta} \end{bmatrix}, \quad (7.29)$$

яъни Якоби матрицаси элементлари - бу актив ва реактив қувват балансмасликларининг тугун кучланишлари модул ва фазалари бўйича хусусий ҳосилаларидир.

Токлар баланси кўринишидаги тугун кучланишлари тенгламаларини Ньютон усули ёрдамида ечиш юқоридаги каби амалга оширилади.

Ньютон усули турғун ҳолатларни ЭХМда ҳисоблашда кенг қўлланилади.

Турғун ҳолат тенгламалар системасининг Якоби матрицаси Y матрицаси каби заиф тўлган ва бу хусусият ЭХМда ҳисоблашда эътиборга олинади. ЭХМда турғун ҳолатларни ҳисоблашда Ньютон усулининг муҳим афзаллиги – тез, яъни квадратик яқинлашиш ва Якоби матрицасининг заиф тўлганлигидир.

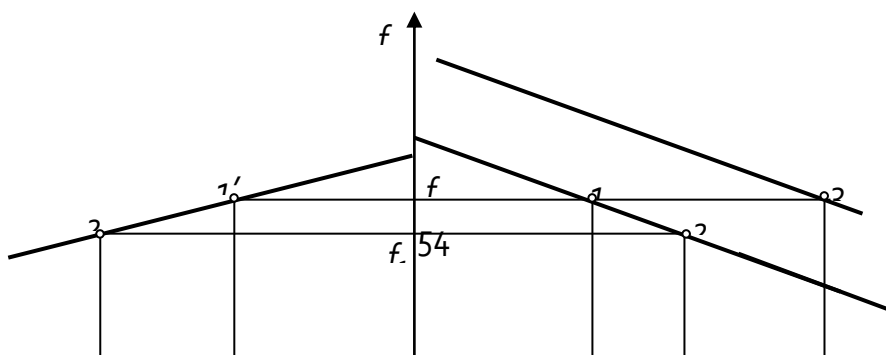
Шундай қилиб Ньютон усули бошқа усулларга нисбатан тез ва ишончли яқинлашади.

Амалда ҳисоблашда тезлик ва ишончлиликни ошириш учун Ньютон усулининг турли модификацияларидан ҳам фойдаланилади.

Синов саволлари

1. Қандай ҳолларда тугун кучланишлари тенгламалари эгри чизикли кўринишда бўлади?
2. Токлар баланси кўринишидаги эгри чизикли тугун тенгламалари қандай ҳосил қилинади?
3. Қувватлар баланси кўринишидаги тугун кучланишлари тенгламалари қандай ҳосил қилинади?
4. Токлар баланси кўринишидаги эгри чизикли тугун кучланишлари тенгламалари оддий итерация усулида қандай ечилади?
5. Токлар баланси кўринишидаги эгри чизикли тугун кучланишлари тенгламалари Зейдел усулида қандай ечилади?
6. Оддий итерация ва Зейдел усуллари афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?
7. Токлар баланси кўринишидаги эгри чизикли тугун кучланишлари тенгламалари Ньютон усулида қандай ечилади?
8. Қувватлар баланси кўринишидаги тугун кучланишлари тенгламалари Ньютон усулида қандай ечилади?
9. Ньютон усулининг геометрик маъноси нимадан иборат?
10. Ньютон усулининг афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?

8:



8.2- δὰñì. Ýíâðãîñèñòàìààà частотани битта стаанция ёрдамида ðîñòèàø.

Óìííéé ðèèàìà кееìàòèéì ΔD_u ìèķāîðäà ìøèðñàê, ñèñòàìàààà частота f_1 кееìàòèèäà÷à ìàññàÿäè. Қóàààòèèä ãàèàíñè қóèèääè÷à áýèàäè:

$$D_{\tilde{n}_2} + D_2 = \Sigma D_u + \Delta D_u \quad (8.5)$$

Ñèñòàìàààà частота ìàññàèäàìàà уни èèèèèèàì÷è ðîñòèèääè÷èäð (, èè ðèçìàò÷è òíàèèèäð) òóðäèèäàà èäèóà÷è áóò , èè ñóâèèíà ìèķāîðèéì ìøèðäàè. Áó ÿñà 12 òààññèòèèíà ìàðàèèäè ðèèæèèèäà ìñ èäèäàè àà 3 íóқòààà ìíèèèàè частота ÿðìàòèèèäè (8.2-расм). Ñèñòàìààààè ðàìà ðèèàìà ÿçààðèèèäè ðîñòèèäè÷è ñòàìèèè÷è çèìàññèäà òóøàäè:

$$D_3 = D_1 + \Delta D_u ;$$

$$D_{\tilde{n}_1} + D_3 = \Sigma D_u + \Delta D_u ; \quad (8.6)$$

Синов саволлари

1. Электр системасида актив қувват баланси қандай аниқланади?
2. Актив қувват билансининг бузилиш қандай оқибатларга олиб келиши мумкин?
3. Актив қувват қаерда ишлаб чиқарилади ва қаерда сарф бўлади?
4. Электр системасида актив қувват ва частота ўзаро қандай боғланган?
5. Электр системасида ишлаб чиқарилувчи актив қувват қандай ростланади?
6. Юкламанинг частота бўйича статик характеристикаси нима?
7. Юкламанинг ўзгариши системадаги частотага қандай таъсир кўрсатади?
8. Турбинани тезлик ростлагичининг ишлаш принципини тушунтиринг.
9. Электр системасида частотани ростлаш қандай таъминланади?
10. Электр системаси актив қувват резерви қандай таъминланади? Резерв нима учун талаб этилади?

9 – маъруза

Маъруза режаси

1. Электр системасида реактив қувват баланси ва унинг кучланиш билан боғлиқлиги.
2. Юкламанинг ростлаш эффекти.
3. Реактив қувват истеъмолчилари.
4. Тармоқни лойиҳалаштиришда реактив қувват балансини таъминлаш.

Таянч сўзлар: Кучланишнинг оғиши; кучланишнинг тебраниши; реактив қувватни компенсациялаш; ростлаш эффекти; компенсатор.

(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

9.1. Ðààèòèâ ðóââàò ààèàíñè àà óíéíâ èó÷èàíèø билан áíëèèêëèèè

Ἀὰκὸρίεῖᾱ Ἐὰδ̣ ἀεῑ ἱῖᾱῖὸεᾶᾶ ἔῑεᾶᾶ ÷ἐκὰδ̣εᾶᾶ,ὀᾶᾱῖ ᾶᾶ ἔῑὸᾶῖῖῖε κῆεᾶῖᾶ,ὀᾶᾱῖ ὕᾶᾶεὸῑῖῖᾱῖδ̣ᾶᾶἔῖῖῖῖᾶ ὀᾶῖᾶῖῖῖᾶῖ ὀᾶκὰὸᾶῖᾶ ᾶῖὸᾶ κὸᾶᾶᾶὸῖῖᾶ ὕᾶῖῖ, ᾶᾶῖῖ ὀᾶᾶῖὸᾶ κὸᾶᾶᾶὸῖῖᾶ Ἐὰ ἔῑεᾶᾶ ÷ἐκὰδ̣εᾶᾶ,ὀᾶᾱῖ ᾶᾶ ἔῑὸᾶῖῖῖε κῆεᾶῖᾶ,ὀᾶᾱῖ κῆῖᾶὸᾶᾶδ̣εῖῖᾶ ὀᾶῖᾶῖῖῖᾶῖῖ ᾶῖῖᾶῖδ̣ᾶᾶῖ. Ἀὸ ὀᾶδ̣ὸῖῖ κὸῖῖᾶᾶᾶῖ÷ᾶ,ç῔ ἰὸῖῖῖῖ:

$$\Sigma \mathcal{D}_{\tilde{a}} = \Sigma \mathcal{D}_{\tilde{e}} = \Sigma \mathcal{D}_p = \Sigma \Delta \mathcal{D} ; \quad (9.1)$$

$$\Sigma Q_{\tilde{a}} = \Sigma Q_{\tilde{e}} = \Sigma Q_p = \Sigma \Delta Q. \quad (9.2)$$

Áó ððàà $\mathcal{D}_{\bar{a}}$ àà $\mathcal{Q}_{\bar{a}}$ - ñòàìòèÿìéíā ŷç ŷòè,æèððéìè ðèñíáāā ìèìāāíāāāè èøèàà
 ÷èκàððèèà,òāāì àèòèà àà ðāàèòèà κóāāàò; $\mathcal{P}_e$ àà $\mathcal{Q}_e$ - èñòāúíìè κèèèìà,òāāì òìóìèè àèòèà àà
 ðāàèòèà κóāāàòèàð; $\mathcal{D}_p$ àà $\mathcal{Q}_p$ - àèòèà àà ðāàèòèà ðèèàìàèàð; $\mathcal{AD}$ àà $\mathcal{AQ}$ - òàðìíκèàððāāāè
 òìóìèè àèòèà àà ðāàèòèà κóāāàò èñðìòèàðè.

(9.1) àà (9.2) òáíāēàlàēàð àēòēà àà ðāāēòēà kóāāàòēàð àāēàíñē òáíāēàlàñē āāēēēāāē. Áóóóí ñēñòàlà áýēē÷à ðāāēòēà kóāāàò àāēàíñēga éó÷ēàíēø áíēēēk. Ýēāēòð òàðííē òòāóíēàðēāāē éó÷ēàíēøēàð ýðòà÷à kēēlàòāàí làúēóí āàðāæāāà òàðk kēēāāē. Áó òàðk òàðííkíēíā òóçēēēøēāā, þēēàlàēàðāā àà áíøkà éó÷ēàíēø òóøēøēāā ñāāāā áýēāāēāí òāēòíðēàðāā áíēēēk. Áóóóí ñēñòàlà ó÷óí ðāāēòēà kóāāàò àāēàíñē ðāāēòēà kóāāàò làíàáúēàðēíēíā kóāāàòēāā kýēēēāāēāí òāēāáíē āāēēēàlàēēē. Çàðóð áýēāāí ðāāēòēà kóāāàòíē áóóóí ñēñòàlà ó÷óí ,ēē óíēíā ēñòāēāāí àēíēēā kēñíē ó÷óí íēēø èìēíēýòē áíðēēāíē ðēñíāāā íēēø ēāðāē.

[illegible]

Àèòèâ krátââò ðòèøíàéàèääí ýíððãíñèñòàíàèàðää íâàòää éó÷èàíèø ìíèíàè êèéíàðèääí èàí áýèààè. Àèòèâ krátââò áàèàíñè áàæàðèèèèèè ó÷óí ðòèøíà,òääí àèòèâ krátââò ïðòèκ÷à àèòèâ krátââòää ýää áýèääí κýøíè ýíððãíñèñòàíàääí ïèèíààè.

İääòää àèèâ kóáàò àðèøìàéäëäí ýíãðĩñēñòàìèàðää ðääèèâ kóáàò 𐌆𐌇
 àðèøìàéä. Ēāēī, àðèìa_ōāī ðāàèèâ kóáàòìè ķŷōīé ýíãðĩñēñòàìääī īēlāñāī, øó
 ñēñòàìàīēīā ŷçēā ŷðìàðèēāī ēīīĩāñāòèyēīā÷ è kððēīàèàðää èøēā ÷èkàðèø
 фойдалиđĩkāèð.

9.2. Pêëàìàíèíã ðĩñòëàø ýôôãêèè

g.1- ðañĩàà þèèàìàèàðìéĩ éó÷-èàìèø áýéè÷-à ñòàòèè òàðàèòàðèñ- òèèàèàðè èýðñàòèèèãáí. g.2- ðañĩàà èãèòèðèèèãáí ìãàèé ýèãèòð ñèñòàìàñè Ìèàòèéíĩ ÿçãàðèèè þèèàìãã ñàíããè òàúñèð ñèèèèèèè èýðèá ÷-èñàìèç. Ôàðç ñèèàéèèè, àààðèý ,èè áíøñ ñãàããèàðã èýðà èèèè ìòèðèããè U₂ - éó÷-èàìèø ìãñàéèè. Юклама ўзининг рoстлаш

Αόíääí ΣQ_ñ≈ΣQ_ε εääëää ÷εκääë.

110-150 εÄ éó÷εαίεøëë ¶ääí ëëíëÿëàðë ó÷óí áó ääÿðëë κàóúëë òáíëëëëëð. Аондай ¶íëää ëëíëÿ áÿëëää íàóóðäë κóääàò óçàòëëëääë.

ε òà íàðäëëääë èøëíä÷ë òðàíñòíðíàòíðëàðää ðääëòëä κóääàò èñðíðë: $\Delta Q_0 = k S_{HII} \frac{u_K \%}{100}$.

Αό òàòíëíàí κóëëäääëëää òáíä:

$\Delta Q_0 \approx 0,1 \epsilon S_{HII} = 0,1 S_{H_i}$ áó äðää $S_\epsilon = k S_{HII}$.

m òà òðàíñòíðíàòíðëÿ ï¶ííáñëää ÿää áÿëëääí òàðíκëàðää òðàíñòíðíàòíðëàðäги ðääëòëä κóääàò èñðíðë òàòíëíàí κóëëäääëëää òáíä:

$\Delta Q_0 \Sigma = 0,1 m S_\epsilon$.

¶àð κàíääë ÿëäëòð òàðí¶íëíë ëíëë¶äëàøòëðääíää òÿëà κóääàò àäëàíñë ñàκëàíëøë éäðäë (ííënáë ¶íëàò ñàκëàíëøë øàðòë áëëàí). Αόíää áóóóí ñëñòàíà ó÷óí, øóíëíäääë, çàðóð ðääëòëä κóääàò ðçàðäëëää ÿää áÿëëääí ¶àð áëð òóãóí ó÷óí ¶àí ðääëòëä κóääàò àäëàíñë òàúíëíëíëøë шарт.

Ðääëòëä κóääàò àäëàíñëíë òàðíκíëíä ¶àð áëð (òóñóñëë) ¶íëàòë ó÷óí àëí¶ëää éÿðëä ÷εκëëëääë. Αóëàð κóëëäääë ¶íëàòëàðäëð:

à) ëíä éàòòà ðääëòëä ðëëàíà ¶íëàòë (ðääëòëä κóääàòíë ÿíä éÿí èñòàúííë κëëääëëääí àà ëíííáíñàòëÿëä÷ë κóðëëíäëàð κóääàòëíëíä ÿíä éÿí çàðóðàòë áÿëëääí ¶íëàò);

á) ÿíä éàí ðääëòëä κóääàòëë äáíäðàòíðëàðíë ÿíä éÿí àëòëä κóääàò áëëàí ðëëàíòëðø íàòëæàñëää áÿëëääëääí ¶íëàò - ÿíä éàòòà àëòëä ðëëàíà ¶íëàòë;

ä) äáíäðàòíðëàðíëíä áëð κëñíë ÿ÷ëðëëëøë íàòëæàñëää ðääëòëä κóääàò èøëää ÷εκàðëø ëíëíëÿòë áÿëíàñëëëë ñàääáëë ðç äáðääëëääí ¶íëàò - ÿíä éàí àëòëä ðëëàíà ¶íëàòë;

ä) òàðíκ áÿëë÷ä ðääëòëä κóääàò óçàòëëëøëíëíä ÿíä éÿí ÷äëëàíëøëää ñàääá áÿëëääëääí òóçàòëø àà àààðëÿääí éäëëíëë ¶íëàò.

Синов саволлари

1. Электр тармоқда ва системасида реактив қувват баланси дейилганда нима тушунилади?
2. Реактив қувват баланси қандай қурилмалар ёрдамида таъминланади?
3. Юкламининг ростлаш эффекти нима?
4. Реактив қувват балансининг бузилиши қандай оқибатларга олиб келиши мумкин?
5. Нима сабабдан электр тармоқда реактив қувват баланси таъминлаб турилади?
6. Электр тармоқда кучланиш исрофи ундаги реактив қувват миқдorigа қандай боғлиқ?
7. Электр истеъмолчиси учун критик кучланиш нима? Агар унда кучланиш критик кучланишдан кичик бўлиб қолса қандай ҳодиса юз беради?
8. Реактив қувват истеъмолчиларига нималар киради?
9. Сарф қилинувчи реактив қувватнинг тахминан қандай қисми электр тармоқларидаги исрофлар улушига тўғри келади?
10. Электр тармоқларда реактив қувват исрофини қандай йўллар билан камайтириш мумкин?

Ààòàðäÿñè àèííèàà éííàáíñàòíðèàðäàí ééííèèààè. Óèàð òàðàèèàè ,èè èàòíà-èàò óèàíèøè íóíèèí. Éííàáíñàòíðèàð 0,22÷10,5 ÈB éò÷èàíèøàà ìÿæàèèàíèá, áèð òàçàèè ,èè ò÷ òàçàèè ìèèèà èøèàà ÷èìàðèèààè.Éííàáíñàòíðèàðíéíā óíóíèè ñóáààòè 10÷125 èààð áÿèààè.

Батареяда кїіааїпàòĩðèàð êàòìà-êàò òèàíàáда уèàðнинг ñĩè куйидагича àìкèàнади:

[illegible]

Батареяда конденсаторлар параллел уланганда параллел шахобчаларнинг сони конденсаторларда ўтакучланиш юз бермаслиги шarti билан аниқланади. Яъни параллел шахобчалар сони шунча бўлиши керакки, бунда ҳар бир шахобча орқали оқувчи ток конденсаторнинг номинал токидан ошмасин. Бунда тармоқнинг токи параллел шахобчалар орқали бўлиниб оқиб ўтишини назарда тутиш лозим.

$$Q_{\tilde{n}} = 3 U_{\hat{o}}^2 \omega \tilde{N}.$$

$$Q_{\tilde{n}} = 3U^2 \omega \tilde{N} = 9U_{\hat{o}}^2 \omega \tilde{N}_i;$$

Синов саволлари

7. Реакторларнинг компенсатор сифатида афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?
8. Синхрон компенсатор нима учун хизмат қилади? Улар қандай ҳолатларда ишлаши мумкин?
9. Синхрон компенсатор қандай қисмлардан иборат?
10. Синхрон компенсаторнинг афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?
11. Реактив қувватнинг статик манъбалари нима учун хизмат қилади?
12. Реактив қувватнинг статик манъбалари қандай қисмлардан иборат?
13. Реактив қувватнинг статик манъбаларининг афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?

11 – маъруза

Маруза режаси

1. Кучланишни стабиллаш, бир пағонали ва кўп пағонали ростлаш.
- 2.. Кучланишни маҳаллий ва марказлашган ростлаш.
3. Кучланишни қарама-қарши ростлаш.
4. Кучланишни электр станцияларида ростлаш.

Таянч иборалар: Кучланишнинг пасайиши; кучланишнинг исрофи; кучланишнинг оғиши; частотанинг оғиши; кучланиш диапазонининг ўзгариши; кетма-кетлик коэффициенти; носимметриклик коэффициенти; технологик зарар; кучланишни ростлаш; кучланишни стабиллаш; кучланишни пағонали ростлаш; қўзғатиш токи; қўзғатишсиз алмаштаб улаш; юклама остида ростлаш; қаршилиқни компенсациялаш; реактив қувватни компенсациялаш.

(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

12.1. Кучланишни ростлаш усуллари

Электр тармоқнинг кучланиши доимо юклама, таъминлаш манъбасининг иш ҳолатлари, занжирнинг қаршилигини ўзгариши билан ўзгариб туради. Кучланишнинг оғиши ҳар доим ҳам рухсат этилган қийматлар интервалида жойлашавермайди. Бунинг сабаби бўлиб қуйидагилар ҳисобланади: а) тармоқ элементлари орқали оқаётган юклама токлари ҳосил қилувчи кучланиш исрофи; б) ток ўтказувчи элементлар кўндаланг кесимлари ва куч трансформаторлари қувватларини нотўғри танлаш; в) тармоқ схемасининг нотўғри тузилиши.

Кучланиш оғишини назорат қилиш уч йўл билан амалга оширилади: 1) кучланиш даражаси бўйича кучланиш оғишларини уларнинг рухсат этилган қийматлари билан солиштириш асосида амалга оширилади; 2) электр системасидаги жойи бўйича – электр тармоқнинг маълум нуқталарида, масалан, ЭУЛнинг бошланиши ёки охирида, туман нимстанциясида, амалга оширилади; 3) кучланиш оғиши мавжуд бўлишининг давомийлиги бўйича амалга оширилади.

Кучланишни ростлаш деб электр системасининг характерли нуқталарида кучланиш даражасини махсус техник воситалар ёрдамида ўзгартириш жараёнига айтилади. Аввалдан кучланиш ва реактив қувватни ростлаш усуллари ва йўллари энергетика системаларини бошқаришнинг қуйи иерархик даражаларидан юқориси томон келиб чиққан. Жумладан, бошланишда кучланишни ростлаш тақсимловчи

тармоқларнинг таъминлаш марказларида – иш ҳолати ўзгарганда исътемолчилардаги кучланиш трансформациялаш коэффициентини ўзгартириш орқали тутиб туриладиган туман нимстанцияларида амалга оширилган.

Кучланишни ростлашнинг бу усуллари ҳозирги давргача ҳам сақланиб қолиб, улар автоматлаштирилган диспетчерлик бошқаруви системалари (АДБС)нинг қуйи иерархик даражаларида қўлланилади. АДБСнинг юқори даражалари нуктаи назаридан булар ростлашнинг локал усуллари дидир. Юқори даража АДБС локал ростлаш системалари ва бутун энергетика системасининг ҳолатини оптималлаш ишларини координациялайди.

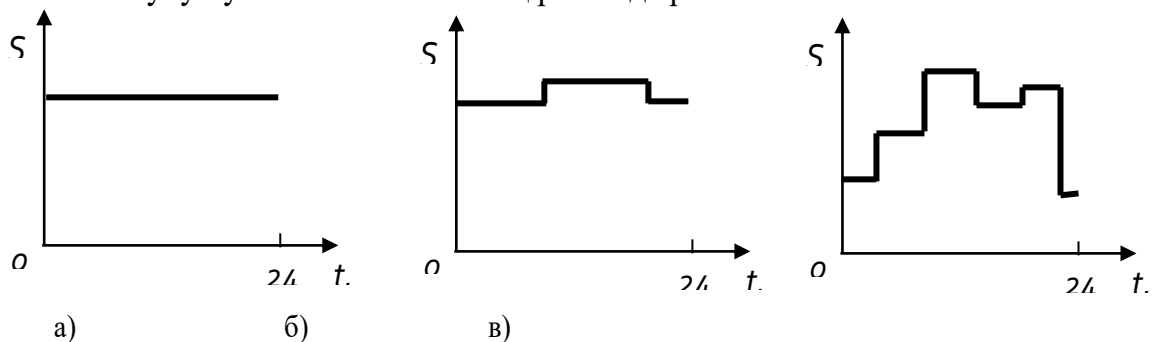
Кучланишни локал ростлашни таъминлаш марказида (ТМ) амалга ошириладиган *марказланган* ва бевосита исътемолчиларда амалга оширидиган *маҳаллий* усулларга бўлиш мумкин.

Кучланишни маҳаллий ростлашни гуруҳли ва индивидуалга усулларга бўлиш мумкин. Гуруҳли ростлаш исътемолчилар гуруҳи учун, индивидуал ростлаш асосан махсус мақсадларда амалга оширилади.

Юқорида кўрсатилган кучланишни ростлаш типларини юкламани ўзгариши характерига боғлиқ равишда бир нечта нимтипларга ажратиш мумкин. Масалан, кучланишни марказлашган ростлашда учта нимтипни ажратиш мумкин. Булар, кучланишни стабиллаш; кучланишни иккинчи даражали ростлаш ва кучланишни қарама-қарши ростлашдир.

Кучланишни *стабиллаш* амалда юкламаси ўзгармайдиган исътемолчилар учун, масалан, кучланиш даражаси бир хилда тутиб турилиши лозим бўлган уч сменли корхоналар учун қўлланилади. Бундай исътемолчиларнинг суткалик юклама графиги 12.1,а- расмда келтирилган.

Аён ифодаланган икки даражали юклама графигига эга бўлган исътемолчилар, масалан, бир сменли корхоналар, учун *икки даражали ростлаш* қўлланилади (12.1,б-расм). Бунда сутка давомида юклама графигига мос равишда кучланишнинг икки даражаси тутиб турилади. Юклама сутка давомида ўзгарувчан бўлган ҳолларда *қарама-қарши ростлаш* амалга оширилади (12.1,в-расм). Юкламанинг ҳар бир қиймати мос кучланиш ва кучланиш исрофи қийматларига эга бўлади. Шу сабабли юклама ўзгариши билан кучланиш ҳам ўзгаради. Бунда кучланишнинг оғиши рухсат этилганидан ортиб кетмаслиги учун уни юкламага боғлиқ равишда ростлаш лозим.



12.1-расм. Юклама графиклари. а- ўзгармас; б – икки даражали; в – куп даражали.

Юклама нафақат сутка давомида, балки йил давомида ҳам ўзгаради. Масалан, йил давомида энг катта юклама кузги-қишки мавсум даврида, энг кичик юклама эса ёзги даврда бўлади. Қарама-қарши ростлаш кучланишни нафақат юкламанинг сутка

давомида ўзгариши бўйича, балки сезон давомида ҳам ўзгариши бўйича ростлашдан иборатдир. У электр станциялари ва нимстанциялари шиналаридаги кучланиш даражасини энг катта юклама даврида оширилган ҳолатда, энг кичик юклама даврида эса камайтирилган ҳолатда тутиб туришни назарда тутди.

12.2. Кучланишни қарама-қарши ростлаш

Кучланишни қарама-қарши ростлаш билан тўлароқ танишиш учун трансформаторнинг иккита элемент - трансформатор қаршилиги ва идеал трансформатор кўринишида тасвирланган алмаштириш схемасидан фойдаланамиз (12.2-расм). 12.2-расмда Қуйидаги белгиланишлар қабул қилинган: U_1 - таъминлаш маркази шинасидаги кучланиш; $U_{2ю}$ - туман нимстанциясининг бирламчи шинасидаги (ЮК)даги кучланиш;

$U_{2к}$ - туман нимстанцияси иккиламчи кучланиш шинаси (ҚК)даги кучланиш; U_3 - исьтеомолчилардаги кучланиш.

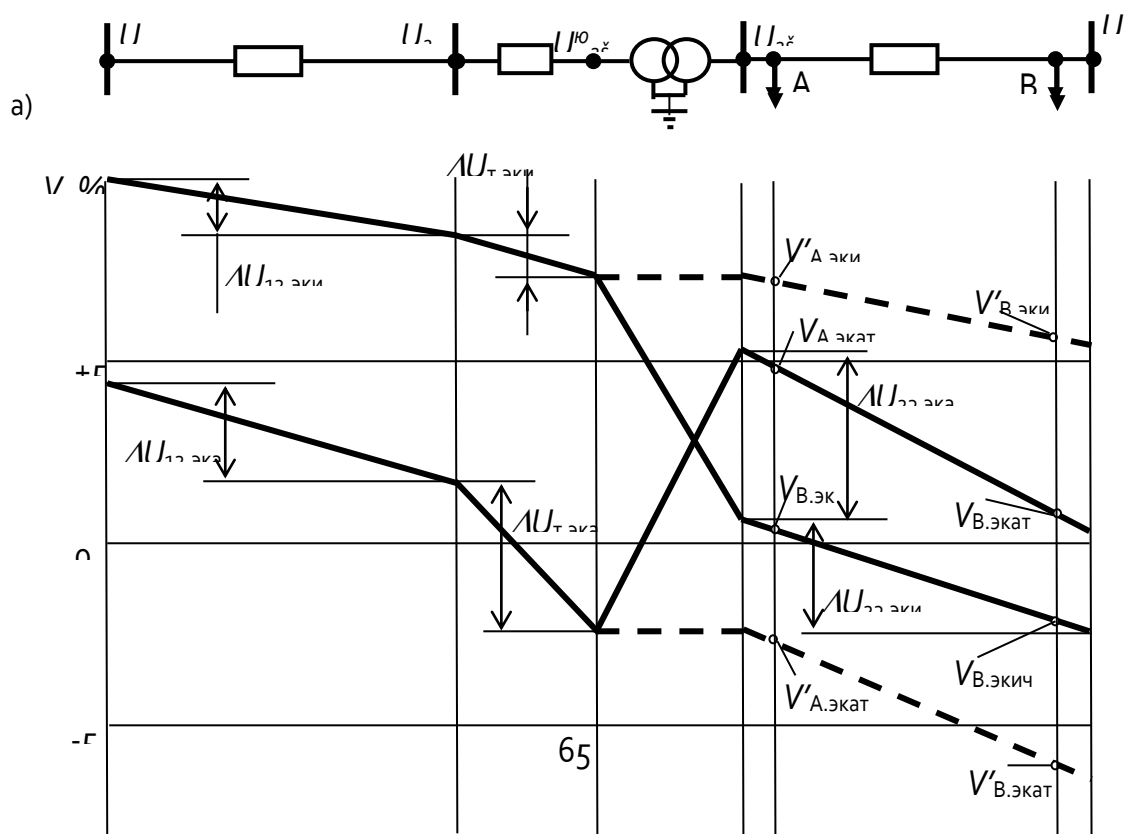
Туман нимстанцияси ЮК шинасидаги кучланиш

$$U_{2ю} = U_1 - \Delta U_{12}$$

ЮК ва ҚК шиналаридаги кучланишлар трансформатордаги кучланиш исрофи ΔU_m га фарқ қилади ва бундан ташқари идеал трансформаторда кучланиш трасформациялаш коэффицентиға мос равишда пасайтирилади. Бу пасайтирилиш трансформаторнинг ростловчи шахобчасини танлашда ҳисобга олиниши лозим.

12.2,б-расмда иккита ҳолат – энг кичик ва энг катта юклама ҳолатлари учун кучланишнинг ўзгариш графиклари тасвирланган. Бунда ордината ўқи бўйича кучланиш оғишининг номинал кучланишга нисбатан фоизлардаги қийматлари жойлаштирилган.

12.2,б-расмдан кўринадики (штрих чизиклар), $n_m = 1$ бўлганда энг кичик юкламалар ҳолатида исьтеомолчилардаги кучланишлар рухсат этилганидан юқори, энг юқори юкламалар ҳолатида эса рухсат этилганидан паст (яъни кучланиш оғишлари рухсат этилганидан катта).



12.2-расм. Кучланишни қарама-қарши ростлаш:

а- алмаштириш схемаси; б- кучланишлар эпюраси.

Бунда ҚК тармоғига уланган қабул қилгичлар (масалан, А ва В нуқталарда) рухсат этилмаган шароитларда ишлайди. $U_{2қ}$ ни туман нимстанцияси трансформаторининг трансформациялаш коэффициентини n_m ни алмаштириш орқали ўзгартирамиз, яъни кучланишни ростлаймиз (12.2,б-расмдаги узлуксиз чизик).

Энг кичик юклама шароитларида $U_{2қ}$ имкони борида U_n га яқин қийматгача камайтирилади. Бу ҳолатда n_m нинг шундай стандарт қиймати танланиши лозимки, бунда қуйидаги шарт бажарилсин:

$$U_{2қ, \text{экич}} \geq U_n \quad (12.1)$$

Энг кичик юкламалар ҳолатида $U_{2қ}$ ни 1,05-1,1 U_n га имкони борида яқинроқ қийматгача орттирилади. Бу ҳолатда n_m нинг шундай стандарт қиймати танланиши лозимки, бунда қуйидаги шарт бажарилсин:

$$U_{2қ, \text{экат}} \geq (1,05 \div 1,1) U_n. \quad (12.2)$$

Шундай қилиб, таъминлаш марказидан узоқдаги В ва унга яқиндаги А нуқталардаги исьтеомолчилардаги кучланишлар рухсат этилган чеграга киритилади. Энг катта ва энг кичик юклама ҳолатидаги бундай ростлашда кучланиш мос равишда оширилади ва пасайтирилади. Шу сабабли бундай ростлашни қарама-қарши ростлаш деб аталади.

12.3. Электр станцияларда кучланишни ростлаш

Генераторлар кучланишларини уларнинг қўзғатиш токини ростлаш орқали ўзгартириш мумкин. Генератор актив қувватини ўзгартирмасдан туриб кучланишни фақат $\pm 0,05 U_{н.э}$ чегарада, яъни $0,95 U_{н.э}$ дан $1,05 U_{н.э}$ гача ўзгартириш мумкин.

$U_{н.э}=6$ кВ бўлганда генераторнинг номинал кучланиши $U_{н.э}=6,3$ кВ ва ростлаш диапазони 6-6,6 кВ бўлади. $U_{н.э}=10$ кВ бўлганда генераторнинг номинал кучланиши $U_{н.э}=10,5$ кВ ва ростлаш диапазони 10-11 кВ бўлади.

Генератор чиқишидаги кучланишнинг номиналдан $\pm 5\%$ дан кўп миқдорга оғиши унинг қувватини камайтиришни талаб этади. Кучланишни ростлашнинг бу диапазони мутлақо етарли эмас. Буни аниқроқ кўриб чиқамиз.

Трансформациялашнинг ҳар бир поғонасида кучланиш исрофи нисбий бирликда

$$\Delta U_{*m} \approx 0,1 S_{*m},$$

бу ерда $S_{*m} = S_m / S_n$ - трансформаторнинг нисбий бирликдаги қуввати.

Уч-тўрт трансформацияда тармоқдаги кучланиш исрофи $(0,3-0,4) S_{*т}$ бўлади. Агар $P_{*экат}=1$ ва $P_{*экич}=0,4$ деб қабул қилсак, унда энг катта ва энг кичик юклама ҳолатларида кучланиш мос равишда қуйидагиларни ташкил этади:

$$\sum \Delta U_{экат} \% \approx 30 \div 40\%, \quad \sum \Delta U_{экич} \% \approx 12 \div 16 \%.$$

Бундан кўринадики, исьтеомолчида кучланишнинг ўзгариш диапазони

$$\sum \Delta U_{экат} \% - \sum \Delta U_{экич} \% \approx 18 \div 24\%.$$

Шу сабабли генераторда кучланишни ростлаш диапазони 10% аниқ етарли эмас.

Электр станцияларининг генераторлари иккита сабабга кўра ростлашнинг фақат ёрдамчи воситасигина ҳисобланади: 1) генераторлар ёрдамида кучланишни ростлаш диапазони етарли эмас. 2) узоқ ва яқин масофада жойлашган истеъмолчиларга кучланишга бўлган талабни мостлаштириш қийин.

Яъғона ростлаш воситаси сифатида генераторлар фақат станция – тарқалмаган юклама кўринишидаги содда система ҳолатида қўлланилади. Бундай ҳолатда саноат корхоналари изоляцияланган шароитда ишловчи электр станцияларининг шиналарида кучланишни қарама-қарши ростлаш амалга оширилади. Генераторлар қўзғатиш токини ўзгартириш орқали максимал юклама соатларида кучланиш оширилади ва минимал юклама соатларида пасайтирилади.

Электр станцияларида ЮК чулғами номинал кучланиши $U_{ю.н} = 110$ кВ бўлган ТДЦ/110 ва ЮК чулғами номинал кучланиши $U_{ю.н} = 220$ кВ бўлган бир қисм ТДЦ/220 оширувчи трансформаторлар, генераторлар сингари, кучланишни ростлашнинг ёрдамчи воситалари саналади. Чунки улар ҳам $\pm 2 \times 2,5\% U_{ю.н}$ кучланишни ростлаш чегарасига эса ва улар ёрдамида узоқ ва яқинда жойлашган истеъмолчиларда кучланиш бўйича талабни мослаштириш мумкин эмас. $U_{ю.н} = 150, 330 - 750$ кВ бўлган ТЦ ва ТДЦ типдаги оширувчи трансформаторлар кучланишни ростлаш қурилмаларисиз ишлаб чиқарилади. Шу сабабли кучланишни ростлашнинг асосий воситаси бўлиб туман нимстанцияларининг трансформатор ва автотрансформаторлари ҳисобланади.

Синов саволлари

1. Кучланишни стабиллаш нима? У қандай ҳолларда қўлланади?
2. Кучланишни пағонали ростлаш нима? У қандай ҳолларда қўлланади?
3. Кучланишни қарама-қарши ростлаш нима? У қандай ҳолларда қўлланади?
4. Кучланишни генераторнинг қўзғатиш токини ўзгартириб ростлаш усулининг маъносини тушунтиринг.
5. Одатда истеъмолчиларда кучланишни ўзгариш диапозони тахминан қандай?
6. Кучланишни марказлашган ростлаш нима? У қандай ҳолларда қўлланилади?
7. Кучланишни маҳаллий ростлаш нима? У қандай ҳолларда қўлланилади?
8. Истеъмолчилардаги кучланиш даражаси тармоқдаги реактив қувват оқимига қандай боғлиқ?
9. Истеъмолчилардаги кучланиш даражаси қандай факторларга боғлиқ?
10. Истеъмолчилардаги кучланиш даражаси тармоқнинг реактив қувватига қандай боғлиқ?
11. Тармоқдаги кучланиш исрофи ва кучланиш пасайишининг ташкил этувчилари ўртасида қандай боғлиқликлар мавжуд?

12 – маъруза

Маруза режаси

1. Кучланишни ҚАУли трансформатор ёрдамида ростлаш.
2. Кучланишни ЮОРли трансформатор ёрдамида ростлаш.
3. ҚАУ ва ЮОР қурилмаларининг схемалари ва ишлаш принциплари.
4. Кучланишни линия ростлагич трансформаторлари ёрдамида ростлаш.

Таянч иборалар: Кучланишни ростлаш; кучланишни стабиллаш; кучланишни пағонали ростлаш; қўзғатиш токи; қўзғатишсиз алмаштаб улаш; юклама остида ростлаш; қаршилиқни компенсациялаш; реактив қувватни компенсациялаш.

(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

13.1. Пасайтирувчи нимстанцияларда кучланишни ростлаш

Пасайтирувчи нимстанциялар трансформаторлари тузилиши бўйича икки турга бўлинади: а) ростловчи шохобчаларни қўзғатишсиз алмашлаб уловчи, яъни тармоқдан узиш орқали (қисқача, “ҚАУли трансформаторлар”); б) ростловчи шохобчаларни юклама остида ростловчи (қисқача, “ЮОРли трансформаторлар”). Одатда, ростловчи шохобчалар трансформаторнинг кичик ишчи ток оқувчи юқори чулғами томонида ясалади. Бунда алмашлаб улаш қурилмасининг иши енгиллашади.

12.2,а-расмда тасвирланган содда схемани кўриб ўтамиз.

Бунда нимстанция ЮК шинасидаги кучланиш электр станцияси генераторлари кучланиши U_1 дан ЭУЛ даги кучланиш исрофи қиймати ΔU_c га, нимстанция ҚК шинасидаги ЮКга келтирилган кучланиш $U_{2k}^{ю}$ эса яна трансформатор қаршилигидаги кучланиш исрофи ΔU_m га фарқ қилади:

$$U_{2ю} = U_1 - \Delta U_c, \quad U_{2k}^{ю} = U_{2ю} - \Delta U_m.$$

Нимстанциялар ҚК шиналаридаги кучланишнинг ҳақиқий қиймати қуйидагича топилади:

$$U_{2k} = \frac{U_{2k}^{ю}}{n_T} = U_{2k}^{ю} \frac{U_{k,n}}{U_{шох}}, \quad (13.1)$$

бу ерда $n_m = U_{шох}/U_{k,n}$ - трансформаторнинг трансформациялаш коэффициентини; $U_{шох}$ - ЮК чулғам ростлаш шохобчасининг кучланиши; $U_{k,n}$ - ҚК чулғамининг номинал кучланиши.

Трансформациялаш коэффициентини ўзгартириб, нимстанциянинг ҚК томонидаги кучланиш U_{2k} ни ўзгартириш мумкин. Нимстанцияларда барча кучланишни ростлаш воситалари айнан шу принципда ишлайди.

Қарама-қарши ростлаш шартлари (12.1) ва (12.2) бўйича

$$V_{экат}^{хox} \% = 5\%; \quad V_{экич}^{хox} \% = 0$$

бу ерда $V_{экат}^{хox} \%$ - энг катта юклама ҳолатида хоҳланган кучланиш оғишининг номинал кучланишга нисбатан фоизи; $V_{экич}^{хox} \%$ - шу сингари энг кичик юклама ҳолати учун.

Буларга мос равишда

$$U_{2к.экат}^{хox} = U_n + V_{экат}^{хox}; \quad U_{2к.экич}^{хox} = U_n + V_{экич}^{хox}.$$

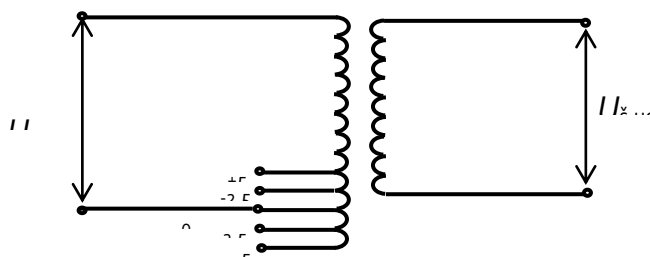
ҚК томонидаги кучланишнинг ҳақиқий қиймати (А.3) ифодадан топилади.

Тармоқни электрик ҳисоблаш натижасида энг катта юклама ҳолатида ҚК томонидаги кучланишнинг ЮК томонига келтирилган қиймати $U_{2к.экат}^{хox}$ энг кичик юклама ҳолатида ҚК томонидаги кучланишнинг ЮК томонига келтирилган қиймати $U_{2к.экич}^{хox}$ топилади. $U_{2к.экат}^{хox}$ ва $U_{2к.экич}^{хox}$ лар бўйича энг катта ва энг кичик юклама ҳолатлари учун трансформатор юқори чулғаида хоҳланувчи ростлаш шохобчаси аниқланади:

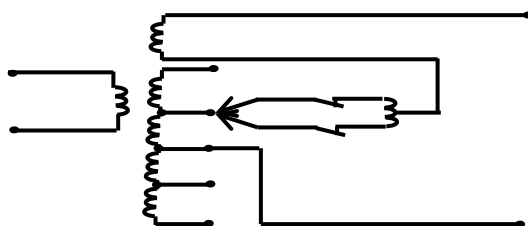
$$U_{\text{шох.экат}} = U_{2к.экат}^{ю} \cdot \frac{U_{к.н}}{U_{2к.экат}^{хох}}; \quad U_{\text{шох.экич}} = U_{2к.экич}^{ю} \cdot \frac{U_{к.н}}{U_{2к.экич}^{хох}} \quad (13.2)$$

(13.2) бўйича аниқланувчи хоҳланувчи шохобчалар (12.1) ва (12.2) шартлари бажарилувчи энг яқин стандарт қийматларга яхлитланади.

Юклама остида ростланмайдиган трансформаторлар (ҚАУли) ҳозирги даврда асосий ва тўртта қўшимча шохобчали қилиб ишлаб чиқарилади. Бундай трансформатор чулғамининг схемаси 13.1-расмда келтирилган. Асосий шохобча кучланиши трансформатор юқори чулғамининг номинал кучланишидир ($U_{ю.н.}$). Пасайтирувчи трансформаторлар учун $U_{ю.н.}$ ушбу трансформатор юқори чулғами уланадиган тармоқнинг номинал кучланиши $U_{т.н}$ га тенгдир. (Масалан, 6, 10, 20, 35 кВ ва ҳ.к). Асосий шохобчада трансформаторнинг трансформациялаш коэффициентини номинал деб юритилади. Тўртта ёрдамчи шохобчалардан фойдаланилганда трансформациялаш коэффициенти номиналдан +5; +2,5; -2,5 ва -5% фарқ қилади. Трансформаторнинг иккиламчи (схемада - қуйи) чулғами унга уланган тармоқнинг таъминлаш маркази ҳисобланади.



13.1-расм. ҚАУли трансформатор чулғамлари схемаси.



13.2-расм. ЮОРли трансформатор чулғамлари схемаси.

Шу сабабли трансформаторларда иккиламчи чулғамнинг номинал кучланиши тармоқнинг номинал кучланишига нисбатан каттадир. Бу фарқ кичик қувватли трансформаторлар учун 5% ва қолганлари учун 10% ни ташкил этади. Фараз қилайлик, асосий шохобчадан фойдаланилганда бирламчи шохобчага тармоқнинг номинал кучланишига тенг кучланиш бермоқда ва салт ишлаш ҳолатида ҚК томонидаги кучланиш $1,05U_{к.т}$. Бунда қўшимча кучланиш 5%. ҚАУли трансформатор шохобчасини ўзгартириб яхлитланган қийматлари қуйидагича бўлган қўшимча кучланишни олиш мумкин:

Бирламчи чулғам шохобчаси, %:	+5	+2,5	0	-2,5	5
Салт ишлаш ҳолатида ҚК					
томонидаги кучланиш ($U_m/U_{н.т}$):	1	1,025	1,05	1,075	1,1
Қўшимча кучланиш, %:	0	2,5	+5	+7,5	+10

ҚАУли трансформаторнинг ростлаш шохобчаларини алмашлаб улаш учун аввало уни тармоқдан ажратиш талаб этилади. Бундай алмашлаб улашлар кам – юкламаларни сезонли ўзгаришида амалга оширилади. Шу сабабли сутка давомидаги энг катта ва энг кичик юклама ҳолатларида (масалан, кундузи ва тунда) ҚАУли трансформатор битта ростловчи шохобча ва шунга мос ягона трансформациялаш коэффициенти билан ишлайди. Бунда кучланишни қарама-қарши ростлаш талабларини амалга ошириш, яъни (12.1) ва (12.2) шартларни бажариш мумкин эмас. Ҳақиқатдан ҳам (13.1) га мувофиқ

$$U_{2к.экат} = U_{2к.экат}^{ю} \cdot \frac{U_{к.н}}{U_{шох}}$$

Одатда $U_{2к.экат} < U_{2к.экич}$ шу сабабли $U_{2к.экат} < U_{2к.экич}$.

Бу қарама-қарши ростлаш талаблари (12.1) ва (12.2) га зид келади. Кучланишни қарама-қарши ростлашни фақат $U_{шох}$ ва трансформациялаш коэффициенти сутка давомида ўзгартириш, яъни энг катта юклама ҳолатидан энг кичик юклама ҳолатига ўтиш орқали амалга оширилади.

Ўрнатилган ЮОР қурилмали кучланишни юклама остида ростловчи трансформаторлар ҚАУли трансформаторлардан алмашлаб уловчи махсус қурилма ва шунингдек шохобчалар сонининг кўплиги, диапазонининг катталиги билан фарқ қилади. Масалан, ЮК чулғамини асосий шохобчаси кучланиши 115 кВ бўлган трансформатор ҳар бири 1,78% дан 18 та ростлаш даражали +16% ростлаш диапазониға эға.

А.4-расмда ЮОРли трансформатор чулғамларининг схемаси тасвирланган. Бу трансформаторнинг ЮК чулғами икки қисмдан – ростланмайдиган *а* ва ростланадиган *б* қисмлардан ташкил топган. Ростланадиган қисмининг 1, 4 қўзғалмас контакларида бир қатор шохобчалар мавжуд. 1, 2 шохобчалар асосий чулғам ўрамлари билан бир хил уланган ўрамлар қисмиға мос келади (токнинг йўналиши 13.2-расмда стрелкалар ёрдамида кўрсатилган). 1, 2 шохобчалар уланганда трансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти ошади. 3, 4 шохобчалар асосий чулғам ўрамларига нисбатан қарама - қарши уланган ўрамлар қисмиға мос келади. Уларнинг уланиши трансформациялаш коэффициентини камайтиради, чунки улар асосий чулғам ўрамлари бир қисмининг таъсирини компенсациялайди. Трансформатор ЮК чулғамининг асосий чиқиш жойи бўлиб 0 нуқта ҳисобланади.

Асосий чулғам ўрамлари билан бир йўналишда ва қарама - қарши таъсир этувчи ўрамлар сони бир хил бўлмаслиги мумкин. Чулғамнинг ростловчи қисмида қўзғалувчи *в* ва *г*, қўзғалмас К1 ва К2 контактлардан ҳамда Р реакторлардан ташкил топган алмашлаб уловчи қурилма мавжуд. Реакторнинг ўртаси трансформатор чулғамининг ростланмайдиган *а* қисми билан туташган. Нормал шароитда ЮК чулғами токи реактор чулғами яримларига тенг бўлинади. Шу сабабли реакторда магнит оқими ва шунингдек кучланиш исрофи камдир.

Фараз қилайлик, қурилмани шохобча 2 дан шохобча 1 га алмашлаб улаш талаб этилади. Бунда контактор К1 узилади. Қўзғалувчан контакт *в* шохобча контакти 1 га ўтказилади ва К1 контакт қайта уланади. Шундай қилиб, чулғамнинг 1, 2 секциялари Р реакторнинг чулғами орқали ёпиқ уланиб қолади. Бу вақтда реакторнинг индуктивлиги чулғамнинг 1, 2 секциясидаги кучланиш таъсирида ҳосил бўлувчи тенглаштирувчи токни чеклайди. Шундан сўнг контактор К2 узилади, қўзғалувчан контакт 2 шохобча контакти 1 га ўтказилади ва К2 контакт қайта уланади.

ЮОР ёрдамида трансформаторнинг шохобчасини ва трансформациялаш коэффициентини сутка давомида юклама остида ўзгартириш орқали қарама-қарши ростлаш талаби (12.1), (12.2) ни бажариш мумкин.

Линия ростлагич трансформаторлари (ЛРТ) ва кетма-кет ростловчи трансформаторлар кучланишни алоҳида ЭУЛда ёки ЭУЛ гуруҳларида ростлаш учун қўлланилади. Шундай қилиб, улар юклама остида ростлайдиган трансформаторлардан фойдаланилган мавжуд тармоқларни қайта қуришда қўлланилади. Бундай ҳолларда нимстанция шинасида кучланишни ростлаш учун ЛРТ ростланмайдиган трансформатор билан кетма-кет уланади. Чиқиб кетувчи ЭУЛларда кучланишни ростлаш учун ЛРТлари бевосита ЭУЛларига кетма-кет уланади.

ЛРТ ёрдамида кучланишни бўйлама, кўндаланг ва бўйлама-кўндаланг ростлаш мумкин.

Синов саволлари

1. Кучланишни трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентларини ўзгартириб ростлаш усули қандай афзалликларга эга?
2. Кучланишни бўйлама ва кўндаланг ростлаш нима билан характерланади?
3. Кучланишни трансформаторнинг трансформациялаш коэффициентини ўзгартириб ростлаш усулининг маъносини тушунтиринг.
4. ҚАУ қурилмасининг принципиал схемасини келтиринг ва ишлаш принципини тушунтиринг.
5. ЮОР қурилмасининг принципиал схемасини келтиринг ва ишлаш принципини тушунтиринг.
6. Қандай ҳолларда ҚАУ ва ЮОР қурилмаларидан фойдаланилади?
7. Кучланишни ҚАУ қурилмаси ёрдамида ростлаш усулининг афзаллик ва камчиликлари.
8. Кучланишни ЮОР қурилмаси ёрдамида ростлаш усулининг афзаллик ва камчиликлари.
9. Икки чулғамли трансформаторнинг иккиламчи куйи томонида талаб этилувчи кучланишни таъминлаш учун лозим бўлган трансформациялаш коэффициенти қандай аниқланади?
10. Кучланишни линия ростлагич трансформаторларида ростлаш усулининг маъносини тушунтиринг.
11. Линия ростлагич трансформаторининг принципиал схемасини келтиринг ва ишлаш принципини тушунтиринг.

13 – маъруза

Маруза режаси

1. Кучланишни тармоқ қаршилигини ўзгартириб ростлаш.
2. Кучланишни ростлаш учун зарур бўлган бўйлама компенсацияловчи қурилма қаршилигини аниқлаш.

Таянч иборалар: Кучланишни ростлаш; кучланишни стабиллаш; кучланишни пағонали ростлаш; қўзғатиш токи; қўзғатишсиз алмаштаб улаш; юклама остида ростлаш; қаршилиқни компенсациялаш; реактив қувватни компенсациялаш.

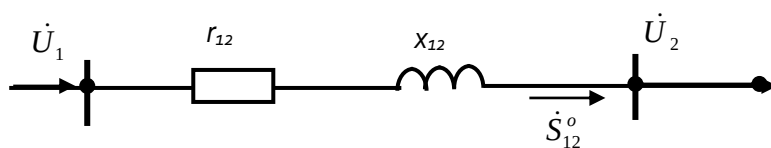
(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

14.1. Кучланишни тармоқ қаршилигини ўзгартириб ростлаш

Истеъмолчидаги кучланиш тармоқдаги кучланиш исрофи қийматига боғлиқдир. Кучланиш исрофи эса ўз навбатида тармоқ қаршилиги боғлиқ. Масалан, 14.1-расмда тасвирланган тармоқдаги кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчиси куйидагичадир:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^{(2)} + Q_{12}^{(2)} X_{12}}{U_2}. \quad (14.1)$$

Бу ерда $P_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}, U_2$ - ЭУЛ охирида қувват оқимлари ва кучланиш; r_{12}, x_{12} - ЭУЛнинг актив ва реактив қаршилиқлари.



14.1-расм. Кучланишни тармоқнинг параметрларини ўзгартириб ростлаш.

Тақсимловчи ва таъминловчи тармоқлар учун актив ва реактив қаршиликларнинг нисбатлари турлича бўлади. Тақсимловчи тармоқларда актив қаршилик реактив қаршиликка нисбатан катта, яъни $r_0 > x_0$ бўлади. (14.1) да суратнинг асосий ташкил этувчиси $P_{12}^{(2)} r_{12}$ бўлиб қолади. Тақсимловчи тармоқларда ЭУЛ ўтказгичининг кўндаланг кесими ўзгарганда r_0 ва унга мос равишда r_{12} , ΔU_{12} ва истеъмолчидаги кучланиш анчагина ўзгаради. Шу сабабли бундай тармоқларда ўтказгичнинг кўндаланг кесими рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича аниқланади.

Таъминловчи электр тармоқларда аксинча $x_0 > r_0$ ва шу сабабли ΔU_{12} асосан ЭУЛ ўтказгичининг кўндаланг кесимида кам даражада боғлиқ бўлган реактив қаршилик билан белгиланади. Таъминловчи электр тармоқларда ЭУЛ ўтказгичини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танлаш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас. Реактив қаршиликни ўзгартириш учун ЭУЛ га конденсаторлар улаш лозим. ЭУЛда конденсаторлар улашдан олдинги кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчиси (14.1) бўйича аниқланади. Фараз қилайлик, ЭУЛнинг охирида кучланиш рухсат этилганидан паст:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} < U_{2\text{рух}}$$

ЭУЛга конденсаторларни шундай улаймизки, бунинг натижасида U_2 рухсат этилган $U_{2\text{рух}}$ гача ошсин.

Бунда юқоридаги ифодани қуйдагича ёзиш мумкин:

$$U_{2\text{рух}} = U_1 - P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} (x_{12} - x_k) / U_{2\text{рух}} \quad (14.2)$$

Бу ерда x_k -конденсаторнинг қаршилиги

Конденсаторларни ЭУЛда кетма-кет улаш бўйлама компенсациялаш деб юритилади. Бўйлама компенсацияловчи қурилма (БҚК) ЭУЛда индуктив қаршилик ва кучланиш исрофини компенсациялаш имконини беради (14.2,а-расм).

Бундай ростлашнинг вектор диаграммаси 14.2,б-расмда тасвирланган. Ундан кўринадики,

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}),$$

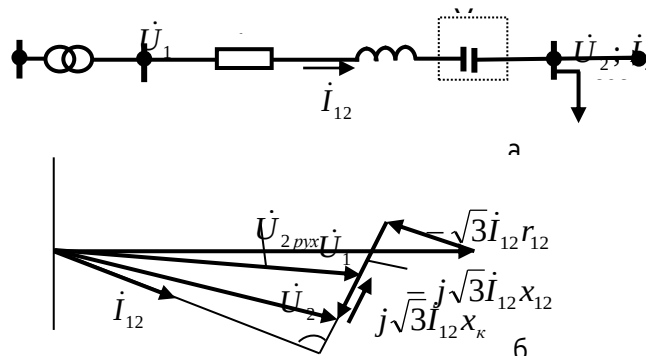
$$U_{2\text{рух}} = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}) - \sqrt{3} I_k (-jx_k)$$

Бу ерда I_{12} -ЭУЛ токи.

$j \sqrt{3} I_{12} x_k$ қийматини манфий кучланиш ёки тармоққа киритилувчи қўшимча э.ю.к сифатида қараш мумкин

U_1 , $U_{2\text{рух}}$, r_{12} , x_{12} , $P_{12}^{(2)}$, $Q_{12}^{(2)}$ ни билган ҳолда (14.2) дан x_k ни топиш ҳамда лозим бўлган кетма-кет ва параллел уланувчи конденсаторларнинг сонини танлаш мумкин. Бунда конденсаторлардан кучланишлар U_k ва улардаги тоқлар I_k тенгдир:

$$U_k = \sqrt{3} I_{12} X_k, \quad I_k = I_{12} = S_{12} / \sqrt{3} U_k.$$



Агар битта конденсаторнинг номинал кучланиш $U_{к.ном} < U_k / \sqrt{3}$, бўлса, у ҳолда бир нечта конденсатор ўрнатилади. Кетма-кет уланувчи конденсаторлар сони қуйдаги ифода бўйича топилади:

$$n = U_k / \sqrt{3} U_{к.ном}$$

Конденсаторнинг паспортида унинг қуввати Q_k кўрсатилади. Бу қийматни билган ҳолда номинал токни аниқлаш мумкин:

$$I_{к.ном} = Q_k / U_{к.ном};$$

Агар $I_{к.ном} < I_k$ бўлса, m та конденсатор параллел ўрнатилади.

Бунда

$$m = I_n / I_{к.ном}.$$

БКҚ сиғим қаршилигини ЭУЛ индуктив қаршилигига нисбатининг фоизлардаги қиймати компенсациялаш фоизи деб аталади:

$$C = \frac{x_k}{x_{12}} \cdot 100.$$

Амалда ЭУЛ реактив қаршилигини қисман компенсациялаш қўлланилади ($C < 100\%$). Юклamani бевосита таъминлайдиган тақсимловчи тармоқларда тўла ёки ортқча компенсациялаш ($C \geq 100$) одатда қўлланилмайди. Бу тармоқда ўта кучланишни вужудга келиш мумкинлиги билан боғлиқ.

БКҚни қўллаш тармоқда кучланиш ҳолатини яхшилаш имконини беради. Бироқ, кучланишнинг ортиши БКҚ орқали ўтувчи ток қиймати ва фазасига боғлиқдир. Шу сабабли БКҚ ёрдамида ростлаш имкониятлари чекланган. БКҚни ўта юкланган радиал ЭУЛларда кучланиш оғишини камайтириш учун қўллаш энг самаралидир.

Таъминловчи тармоқларда БКҚлар фойдаланишда мураккаб ва қимматдир, қисқа туташув даврида уларни ўтакучланишдан ҳимоялаш учун махсус тадбирларни қўллаш лозимдир. БКҚ нафақат кучланишни ростлаш учун, балки ЭУЛнинг ўтказувчанлик қобилиятини ошириш учун ҳам қўлланилади.

14.2. Кучланишни реактив қувват оқимини ўзгартириб ростлаш

Тармоқда кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчиси ΔU_m қуйдаги ифодадан аниқланади (14.3,а-расм):

$$\Delta U_T = \frac{P_{ю} r_T + Q_{ю} x_T}{x_2}.$$

Бу ерда $P_{ю}$, $Q_{ю}$ - кувват оқимлари; r_m , x_m - тармоқнинг актив ва реактив қаршиликлари.

Юқоридаги ифодадан кўринадик, кучланиш пасайиши тармоқдаги актив ва реактив қувват оқимларига боғлиқ. ЭУЛ орқали оқувчи актив қувват истеъмолчи қуввати билан белгиланади. Кучланишни ростлаш учун актив қувватни ўзгартириш мумкин эмас. Таъминловчи тармоқларда реактив қаршилиқ актив қаршиликка нисбатан катта бўлмаганлиги учун қувват оқимларини ўзгартириб ростлашда кучланиш пасайишига $Q_{юx_T}$ кўпайтма ҳал қилувчи таъсир кўрсатади.

Реактив қувват оқимларини компенсациялаш учун компенсацияловчи қурилмалар – конденсатор батареялари (КБ), синхрон компенсаторлар (СК), шунингдек реактив қувватни статик манбалари (РҚСМ) қўлланилади.

Компенсацияловчи қурилма сифатида синхрон компенсаторлардан фойдаланиш 14.3,а-расмда тасвирланган.

Компенсатор ўрнатишдан олдин ЭУЛ охиридаги кучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{ю} r_T + Q_{ю} x_T}{U_2} . \quad (14.3)$$

Фараз қилайлик, U_2 рухсат этилганидан кичик. ЭУЛ охирига СК улангандан сўнг U_2 қуйидагича топилади:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{ю} r_T + (Q_{ю} - Q_{ск}) x_T}{U_2} . \quad (14.4)$$

СКнинг кучланишни рухсат этилган қийматини таъминлайдиган қувватини топамиз. Бунинг учун (14.4) да $U_2 = U_{2рух}$ деб ҳисоблаймиз ва (14.4) дан (14.3)ни айирамиз. Натижада СК қувватини топиш учун ифодага эга бўламиз:

$$Q_{ск} = \frac{(U_{2рух} - U_2)[U_{2рух} U_2 - (P_{ю} r_T + Q_{ю} x_T)]}{U_2 x_T}$$

Агар $1/U_{2рух} \approx 1/U_2$ деб қабул қилсак, у ҳолда бу ифода янада соддалашади:

$$Q_{ск} = \frac{U_{2рух} - U_2}{x_T} \cdot U_{2рух} \quad (14.5)$$

Амалий ҳисоблашларда $Q_{ск}$ (14.5) бўйича топилади.

Синхрон компенсаторлар ўта қўзғалиш ва кам қўзғалиш ҳолатларида ишлайди.

Ўта қўзғалганда улар $Q_{ск}^{у.к} = Q_{ск.ном}$ реактив қувватни ишлаб чиқаради ва кам қўзғалганда $Q_{ск}^{к.к} = 0,5 Q_{ск.ном}$ реактив қувватни истеъмол қилади. Реактив қувватнинг истеъмол қилиниши кучланиш исрофининг ортиши ва истеъмолчидаги кучланишни камайишига олиб келади. 14.3,б-расмда ўта қўзғалган ҳолат учун вектор диаграммалар тасвирланган.

СКни улашгача

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} I_{ю} z_m;$$

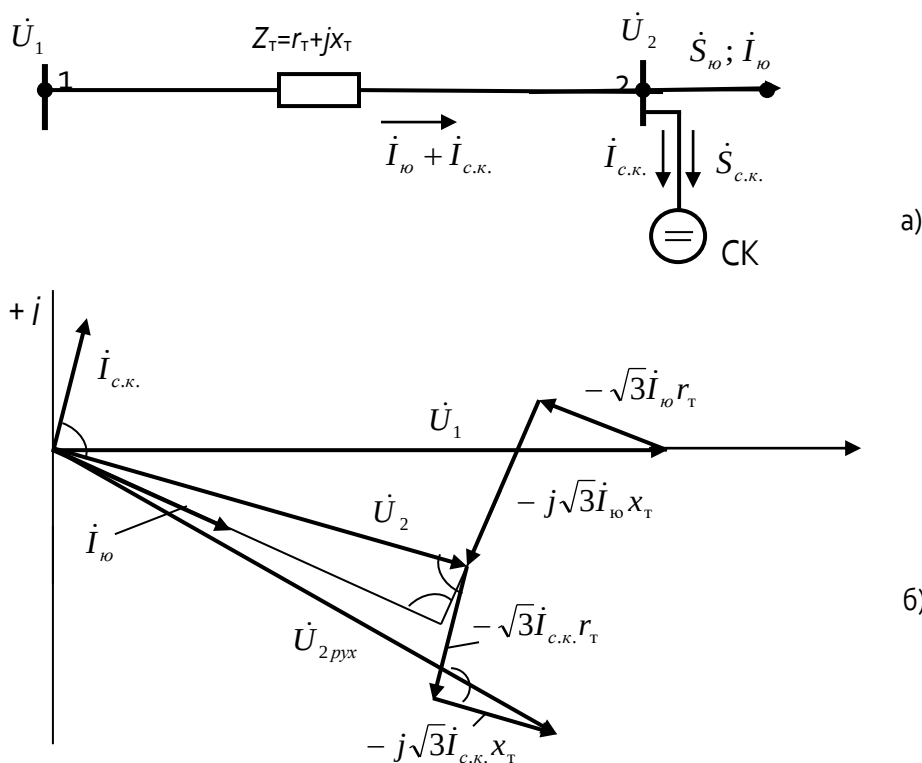
$$U_2 = U_1 - \sqrt{3} I_{ю} r_m - j \sqrt{3} I_{ю} x_m .$$

СКни улагандан сўнг

$$U_{2рух} = U_1 - \sqrt{3} (I_{ю} + I_{ск}) z_m;$$

$$U_{2\text{pyx}} = U_1 - \sqrt{3}I_{\text{ю}}r_m - j\sqrt{3}I_{\text{ю}}x_m - \sqrt{3}I_{\text{СК}}r_m - j\sqrt{3}I_{\text{СК}}x_m.$$

СКнинг ўта қўзғалган ҳолатида тармоқда оқувчи $I_{\text{СК}}$ токи U_2 ни 90° га ортда қолдиради. Вектор диаграммадан кўринадики (14.3,б-расм), бу ҳолатда кучланиш модули U_2 дан $U_{2\text{pyx}}$ гача ортади. Кам қўзғалиш ҳолатида СКнинг токи ва қуввати ўз йўналишини тескари томонга алмаштиради. Тармоқда оқувчи $I_{\text{СК}}$ ток U_2 кучланишдан 90° ортда қолади. Бу ҳолатда кучланиш модули U_2 дан $U_{2\text{pyx}}$ гача камаяди.



14.3-расм. СКнинг иш ҳолатлари:

а - СКнинг ураниши; б - СКнинг ўта қўзғалган ҳолати учун вектор диаграммаси.

Синов саволлари

1. Кучланишни тармоқ қаршилигини ўзгартириб ростлаш усулининг маъносини тушунтиринг.
2. Тармоқнинг реактив қаршилигини ўзгариши ундаги кучланишга қандай таъсир этади?
3. Радиал тармоқнинг охирида талаб этилувчи кучланишни таъминлаш учун унга уланувчи БКҚнинг қаршилиги қандай аниқланади?
4. Электр тармоқда кучланишни реактив қаршиликни компенсациялаб ростлашда ток ва кучланишнинг вектор диаграммаларини қуриб.
5. Кучланишни реактив қувватни ўзгартириб ростлаш усулининг маъносини тушунтиринг.
6. Радиал тармоқнинг охирида талаб этилувчи кучланишни таъминлаш учун унга уланувчи реактив қувват компенсаторининг қуввати қандай аниқланади?
7. Электр тармоқда кучланишни реактив қувватни компенсациялаб ростлашда ток ва кучланишнинг вектор диаграммаларини қуриб.

8. Нима сабабдан радиал тармоққа БКҚ улаш натижасида унинг охиридаги кучланиш ортади?
9. Нима сабабдан реактив қувватни компенсаторда ишлаб чиқариш натижасида радиал тармоқнинг охирида кучланиш ортади?
10. Реактив қувватни компенсациялаш қандай қурилмалар ёрдамида амалга оширилиши мумкин?

14 – маъруза

Маруза режаси

1. Электр тармоқни лойиҳалаштиришда ечилиши лозим бўлган масалалар таркиби.
2. Электр тармоқни лойиҳалаш усуллари
3. Асосий техник иқтисодий курсаткичлар.
4. Автоматик лойиҳалаш системалари.

Таянч иборалар: Лойиҳалаш; тармоқни ривожлантириш; капитал маблағ; қўшимча харажат; тан нарх; ишончлилиқ; оптимал вариант; номинал кучланиш; оптимал кучланиш; кесим юзаси; иқтисодий кесим юзаси; истисодий интервал; рухсат этилган кучланиш исрофи.

(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

Энергетика системаларининг электр тармоқларида техник иқтисодий ҳисоблашлар

15.1. Энергетика системалари ва электр тармоқларини лойиҳалашнинг вазифалари ва усуллари.

Энергетика системаларини лойиҳалашнинг вазифаси уларнинг ривожланишини аниқловчи, истеъмолчиларни талаб этилувчи сифатидаги электр ва иссиқлик энергиялари билан ишончли даражада энг кичик харажатларда таъминловчи ечимларини ишлаб чиқиш ва техник-иқтисодий асослашдан иборатдир.

Энергетика системалари ва электр тармоқларини лойиҳалаш *босқичсиз лойиҳалаш ишларини* бажариш билан бошланади. Бу ишларни бажариш натижасида лойиҳалашнинг иқтисодий самарадорлиги ва мақсадга мувофиқлиги, катта нархли қурилиш, қайта қуриш ва электр тармоқ объектларини кенгайтиришни аниқлаш учун *асословчи материаллар* ишлаб чиқилади.

Электр тармоқлар ривожланишини лойиҳалаш “Энергетика системаси электр тармоғининг ривожланиш схемаси” деб юритилувчи мустақил иш ёки энергетика системаси ривожланиш схемасининг ташкилий қисми сифатида бажарилиши мумкин. Электр тармоқларини лойиҳалаштиришда турли вазифаларни бажарувчи ва турли кучланишлардаги тармоқларни ривожлантириш умумлаштирилади. Лойиҳалашнинг қуйидаги тахминий ташкилий қисмлардан иборат бўлган босқичларида таркиби ва ҳажми бўйича турлича масалалар ечилади:

қўрилаётган энергетика системасининг мавжуд тармоғини таҳлил қилиш;

истеъмолчиларнинг электр юкламаларини аниқлаш ва алоҳида нимсистемалар ва энерготугунлар учун актив қувват балансини тузиш, янги пасайтирувчи нимстанциялар қуришни асослаш;

электр станцияларининг иш ҳолатларини ҳисоблаш (агар қўрилаётган тармоққа электр станцияси уланган бўлса) ва лойиҳалаштирилаётган электр тармоқнинг юкланишини аниқлаш;

электр тармоқнинг турли иш ҳолатларини ҳисоблаш ва тармоқ схемаси тузилишини асослаш;

реактив қувват балансини тузиш ва тармоқда кучланишни ростлаш шартларини аниқлаш, компенсацияловчи қурилмаларнинг типлари, қувватлари ва жойлаштирилиш пунктларини аниқлаш;

лойиҳаланувчи тармоқнинг қисқа туташув (ҚТ) тоқларини ҳисоблаш, коммутацион аппаратларнинг узиш имкониятларига талабларни аниқлаш, ҚТ қувватларини чеклаш бўйича таклифларни ишлаб чиқиш;

сиғим тоқларини компенсациялаш учун қўлланилувчи ёй сўндирувчи реакторларни танлаш ва сонларини, қувватларини ҳамда ўрнатилиш жойларини асослаш (одатда, 35 кВ ва ундан паст тармоқлар учун амалга оширилади);

электр тармоқни белгиланган ҳажмда ривожланишининг келтирилган параметрлари, натурал ва суммавий кўрсаткичлари, ишга туширилиш кетма-кетлигини аниқлаш.

Автоматлаштирилган лойиҳалаш системаларини (АЛС) қўллаш энергетика системалари ва тармоқларини лойиҳалашда муҳим аҳамиятга эга. Электр тармоқни лойиҳалашда асосий аниқланувчи параметрлар – номинал кучланишлар, ЭУЛ ўтказгичларининг кўндаланг кесими, ЭУЛнинг сони, уларнинг узатиш қобилияти, трансформаторларнинг сони ва қуввати дискретдир. Қидирилаётган маълумотларнинг сони жуда кўп ва шу сабабли масалани математик кўринишда тасвирлаш жуда мураккаб. Электр тармоқни лойиҳалашни лойиҳаловчисиз амалга ошириш мумкин эмас. ЭСни лойиҳалашда АЛС лойиҳаловчи учун маслаҳатчи сифатида хизмат қилади ва у инсон томонидан тўлиқ ҳимоялашни кўзда тутди.

15.2. Техник- иқтисодий кўрсаткичлар

Энг муҳим техник-иқтисодий кўрсаткич – бу капитал маблағлар, яъни электр тармоғи, станциялари ва энергетик объектларни қуриш учун сарф бўлувчи харажатлардир. Электр тармоқ учун

$$K = K_{\text{ЭУЛ}} + K_{\text{нс}} \quad (15.1)$$

Бу ерда $K_{\text{ЭУЛ}}$ - ЭУЛларни қуриш учун капитал маблағ; $K_{\text{нс}}$ - нимстанцияларни қуриш учун капитал маблағ.

ЭУЛларни қуриш учун капитал маблағлар $K_{\text{ЭУЛ}}$ ўрганиш ишлари ва трассаларни тайёрлаш, таянчлар, ўтказгичлар, изоляторлар ва шу каби жиҳозларни олиш, уларни ташиш, монтаж қилиш ва бошқа ишлар учун харажатлардан ташкил топган. Нимстанцияларни қуриш учун капитал маблағлар $K_{\text{нс}}$ территорияни тайёрлаш, трансформатор, узгич ва шу каби жиҳозларни олиш, монтаж қилиш ва бошқа ишлар учун харажатлардан ташкил топган.

Капитал маблағлар алоҳида жиҳозлар нархларининг умумлаштирилган қийматлари ёки сметалар бўйича ҳисобланиши мумкин.

Иккинчи муҳим техник-иқтисодий кўрсаткич бўлиб бир йил давомида энергетик жиҳозлар ва тармоқдан фойдаланиш учун лозим бўлган харажатлари (қўшимча харажатлар) ҳисобланади:

$$I = I_{\text{эўл}} + I_{\text{нс}} + I_{\Delta w} = \frac{\alpha_{a.\text{эўл}} + \alpha_{T.\text{эўл}} + \alpha_{x.\text{эўл}}}{100} \cdot K_{\text{эўл}} + \frac{\alpha_{a.\text{нс}} + \alpha_{T.\text{нс}} + \alpha_{x.\text{нс}}}{100} \cdot K_{\text{нс}} + I_{\Delta w}. \quad (15.2)$$

Бу ерда $I_{\text{ЭУЛ}}$, $I_{\text{нс}}$ - ЭУЛ ва нимстанциялар учун бир йил давомида фойдаланиш харажатлари; $I_{\Delta w}$ - бир йил давомида исроф бўлувчи электр энергия нархи; $\alpha_{a.\text{ЭУЛ}}$, $\alpha_{T.\text{ЭУЛ}}$, $\alpha_{x.\text{ЭУЛ}}$ - ЭУЛ учун амортизация, жорий таъмир ва хизмат кўрсатиш йиллик чегирмаларининг нисбий бирликдаги қийматлари, 1/йил; $\alpha_{a.\text{нс}}$, $\alpha_{T.\text{нс}}$, $\alpha_{x.\text{нс}}$ - нимстанция учун амортизация, жорий таъмир ва хизмат кўрсатиш йиллик чегирмаларининг нисбий бирликдаги қийматлари, 1/йил.

α_a , α_m , α_x ларнинг қийматлари қўлланмаларда келтирилган.

Агар ЭУЛ ва нимстанциялар учун амортизация, таъмир ва хизмат кўрсатишга сарф бўлувчи фойдаланиш харажатларини бирлаштирсак, у ҳолда электр тармоқ учун фойдаланиш харажатлари ифодасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$I = I_a + I_m + I_x + I_{\Delta w} \quad (15.3)$$

Бу ерда, I_a - амортизацияга чегирмалар; I_m - тармоқда жорий таъмирни амалга ошириш учун харажатлар; I_x - тармоққа хизмат кўрсатишга чегирмалар; $I_{\Delta w}$ - исроф бўлувчи электр энергия нархи.

Амортизация чегирмалари капитал таъмирни амалга ошириш учун зарур бўлган харажатлар ва ишдан чиққан ёки эскирган жиҳозларни алмаштириш учун тўпланувчи маблағлардан ташкил топади. Жиҳознинг хизмат кўрсатиш даври қанча қисқа бўлса, амортизация чегирмаси шунчалик кўп бўлади. Жорий таъмир чегирмалари жиҳозни ишлайдиган ҳолатда тутиб туриш учун фойдаланилади. Жорий таъмир мобайнида изоляторлар алмаштирилади, таянч ва нимстанция жиҳозларининг сиртлари бўялади, катта бўлмаган бузилишлар тузатилади. Ишдан чиқишнинг олдини олиш учун барча жиҳозлар текширилиб ва даврий тарзда синовдан ўтказилиб турилади. Бу тадбирлар ҳам жорий таъмир чегирмалари ҳисобидан молияланади. Хизмат кўрсатиш чегирмалари бевосита ходимларнинг маоши, транспорт ва аълоқа воситалари, ходимларнинг яшаш уйлари ва ҳ.к. учун сарф қилинади.

Амортизация ва жорий таъмир қўшимча харажатлари қуйидагича ҳисобланади:

$$I_a = \alpha_a K, \quad (15.4)$$

$$I_m = \alpha_m K, \quad (15.5)$$

бу ерда α_a - нисбий бирликдаги амортизация чегирмалари, 1/йил;

α_m - нисбий бирликдаги жорий таъмир чегирмалари, 1/йил.

Бир йил давомида исроф бўлувчи электр энергиянинг нархи қуйидагича ҳисобланади:

$$I_{\Delta w} = \beta \Delta W, \quad (15.6)$$

бу ерда ΔW - электр энергия исрофи, кВт.соат; β - исроф бўлувчи 1 кВт.соат электр энергиянинг нархи.

Техник-иқтисодий кўрсаткичларга, шунингдек, электр энергияни узатишнинг тан нархи ҳам киради ва у қуйидагича аниқланади:

$$C=I/W, \quad (15.7)$$

бу ерда I - электр тармоқдан фойдаланиш харажатлари; W - бир йил давомида истеъмолчи тармоқдан олган электр энергия.

Синов саволлари

1. Электр системаси ва тармоқларини лойиҳалашининг вазифалари нималардан иборат?
2. Босқичсиз лойиҳалаш нима? Унда қандай масалалар ҳал этилади?
3. Автоматик лойиҳалаш системаси нима? Унинг афзалликлари нимада?
4. Электр тармоқларини лойиҳалаш қандай масалаларни ечишни назарда тутди?
5. Электр тармоқларни лойиҳалашда фойдаланилувчи асосий иқтисодий кўрсаткичларга нималар киради?
6. Капитал маблағ нима? У қандай аниқланади?
7. Йиллик фойдаланишдаги қўшимча харажатлар нима? У қандай аниқланади?
8. Электр тармоқлардаги энергия исрофи қандай аниқланади? Иқтисодийлик энергия исрофига қандай боғланган?
9. Электр энергиянинг тан нархи нима? У қандай аниқланади?
10. Йил давомида истеъмолчиларга тармоқ орқали узатилувчи энергия қандай аниқланади?

15 – маъруза

Маруза режаси

1. Электр тармоқ вариантларини капитал маблағ ва қўшимча харажат бўйича солиштириш.
2. Электр тармоқ вариантларини келтирилган харажатлар бўйича солиштириш.
3. Вариантларни солиштиришда ишончилилик даражасини эътиборга олиш.
4. Электр тармоқни лойиҳалаштиришда номинал кучланишни танлаш.

Таянч иборалар: Лойиҳалаш; тармоқни ривожлантириш; капитал маблағ; қўшимча харажат; тан нарх; ишончилилик; оптимал вариант; номинал кучланиш; оптимал кучланиш; кесим юзаси; иқтисодий кесим юзаси; истисодий интервал; рухсат этилган кучланиш исрофи.

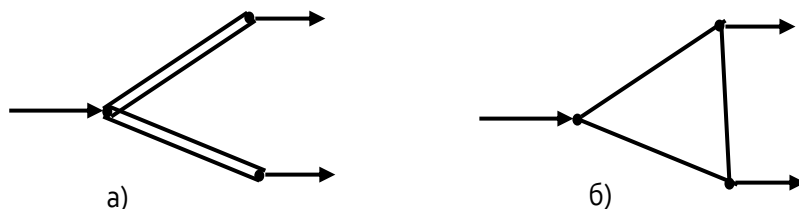
(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

16.1. Вариантларни техник- иқтисодий жиҳатдан солиштириш

Техник иқтисодий жиҳатдан фақат техник талаблар бўйича рухсат этилган, яъни истеъмолчилари талаб этилган сифатдаги ва миқдордаги электр энергияни берилган ишончилиликда оладиган вариантлар солиштирилади.

Техник-иқтисодий жиҳатдан солиштиришнинг биринчи этапида техник талабларни қаноатлантирувчи вариантлар танланади, иккинчи этапида эса техник-иқтисодий кўрсаткичлар бўйича уларнинг энг оптимали танланади. Фараз қилайлик,

16.1-расмда тасвирланган вариантларни солиштириш талаб этилади. Энг содда йўл – бу вариантлар учун капитал маблағ ва қўшимча харажатларни аниқлаш ва сўнгра уларни солиштириш. Агар $K_1 > K_2$ ва $I_1 > I_2$ бўлса, у ҳолда иккинчи вариант танланади. Тез-тез вариантларни солиштириш учун қийинроқ бўлган $K_1 > K_2$, $I_1 < I_2$ (ёки тескари) ҳолатлар учраб туради.



16.1-расм. Тармоқ схемасининг вариантлари:

а – радиал; б – ёпик

Тармоқ схемаси вариантларини солиштириш *капитал маблағларнинг нисбий иқтисодий самарадорлигини* ҳисоблаш асосида амалга оширилади. Энг афзал вариантни аниқлашнинг иқтисодий мезони бўлиб қуйидаги формула бўйича топиловчи *келтирилган харажатлар* минимуми ҳисобланади:

$$Z = p_n K + I, \quad (16.1)$$

бу ерда K - капитал маблағлар; I - йиллик фойдаланишдаги харажатлар. I қўрилаётган вақт давомида ўзгармас деб қаралади; p_n - капитал маблағлар нисбий самарадорлигининг норматив коэффиценти, $p_n = 0,12$ 1/йил.

Келтирилган харажатлар энг кичик бўлган вариант энг афзал, яъни иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ вариант ҳисобланади. Бу вариант учун қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\min_i Z_i = \min_i (p_n K_i + I_i), \quad (16.2)$$

бу ерда i - вариант номери.

Агар қурилиш бир неча йил давом этса ва йиллик фойдаланиш харажатлари ҳар йил учун турлича бўлса, у ҳолда биринчи йилга келтирилган харажатлар қуйидагича аниқланади:

$$Z = \sum_{t=1}^T \frac{p_n K_t + \delta I_t}{(1 + p_{n,k})^{t-1}}, \quad (16.3)$$

бу ерда T - тармоқни қуриш даври бўлиб, бу даврдан сўнг капитал маблағ ишлатилмайди, фойдаланишдаги харажатлар эса йиллар бўйича ўзгармайди ва I_t га тенг бўлади; K_t , U_t - ҳисобланаётган даврнинг t -чи йили учун капитал маблағлар ва йиллик фойдаланишдаги харажатлар; $p_{n,k} = 0,08$ - ҳар хил даврдаги харажатларни келтириш нормативи; $\delta U_t = U_t - U_{t-1}$ - t -чи йил учун фойдаланишдаги харажатларнинг $(t-1)$ - чи йилдагига нисбатан ўзгариши.

Агар солиштирилаётган вариантлар электр билан таъминлашда ишончлилик даражаси бўйича катта фарқ қилса, келтирилган харажатлар таркибига электр энергияни етказиб беролмасликдан қўриладиган зарар киритилиши зарур.

Кичик электр тармоқлари ёки алоҳида объектларни солиштирганда келтирилган харажатлар орасидаги фарқ 5% дан кичик бўлганда улар иқтисодий жиҳатдан тенг деб ҳисобланади. Бунда албатта солиштирилаётган вариантлар учун бир хил бўлган

элементлар ҳисобга олинмаслиги лозим. Иқтисодий жиҳатдан тенг бўлган вариантлар орасидан бирини танлаш уларнинг иқтисодий эквивалент сифатида тасвирлаб ва келтирилган харажатларга киритиб бўлмайдиган хоссаларини муҳандислик жиҳатидан баҳолаш асосида амалга оширилади. Бунда тармоқнинг тараққиёт истиқболлари, фойдаланишдаги қулайлик, материалларнинг тақчиллиги, қўлланилаётган жиҳозларнинг ялпилиги ва бошқа факторлар ҳисобга олинади.

16.2 Электр тармоқ вариантыни ишончлилик даражасини ҳисобга олиб танлаш

Электр тармоқ ривожланишининг солиштирилувчи барча вариантлари истеъмолчиларга бир хил даражада электр энергия етказиб берилишни таъминлаши керак. Ҳар бир вариантда белгиланган вазифаларни фойдаланиш кўрсаткичларини норматив ҳужжатларда келтирилган даражада сақланишини кўзда тутувчи ишончлиликни таъминлаш лозим. Электр билан таъминлашда ишончлиликка қўйиладиган талаблар “Электр қурилмаларининг ўрнатилиш қоидалари” (ЭҚЎҚ) бўйича электр қабул қилгичларнинг тоифаларига мувофиқ белгиланади. ЭҚЎҚга мувофиқ барча электр қабул қилгичлар талаб этилувчи ишончлилик даражаси бўйича уч тоифага бўлинади.

I тоифага электр билан таъминлашнинг бузилиши кишилар ҳаёти учун хавф, халқ хўжалигига катта зарар кўрилишига, ёй сўндирувчи асосий жиҳозларнинг ишдан чиқишига, маҳсулотни ялпи брак бўлишига, мураккаб технологик жараёнларнинг издан чиқишига, коммунал хўжаликнинг ўта муҳим элементларини фаолият кўрсатишини бузилишига олиб келадиган электр қабул қилгичлар киради. Бундай электр қабул қилгичлар электр энергия билан ўзаро резервланган иккита мустақил манъбадан таъминланиши шарт. Бундай мустақил манъбалар бўлиб, жумладан, битта нимстанциянинг иккита манъбадан таъминланувчи иккита шиналар системаси ёки секцияси ҳисобланиши мумкин. I тоифа истеъмолчиларини электр билан таъминлашдаги узилиш резерв таъминотни автоматик киритиш вақти давомида рухсат этилади.

II тоифа электр қабул қилгичларга узилиб қолиши ялпи маҳсулот ишлаб чиқаришнинг сусайишига, ишчилар, механизмлар ва саноат транспортларини ишсиз туриб қолишига, шаҳар ва қишлоқлар аҳолисининг нормал фаолиятининг бузилишига олиб келадиган электр қабул қилгичлар киради. Бундай электр қабул қилгичларни иккита ўзаро резервланувчи мустақил манъбалардан таъминлаш тавсия этилади. Бунда электр билан таъминланишдаги узилиш резерв манъбани навбатчи персонал ёки кўчма бригада томонидан улашга кетгунча вақт давомида рухсат этилади. II тоифа электр қабул қилгичларни битта электр узатиш йўли, шунингдек битта трансформатор орқали, агар улар ишдан чиққан тақдирда уни икки соатдан ортиқ бўлмаган вақт давомида бартараф этиш имкони мавжуд бўлганда, рухсат этилади.

III тоифа электр қабул қилгичларига қолган барча электр қабул қилгичлар киради. Бундай электр қабул қилгичларни битта манъбадан электр билан таъминлаш узилиш юз берганда уни бартараф этиш, яъни ишдан чиққан элементни таъмирлаш ёки алмаштириш учун лозим бўлган вақт бир суткадан ошмаслик шарти билан амалга оширилиши мумкин.

I тоифа истеъмолчилари учун электр билан таъминлашдаги узилиш кўриладиган зарар иқтисодий эквивалент сифатида ифодалаш мумкин бўлмаган асоратлар билан боғлиқдир. I ва II тоифа истеъмолчиларини таъминловчи электр тармоқ схемасининг ишончлилиқ даражасини баҳоловчи критерий сифатида ишончлилиқнинг қуйидаги техник кўрсаткичлари қабул қилинган: ишдан чиқиш оқими параметри (йиллик ўртача ишдан чиқишлар они) ω , иш.ч./йил; электр билан таъминлашнинг қайта тикланиш ўртача вақти

T_m , йил/иш.ч.; йил давомида ишдан чиқмаслиқ эҳтимоллиги p , нисб. бирл.

Ишончлилиқ назариясида қуйидаги тушунчалар фойдаланилади:

ишлаш қобилияти – системанинг белгиланган функцияни талаб этилган режим параметрлари таъминланган ҳолда бажара олиш қобилияти;

ишдан чиқиш – иш қобилиятининг бузилиши; ишдан чиқмаслиқ – системанинг ишлаш қобилиятини белгиланган вақт оралиғида мажбурий узилишларсиз сақлаб қолиш хоссаси.

II тоифа истемолчиларида электр билан таъминлашдаги узилиш кўриладиган зарар иқтисодий эквивалент кўринишда ифодаланиши мумкин бўлган асоратларга олиб келади. Бунда электр билан таъминлашдаги узилишдан кутиладиган йиллик ўртача халқ хўжалиқ зарари U (минг сўм/йил) келтирилган харажат ифодасига киритилади:

$$Z = p_n K + II + U \quad (16.4)$$

Авария (мажбурий) натижасида электр билан таъминлашнинг бузилишидан кўриладиган йиллик ва ўртача зарар қуйдагича топилади:

$$U_m = \omega T_m P_{экат} \varepsilon_{ю} U_{ом} , \quad (16.5)$$

Бу ерда $P_{экат}$ - нормал ҳолатдаги энг катта умумий юклама, кВт; $\varepsilon_{ю}$ - истеъмолчи юкламасининг чегаравий коэффиценти; $U_{ом}$ - электр билан таъминлашнинг мажбурий узилишидан кўриладиган ўртача йиллик солиштира зарар, минг сум/(кВт.йил).

ω ва T_m нинг қийматлари қўлланмалардан олинади.

$\varepsilon_{ю}$ - олинган ишдан чиқишда узилиб қоладиган юкламани нормал ҳолатдаги умумий энг катта юкламасига нисбатига тенг. Электр билан таъминлаш тўлиқ узилганда $\varepsilon_{ю}=1$, тўлиқ резервланган тақдирда ишдан чиқиш юз берса, юклама талаб этувчи қувватни олаверади ва бунда $\varepsilon_{ю}=0$.

$U_{ом}$ юкламанинг таркиби ва $\varepsilon_{ю}$ га боғлиқ равишда типик боғланишлардан аниқланади.

16.3. Номинал кучланишни танлаш

Электр тармоқнинг номинал кучланиши унинг техник-иқтисодий кўрсаткичларига кучли таъсир этади. Масалан, номинал кучланиш ошса, қувват ва электр энергия исрофи, яъни фойдаланишдаги харажатлар камаяди, ўтказгичларнинг юғонликлари камаяди, ЭУЛ орқали узатиловчи чегаравий қувватлар ортади, тармоқнинг келажакдаги тараққиёти енгиллашади, бироқ, тармоқни қуриш учун капитал маблағ ортади. Кичик номинал кучланишдаги тармоқ аксинча – кичик капитал харажатларни талаб этади, бироқ, қувват ва электр энергия исрофининг ортиши фойдаланишдаги сарфларни ортишига ва бундан ташқари узатиш қобилиятининг камайшига олиб келади. Бундан лойиҳалаштиришда номинал кучланишни тўғри танлашнинг муҳимлиги келиб чиқади.

Иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ номинал кучланиш қуйдаги қатор факторларга боғлиқдир: юклама қуввати, уларнинг таъминлаш марказларидан узоқлиги, уларнинг бир-бирига нисбатан жойлашуви, тармоқланган конфигурацияси, кучланишни ростлаш усуллари ва бошқалар. Номинал кучланиш $U_{ном}$ нинг тахминий қийматини узатиловчи қувват ва у узатиладиган масофа бўйича аниқлаш мумкин. Номинал кучланишни қуйдаги усуллар бўйича тахминий баҳолаш мумкин: а) типик боғланишлар бўйича; б) эмпирик ифодалар бўйича; в) жадвал бўйича. Типик боғланишлар ва жадваллар қўлланмаларда келтирилган.

Номинал кучланишни узатиловчи қувват P (МВт) ва ЭУЛ узунлиги L (км) маълум бўлганда Стилл формуласи бўйича топиш мумкин:

$$U_{ном} = 4,34 \sqrt{L + 16P} \quad (16.6)$$

Бу формула узунлиги 250 км гача ва узатиловчи қувват 60 МВт дан ошмаган ЭУЛ лар учун қўлланилиши мумкин.

Узатиловчи қувватлар катта бўлган узунлиги 1000 км гача бўлган ЭУЛ лар учун А.М.Заллеский формуласидан фойдаланиш мумкин:

$$U_{ном} = \sqrt{P(100 + 15\sqrt{L})} \quad (16.7)$$

Г.А.Илларионов томонидан бу мақсадларда фойдаланилувчи қуйдаги формула таклиф этилган:

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}} \quad (16.8)$$

(16.6), (16.7) формулаларидан фарқли равишда (16.8) формуласи 35 кВ дан 1150 кВ гача бўлган барча номинал кучланишлар шкаласи учун қониқарли натижани беради.

Лойиҳалаштирилаётган электр тармоқ ёки унинг алоҳида участкалари турли номинал кучланишларда бўлиши мумкин. Халқасимон электр тармоқлар участкалари учун, одатда номинал кучланишни бир хил қилишга ҳаракат қилинади.

График, жадвал ёки формулалардан бири бўйича топилган кучланиш энг яқин номинал кучланишига яхлитланади. $U_{ном}$ нинг қиймати аниқлангандан сўнг ҳар бир конкрет тармоқ учун чекланган миқдордаги ҳар хил номинал кучланишли вариантлар мўлжалланади ва сўнгра улар техник-иқтисодий жиҳатдан солиштирилади. Бу вариантлар учун келтирилган харажатларни солиштириш натижасида бутун тармоқ ёки унинг алоҳида участкаларини номинал кучланиши танланади. Агар келтирилган харажатлар орасидаги фарқ 5% дан кичик бўлса $U_{ном}$ катта бўлган вариант танланган.

Синов саволлари

1. Нима мақсадда электр тармоқлари иқтисодий жиҳатдан солиштирилади?
2. Келтирилган ҳисобий харажатлар нима? Улар қандай аниқланади?
3. Капитал маблағ нисбий эффективлигининг норматив коэффициенти нима? У қандай аниқланади?
4. Агар электр тармоғининг қурилиши бир вақтда якунланиб, ишга туширилса, у иқтисодий жиҳатдан қандай солиштирилади?
5. Агар лойиҳа бўйича электр тармоқнинг қурилиб, ишга туширилиш жараёни босқичма-босқич амалга оширилса, у иқтисодий жиҳатдан қандай солиштирилади?

6. Электр тармоқларини лойиҳалашда истеъмолчиларнинг муҳимлик даражаси қандай ҳисобга олинади?
7. Муҳимлик бўйича бўйича электр истеъмолчилари қандай тоифаларга бўлинади? Турли тоифадаги электр истеъмолчилари нима билан характерланади?
8. Истеъмолчини электр билан таъминлашнинг бузилиши натижасида қўрилувчи зарар қандай аниқланиши мумкин?
9. Электр тармоқларни лойиҳалашда номинал кучланиш қандай аниқланади?
10. Номинал кучланишни танлаш учун фойдаланилувчи империк формулаларнинг маъносини тушутиринг.

16 – маъруза

Маруза режаси

1. Ўтказгичларнинг кесим юзаларини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш.
2. Ўтказгичларнинг кесим юзаларини иқтисодий интерваллар усули бўйича танлаш.
3. Ўтказгичларнинг кесим юзаларини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танлаш.

Таянч иборалар: Лойиҳалаш; тармоқни ривожлантириш; капитал маблағ; қўшимча харажат; тан нарх; ишончлилиқ; оптимал вариант; номинал кучланиш; оптимал кучланиш; кесим юзаси; иқтисодий кесим юзаси; истисодий интервал; рухсат этилган кучланиш исрофи.

(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

17.1. Ўтказгичлар ва кабелларнинг қўндаланг кесим юзаларини токнинг иқтисодий зичлиги ва иқтисодий интерваллар бўйича танлаш

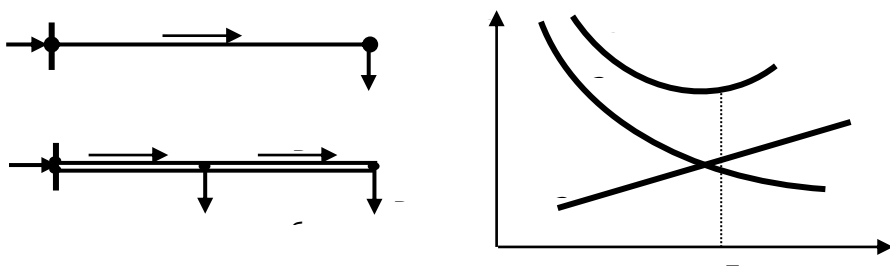
Кесим юзаларини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш. 17.1-расмда тасвирланган ЭУЛ ўтказгичининг оптимал кесим аъзосини танлашни кўриб ўтамиз.

Кесим юзаси ЭУЛнинг муҳим параметридир. ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзаларини ортиши билан уни қуришдаги харажатлар ва улардан чегирмалар ортади. Бир вақтда электр энергия исрофи ва унинг йиллик нархи камаяди.

Келтирилган харажатлар функцияси

$$Z(F) = p_n K + I I \quad (17.1)$$

нинг минималига $F_{ик}$ тўғри келади.



17.1-расм. Келтирилган харажатларни ЭУЛ ўтказгичлари кесим юзасига боғлиқлиги:
а - бир занжирли ЭУЛ; б - икки занжирли ЭУЛ; в - келтирилган харажатнинг ташкил
этувчилари.

ЭУЛнинг нархи унинг узунлигига боғлиқ:

$$K = \kappa_0 L. \quad (17.2)$$

Бу ерда L - ЭУЛнинг узунлиги, км; κ_0 - солиштирма капитал маблағ;

$$K_0 = a + vF, \quad (17.3)$$

бу ерда a - ЭУЛ нинг 1 км узунлиги учун кесим юзасига боғлиқ бўлмаган капитал маблағ (йўлларни куриш, трассаларни тайёрлаш; ботқоқликларни куритиш ва ҳ.к.); vF - солиштирма капитал маблағнинг ўтказгич кесим юзасига пропорционал бўлган қисми (металл, таянч, арматура ва ҳ.к. нархи).

(17.1) даги I нинг кесим юзасига боғланишини таҳлил қиламиз.

Хизмат кўрсатиш қўшимча харажатлари амалда ўтказгичларнинг кесим юзасига боғлиқ эмас. Электр энергия нархи эса кесим юзасига боғлиқдир:

$$I_{\Delta W} = \beta \Delta W = \beta \Delta P_{\text{экат}} \tau = \beta I_{\text{экат}}^2 r_{\text{л}} \tau = 3 \beta I_{\text{экат}}^2 \rho L \tau / F, \quad (17.4)$$

бу ерда $I_{\text{экат}}$ - ЭУЛнинг энг катта ишчи токи; ρ - ўтказгич материалларининг солиштирма қаршилиги; β - бирлик электр энергия исрофининг нархи; τ - энг катта исрофлар вақти.

Амортизация ва жорий таъмир учун фойдаланишдаги харажатлар кесим юзасига боғлиқ бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$I_a + I_m = \alpha_3 K = \alpha_3 (a + vF) L, \quad (17.5)$$

бу ерда α_3 - амортизация ва жорий таъмир учун йиллик чегирма.

(Б.20) ва (Б.21) ни (Б.17) га қўйсақ, қуйидагига эга бўламиз:

$$3(F) = (a + vF)(p_n + \alpha_3) L + \beta 3 I_{\text{экат}}^2 \rho L \tau / F = 3_1 + 3_2. \quad (17.6)$$

$3(F)$ ни F бўйича дифференциаллаб ва ҳосилани нулга тенглаб, харажатлар функциясининг минимум шартини топамиз (Б.1,6-расм).

$$\partial 3 / \partial F = (p_n + \alpha_3) v L - \beta 3 I_{\text{экат}}^2 \rho L \tau / F^2 = 0 \quad (17.7)$$

Бундан

$$F_{\text{иқ}} = I_{\text{экат}} \sqrt{3 \beta \rho \tau / [v(P_n + \alpha_3)]} \quad (17.8)$$

Токнинг иқтисодий зичлиги – ЭУЛда оқувчи энг катта токнинг иқтисодий зичликка нисбати:

$$j_{\text{иқ}} = I_{\text{экат}} / F_{\text{иқ}} \quad (17.9)$$

(Б.24), (Б.25) дан келиб чиқадики,

$$j_{\text{иқ}} = \sqrt{v(P_n + \alpha_3) / 3 \beta \rho \tau} \quad (17.10)$$

Бу ерда (17.10) фақатгина $j_{\text{иқ}}$ нинг маъносини тушуниш учун келтирилган бўлиб, у $j_{\text{иқ}}$ аниелаш учун фойдаланилмайди.

ЭҚЎҚга мувофиқ $j_{\text{иқ}}$ ўтказгичнинг тури ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти $T_{\text{экат}}$ га боғлиқ равишда танланади.

Амалда ЭУЛ кесим юзасини танлаш учун аввало жадвалдан $j_{\text{иқ}}$ топилади, сўнгра иқтисодий кесим юзаси ҳисобланади.

$$F_{\text{иқ}} = I_{\text{экат}} / j_{\text{иқ}} \quad (17.11)$$

(Б.27) дан аниқланган $F_{\text{иқ}}$ стандарт кесим юзасигача яхлитланади.

Таҳлил шуни кўрсатадики, кесим юзасининг $F_{\text{иқ}}$ дан оғиш келтирилган харажатларни сезиларли ўзгаришига олиб келмайди, чунки $3 = f(F)$ боғланиш аниқ ифодаланган минимумга эга эмас. (17.11) даги $I_{\text{экат}}$ - нормал ҳолат токи. $j_{\text{иқ}}$ ни топишда

авариядан кейинги ҳолат токи ҳисобга олинмайди. Чунки бундай ҳолатлар қисқа вақт давомида амал қилади.

$j_{иқ}$ нинг қўлланилиш соҳаси. Кўп йиллар давомида токнинг иқтисодий зичлиги 1 кВ дан юқори кабелли ва 35-500 кВ ҳаводаги ЭУЛнинг кесим юзасини танлашда қўлланилди. Ҳозирги даврда токнинг иқтисодий зичлиги бўйича $U_n > 1$ кВ бўлган кабелли ва 6-10 кВ ҳаводаги ЭУЛ кесим юзалари танланади.

Токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танланган кесим юзалари иссиқлик, рухсат этилган кучланиш исрофи $\Delta U_{рух}$ ва механик мустаҳкамлик бўйича текшириб кўрилади. Агар $j_{иқ}$ бўйича танланган ўтказгичнинг кесим юзаси бошқа шартлар бўйича талаб этилган кесим юзасидан кичик бўлса, бу шартлар билан белгиланган энг катта кесим юзасини танлаш лозим.

Қуйидаги ҳолларда кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш мумкин эмас: 1 кВ гача кучланишли ва энг катта юклама вақти 4000-5000 соат бўлган саноат корхоналари электр тармоқлари; 1000 В гача кучланишли алоҳида электр қабул қилгичларга чикувчи шохобчалар, саноат корхоналари, яшаш ва жамият биноларининг ёритиш тармоқлари; вақтинчалик ва шунингдек 3-5 йил муддатга хизмат қиладиган электр қурилмалар тармоқлари. Сўнгги йилларда 35 кВ ва ундан юқори номинал кучланишли ҳаводаги ЭУЛнинг кесим юзалари токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танланмайди. Амалда 35-750 кВ кучланишли ҳаводаги ЭУЛнинг кесим юзаси ток ва қувватнинг иқтисодий интерваллари бўйича танланади.

1 кВ ва ундан юқори кучланишдаги кабелли ЭУЛда токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танланган кесим юзалари иссиқлик, рухсат этилган кучланиш, кучланишнинг оғиши ва қисқа туташув тоқларида термик турғунлик бўйича текширилади.

$j_{иқ}$ бўйича кабелли ЭУЛнинг кесим юзаларини танлашда фақат (17.8) даги каби $I_{экат}$ дан эмас, балки ЭУЛдан фойдаланиш жараёнида юклама ўзгаришини ҳисобга олувчи ҳисобий ток юкламасидан, шунингдек энг катта юкламадан фойдаланишдаги соатлар сонидан ҳам фойдаланиш тавсия этилади. Ҳисобий ток юкламаси, шунингдек 35-750 кВ кучланишли ҳаводаги ЭУЛ кесим юзасини иқтисодий интерваллар бўйича танлашда ҳам фойдаланилади.

Ҳаводаги ЭУЛ кесим юзаларини иқтисодий интерваллар бўйича танлаш. Кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш қирқинчи йиллардан бошлаб фойдаланилиб, ўз вақтида прогрессив ҳисобланган, чунки у нафақат ЭУЛ қуришдаги капитал маблағни, балки электр энергия исрофини ҳам ҳисобга олиш имконини беради. Ушбу афзалликларга қарамасдан кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш маълум хатоликларга олиб келади. Биринчидан, $j_{иқ}$ учун (17.10) ифода капитал маблағнинг ЭУЛ узунлигига туғри чизиқли бошланишини кўзда тутади. Туғри чизиқли боғланиш унификацияланган таянчлардан фойдаланувчи ЭУЛларни ялпи қуришга ўтиш билан бузилади. Саноат ҳар бири бир неча хил стандарт ўтказгичларни осишга мўлжалланган чекланган миқдорда унификацияланган типдаги таянчларни ишлаб чиқаради. Бунга мос равишда бир хил типдаги унификацион таянчларда ўтказгич кесим юзасини ўзгариши билан капитал маблағ ўзгариши кўп материал ва монтажни талаб этувчи навбтдаги таянч типига ўтишидагига нисбатан анча камдир. Иккинчидан, $j_{иқ}$ учун ифодани ҳосил қилишда келтирилган харажатлар ифодаси (17.6) да кесим юзаси узлуксиз деб ҳисобланган. Амалда эса кесим юзаси дискрет равишда ўзгаради ва шу

сабабли уни (17.7) шартидан топиш мумкин эмас. Учинчидан, (17.6) ифодада энг катта ток $I_{экат}$ ўзгармас деб ҳисобга олинган. Амалда бундай эмас. Ҳар хил ЭУЛлар учун $I_{экат}$ ҳар хилдир ва (17.6) да $I_{экат}$ ни ўзгарувчан деб ҳисоблаш лозим. Бундай ҳолда иқтисодий кесим юзаси нафақат $З$ нинг F бўйича ҳосиласини нулга тенглик шарти (17.7) дан, балки $З$ нинг энг катта ток бўйича ҳосиласининг ҳам нулга тенглик шарти (17.7) дан топилиши лозим.

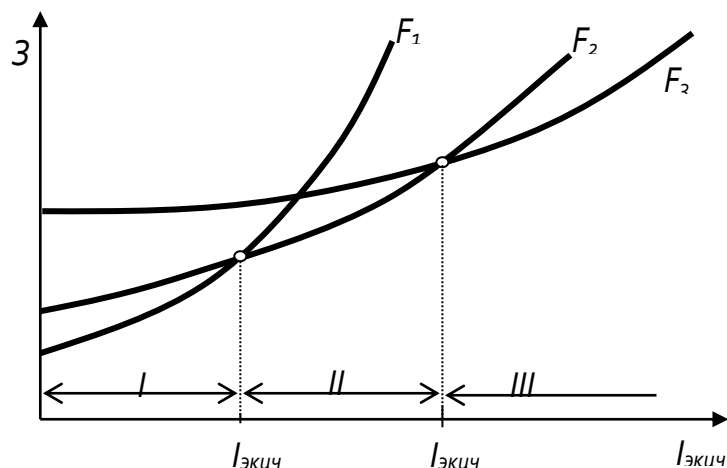
Юқорида кўрсатилган камчиликлардан бартараф бўлган кесим юзасини танлаш усули «Иқтисодий интерваллар усули» номини олган.

Ўтказгич кесим юзасини танлаш учун ток юкламаларининг иқтисодий интерваллари қуйдагича аниқланади. 35-750 кВ ли ҳаводаги ЭУЛ нинг турли хил стандарт юзали ўтказгичлари учун келтирилган харажатларнинг ЭУЛ токи $I_{экат}$ га боғланишлари курилади. Ҳар бир кесим юзаси учун келтирилган харажатлар (Б.22) бўйича аниқланади. (17.6) ни қуйдагича ёзиш мумкин:

$$З = (p_n + \alpha_э)K + 3I_{экат}^2 r_l \tau \beta \quad (17.12)$$

17.2-расмда ҳисобланган харажатларнинг боғланишлари F_1 , F_2 ва F_3 кесим юзалари учун кўрсатилган. Бунда $F_3 > F_2 > F_1$.

F_1 ва F_2 эгри чизикларнинг кесишиш нуқтаси юзалар F_1 ва F_2 бўлган вариантларда келтирилган харажатлар тенг бўладиган $I_{экат1}$ энг катта токни аниқлайди. Агар ЭУЛ токи $I_{экат1}$ дан кичик бўлса, у ҳолда энг кичик харажатлар F_1 кесим юзасига тўғри келади, яъни айнан шу кесим юзани танлаш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир. Агар ток $I_{экат1}$ ва $I_{экат2}$ оралиғида бўлса, иккинчи кесим юза F_2 , $I_{экат2}$ дан катта бўлса учинчи кесим юза F_3 иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ бўлади.



17.2-расм. Иқтисодий интервалларни куриш.

Токнинг иқтисодий интервалларидан фойдаланилганда ЭУЛнинг энг катта токи тушунчасини аниқлаштириш керак. Ўтказгичларнинг юзаларини токнинг қуйидаги формула бўйича аниқланувчи ҳисобий юкламаси бўйича танлаш лозим.

$$I_x = I_{экат} \alpha_i \alpha_m, \quad (17.13)$$

бу ерда $I_{экат}$ - фойдаланишнинг бешинчи йилида ЭУЛнинг нормал ҳолатдаги токи. У таъминловчи ва тақсимловчи тармоқ ЭУЛлари учун электр системасининг максимал юкламали ҳолатини ҳисоблаш натижасида аниқланади; α_i - ЭУЛ йиллар давомида фойдаланишда юклама ўзгаришини ҳисобга олувчи коэффициент; α_m - унинг максимал

юкламадан фойдаланиш вақти $T_{э.кат}$ ва унинг энергетика системаси максимумиғи тўғри келиши K_m ни ҳисобга олувчи коэффициент.

110-220 кВ ЭУЛлар учун α_i нинг қиймати 1,05 га тенг қилиб, бундан юқори кучланишдаги ЭУЛ учун бу коэффициент қиймати эса жадвалдан олинади.

35-750 кВ ЭУЛларининг кесим юзалари учун токнинг иқтисодий интерваллари қўлланмаларда жадвал кўринишида келтирилган бу жадваллар барча стандарт кесим юзалари ва ҳар хил регионлар учун тузилган.

17.2. Тақсимловчи тармоқларда ЭУЛнинг кесим юзасини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича аниқлашнинг характерли хусусиятлари

Тақсимловчи электр тармоқларида рухсат этилган кучланиш исрофини деб унинг шундай қийматига айтиладики, кучланишни ростлаш натижасида электр қабул қилгичдаги кучланиш оғиши ДавСт да белгиланган техник рухсат этилган қийматлардан ошиб кетмайди. Тақсимловчи электр тармоқда рухсат этилган кучланиш исрофи доимо энг катта кучланиш исрофидан кичик бўлмаслиги, яъни қуйидаги шарт бажарилиши лозим:

$$\Delta U_{э.кат} \leq \Delta U_{рух} \quad (17.14)$$

Таъминлаш манъбаси кучланиши тахминан ўзгармасдир. Агар $\Delta U_{э.кат} \leq \Delta U_{рух}$ бўлса, у ҳолда чекка тугундаги кучланиш қиймати рухсат этилмайдиган даражада бўлади. 0,38-20 кВ тақсимловчи электр тармоқларда ЭУЛ кесим юзаси (17.14) нинг бажариш шартидан келиб чиқиб танланади. Агар лойиҳалаштиришда ЭУЛ ўтказгичининг кесим юзаси F ни оширсак, актив ва реактив қаршиликлар ҳамда бунга мос равишда, энг катта кучланиш исрофи камаяди, чунки

$$\Delta U = (Pr + Qx) / U_n \quad (17.15)$$

Ўтказгичларнинг солиштирма актив қаршилиги кесим юзасига тескари пропорционал равишда ўзгаради, реактив қаршилиги эса, кесим юзасига заиф боғланган. Таъминловчи электр тармоқларда F нинг ўзгариши билан x_0 кам ўзгаради ва $x_0 > r_0$. Бундай тармоқларда U ни ростлаш имкониятлари кўп ва ΔU ни камайтириш учун F ни ўзгартириш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас. Шу сабабли F ни танлашда (17.14) ҳисобга олинмайди. Тақсимловчи электр тармоқларда $r_0 > x_0$. Кесим юзаси ортганда r_0 ва бунга мос равишда кучланиш исрофи жадал камаяди. Бундай тармоқларда кучланишни ростлаш имкониятлари кўп эмас ва шу сабабли F ни танлашда (17.14) шarti ҳисобга олинади.

0,38-20 кВ тақсимловчи электр тармоқларида кесим юзаларини танлашнинг характерли хусусиятлари F ни танлашда иқтисодийлик, рухсат этувчи кучланишлар ва ўтказгични қизиши шартларини ҳисобга олиш лозимлиги билан белгиланади. 1 кВ гача бўлган тармоқларда (17.1 параграфда кўрсатилган ҳолатлардан ташқари) ва 6-20 кВ тармоқларда иқтисодийлик ($j_{ук}$ бўйича), рухсат этилган кучланиш $\Delta U_{рух}$ ва иссиқлик шартлари бўйича аниқланади.

Шуни белгилаш лозимки, кесим юзасини турли шартлар бўйича аниқлашда бир хил натижани берувчи бир неча алгоритмлардан фойдаланиш мумкин. Биринчи алгоритм ўтказгич кесим юзасини аввало битта энг асосий шарт, масалан $j_{ук}$ бўйича, танлаш ва

сўнгра уни бошқа шартлар , масалан иссиқлик ва ҳ.к. бўйича, текширишни назарда тутати. Иккинчи алгоритм эса стандарт кесим юзасини, аввало, ҳар бир шарт бўйича аниқлаш ва сўнгра улардан энг каттасини танлашни назарда тутати. Одатда, нисбатан соддароқ бўлган биринчи алгоритм қўлланилади.

ЭУЛ кесим юзасини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танлаш тармоқ фақат битта участкага эга бўлганда етарлича соддадир. Бундай ҳолда (17.15) бўйича аниқланувчи рухсат этилган кучланиш ўтказгич кесим юзасини белгилайди. Тармоқ бир нечта участкалардан ташкил топган ҳолат учун кесим юзаларини тўғридан-тўғри $\Delta U_{\text{рух}}$ бўйича танлаш мумкин эмас. Бундай ҳолларда тармоқ учун F ни танлашда (17.14) дан ташқари билвосита иқтисодий шартларни ифодаловчи қўшимча шартлар ҳам қўйилиши лозим. Бу шарт , масалан давомида бир нечта юкламалар бўлган ЭУЛ учун бир хил кесим юзасини танлашнинг мақсадга мувофиқлиги, қатор ҳолларда бутун ЭУЛ бўйича металл сарфи ёки қувват исрофининг минимумлиги бўлиши мумкин. Кучланишни танлашнинг барча учала кўриб чиқилган усуллари рухсат этилган кучланиш исрофи билан белгиланади. Улардан ҳар бири (17.14) ва тақсимловчи тармоқларда кесим юзасини танлашда ушбу усулни қўлланиш соҳасини белгиловчи яна бир шартни қаноатлантиради.

Ҳар бир шарт бажарилган ҳолда кесим юзасини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танлашни таҳлил қиламиз.

Кесим юзасини ЭУЛнинг барча участкаларида бир хил бўлиши шarti бўйича танлаш ($F_{kj} = \text{const} = F$). Бу шарт шаҳар электр тармоқларида ўтказгич ва кабелларнинг кесим юзаларини танлашда қўлланилади. Ўтказгичлар кесим юзаларининг тенглиги электр тармоқ ёки унинг участкаларини қуриш ва монтаж қилиш учун энг қулай шароитни вужудга келтиради. Бундай тизим бир-бирига яқин жойлашган кўп миқдордаги юкламаларга эга бўлган ЭУЛлар учун алоҳида афзалликларга эга.

ЭУЛ тузилиши ва ўтказгичларининг маркалари аниқланган (кесим юзасидан ташқари). k -чи тугун қуввати S_k , тугунлар ораларидаги масофа l_{kj} , рухсат этилган кучланиш исрофи $\Delta U_{\text{рух}}$ маълум.

ЭУЛда энг катта кучланиш исрофи қуйидагича топилади:

$$\Delta U_{\text{э.кат}} = \sum_{k=1}^m \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_n} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}, \quad (17.16)$$

бу ерда k -ЭУЛ участкасининг бошланиши; j -ЭУЛ участкасининг охири; r_{ki} , x_{ki} -ЭУЛ участкасининг гаршиликлари; P_{kj} , Q_{kj} - ЭУЛ участкасидаги актив ва реактив қувват оқимлари.

ЭУЛда рухсат этилган кучланишни иккита ташкил этувчи кўринишида ифодалаймиз:

$$\Delta U_{\text{рух}} = \Delta U_{\text{рух.а}} + \Delta U_{\text{рух.р}}. \quad (17.17)$$

бу ерда $\Delta U_{\text{рух.а}}$ - (Б.32) даги биринчи ташкил этувчиси бўлиб, у гўё актив қаршиликдаги рухсат этилган кучланиш исрофи; $\Delta U_{\text{рух.р}}$ - (17.16) даги иккинчи ташкил этувчи, яъни реактив қаршиликдаги рухсат этилган кучланиш исрофи.

Фараз қилайлик, энг катта кучланиш исрофи рухсат этилган кучланиш исрофига тенг:

$$\Delta U_{\text{pyx}} = \Delta U_{\text{pyx.a}} + \Delta U_{\text{pyx.p}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m P_{\kappa j} r_{\kappa j}}{U_n} + \frac{\sum_{\kappa=1}^m Q_{\kappa j} x_{\kappa j}}{U_n}; \quad (17.18)$$

бундан

$$\Delta U_{\text{pyx.a}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m P_{\kappa j} r_{\kappa j}}{U_n}; \quad \Delta U_{\text{pyx.p}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m Q_{\kappa j} x_{\kappa j}}{U_n}; \quad (17.18a)$$

Кесим юзаси ўзгариши билан солиштирма реактив қаршилиқ x_0 кам даражада ўзгаради (Б.3,г-расм) Шу сабабли тақсимловчи тармоқлар учун, ЭУЛ участкаларида кесим юзаси бир хил бўлганда, кесим юзасини танлаш қуйидаги тартибда амалга оширилади:

а) x_0 учун қиймат қабул қилинади, масалан ҳаводаги ЭУЛ учун $x_0=0,4$ Ом/км, 6-10 кВ ва 1 кВ гача кабелли ЭУЛ учун эса мос равишда 0,09 ва 0,06 Ом/км;

б) (Б.34а) дан $\Delta U_{\text{pyx.p}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m Q_{\kappa j} x_0 l_{\kappa j}}{U_n}$; ҳисобланади;

в) (Б.33) дан $\Delta U_{\text{pyx.a}} = \Delta U_{\text{pyx}} - \Delta U_{\text{pyx.p}}$.

г) кесим юзаси F аниқланади.

ЭУЛ актив қаршилигидаги рухсат этилган кучланиш исрофи:

$$\Delta U_{\text{pyx.a}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m P_{\kappa j} r_0 l_{\kappa j}}{U_n}.$$

Бу формулада $r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma F}$;

бу ерда ρ - ўтказгичнинг ҳисобий солиштирма қаршилиги; γ - ўтказгичнинг ҳисобий солиштирма ўтказувчанлиги.

Сўнгги иккита ифодадан

$$\Delta U_{\text{pyx.a}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m P_{\kappa j} l_{\kappa j}}{\gamma F U_n} = \frac{1}{\gamma F} \sum_{\kappa=1}^m \sqrt{3} I_{\kappa j} l_{\kappa j} \cos \varphi_{\kappa j} \quad (17.19)$$

(17.19) дан кесим юзасини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{\sum_{\kappa=1}^m \sqrt{3} I_{\kappa j} l_{\kappa j} \cos \varphi_{\kappa j}}{\gamma \Delta U_{\text{pyx.a}}}. \quad (17.20)$$

Топилган кесим юзаси F энг яқин стандарт кесим юзасига яхлитланади ва сўнгра у учун (17.14) шартининг бажарилиши текширилади. Агар бу шарт бажарилмаса, у ҳолда кесим юзасини ошириш лозим.

Кесим юзасини қувват исрофини минимумлик шарти бўйича танлаш. Шунинг қўрсатиш мумкинлиги, қувват исрофининг минимумлиги ток зичлигининг ўзгармаслик ҳолатида бўлади, яъни бунда ЭУЛнинг барча участкаларида ток зичлиги бир хил бўлади:

$$j_{\Delta U} = \frac{I_{kj}}{F_{kj}} = \text{const};$$

бу ерда $j_{\Delta U}$ - рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танланувчи ток зичлиги. Бу қўшимча шарт саноат корхоналарининг электр таъминоти системаси тармоқларида кесим юзаларини танлашда фойдаланилади. Бундай тармоқларда ЭУЛ нисбатан қисқа ва юкламалар нисбатан катта, яъни металл сарфи кам, электр энергия исрофи эса кўп. Саноат тармоқларида қувват ва электр энергия исрофини камайтириш алоҳида аҳамиятга эга.

Ушбу ҳолатда фарқ шундан иборатки, участкаларда кесим юзалари F_{kj} ҳар хил, бироқ ток зичлиги $j_{\Delta U}$ бир хил.

Тақсимловчи электр тармоқлари ЭУЛнинг барча участкаларида ток зичлиги бир хил бўлганда ҳисоб қуйидаги тартибда олиб борилади:

а) $x_0=0,4$ Ом/км қабул қилинади;

б) (17.18а) ва (17.17) ифодадалар бўйича $\Delta U_{\text{pyx.p}}$ ва $\Delta U_{\text{pyx.a}}$ ҳисобланади.

в) рухсат этилган кучланиш бўйича токнинг зичлиги $j_{\Delta U}$ топилади ва сўнгра ЭУЛнинг барча участкалари учун кесим юзаси аниқланади. (17.19) ифодадан токнинг зичлиги рухсат этилган кучланиш бўйича қуйидагича аниқланади:

$$j_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{\text{pyx.a}} \gamma}{\sqrt{3} \sum_{k=1}^m \sum_{j=2}^n I_{kj} \cos \varphi_{kj}}$$

Топилган ток зичлиги бўйича ҳисобий кесим юзаси осон аниқланади:

$$F_{kj} = \frac{I_{kj}}{j_{\Delta U}}.$$

Ҳисобланган кесим юзаси энг яқин стандартга яхлитланади. ЭУЛ участкаларининг актив ва реактив қаршиликлари r_{kj} , x_{kj} лар аниқланади. (17.15) бўйича энг катта кучланиш исрофи ҳисобланади ва у (17.14) шарт бўйича текшириб кўрилади. Агар бу шарт бажарилмаса, кесим юзаси оширилади.

Кесим юзасини ЭУЛни қуриш учун ўтказувчи материал сарфининг минимумлик шарти бўйича танлаш. Бу қўшимча шарт металл иқтисоди электр энергия иқтисодига нисбатан муҳимроқ бўлган кам юкланган ҳолларда, хусусан, қишлоқ электр тармоқларини лойиҳалашда фойдаланилади. n -та юкламага эга бўлган ҳолатда охириги ($n-1$)- участка ЭУЛнинг кесим юзаси қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{\Delta U_{\text{pyx.a}} U_n} \sum_{k=1}^n \sum_{l=2}^n I_{kl} \sqrt{P_{kl}};$$

бу ерда $F_{(n-1)n}$, $P_{(n-1)n}$ - охирги $(n-1)n$ - участканинг кесим юзаси ва ундаги қувват оқими; P_{kj} , I_{kj} - kj участканинг қувват оқими ва узунлиги; ρ - ўтказгичнинг ҳисобий солиштирма юкламаси.

Қолган участкаларнинг кесим юзалари қуйидаги муносабатлар асосида топилиши мумкин:

$$\frac{F_{12}^2}{P_{12}} = \frac{F_{23}^2}{P_{23}} = \dots = \frac{F_{(n-2)(n-1)}^2}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F_{(n-1)n}^2}{P_{(n-1)n}}.$$

Танлаш жараёнининг навбатдаги иши, юқорида кўрилган ҳолатлардагидек, топилган кесим юзаларини энг яқин стандартларига яхлитлаш, уларни (Б.30) шарт бўйича текшириш ва бу шарт бажарилмаган тақдирда танланган кесим юзасини оширишни назарда тутати.

Синов саволлари

1. Электр тармоқларнинг иқтисодий кўрсаткичлари ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзасига қандай боғлиқ?
2. Токнинг иқтисодий зичлиги нима? У қандай аниқланади?
3. Ўтказгичларнинг кесим юзаси токнинг иқтисодий зичлиги бўйича қандай танланади?
4. Ўтказгичларни токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш усулининг қўлланилиш соҳаси қандай?
5. Ўтказгичларни токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш усулининг афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?
6. Ўтказгичларни иқтисодий интерваллар усулида танлашнинг маъносини тушунтиринг.
7. Иқтисодий интерваллар усулининг қўлланиш соҳаси қандай?
8. Иқтисодий интерваллар усулининг афзаллик ва камчиликлари нималардан иборат?
9. Ўтказгичларни кучланиш исрофининг рухсат этилган қиймати бўйича танлаш усулининг маъносини тушунтиринг. Бу усул қандай тармоқларда қўлланилади?
10. Ўтказгичларни ЭУЛнинг барча участкаларида кесим юзаларини бир хил бўлиши шарти бўйича танлаш усулининг маъносини тушунтиринг. Бу усул қандай тармоқларда қўлланилади?
11. Ўтказгичларни ЭУЛда қувват исрофининг минимал бўлиш шарти бўйича танлаш усулининг маъносини тушунтиринг. Бу усул қандай тармоқларда қўлланилади?
12. Ўтказгичларни фойдаланилувчи матераилнинг минимал бўлиш шарти бўйича танлаш усулининг маъносини тушунтиринг. Бу усул қандай тармоқларда қўлланилади?

17 – маъруза

Маруза режаси

1. Электр узатиш линияларида қувват ва йиллик энергия исрофини юклама графиги бўйича ҳисоблаш.
2. Электр узатиш линияларида қувват ва йиллик энергия исрофини максимал юклама ва максимал қувватдан фойдаланиш вақти бўйича ҳисоблаш.
3. Трансформаторларда қувват ва йиллик энергия исрофини юклама графиги бўйича ҳисоблаш.

4. Трансформаторларда қувват ва йиллик энергия исрофини максимал юклама ва максимал қувватдан фойдаланиш вақти бўйича ҳисоблаш.

5. Электр тармоқларда қувват ва энергия исрофини камайтириш тадбирлари.

Таянч иборалар: Энергия исрофи; максимал юклама; юклама графиги; максимал қувватдан фойдаланиш вақти; максимал исроф вақти.

(Адабиётлар: 1-4, 6-9, 12-14).

Қувват ва энергия исрофларини ҳисоблаш ҳамда уларни камайтириш тадбирлари.

18.1. Электр энергия исрофини ҳисоблаш усуллари.

Электр энергияни станциялардан истеъмолчиларга узатиш жараёнида ўтказгичларни қизиши, электромагнит майдоннинг ҳосил бўлиши ва бошқа эффектларга бу энергиянинг бир қисми исроф бўлади.

Электр тармоқнинг ҳар қандай элементида электр энергия исрофи юкламанинг характери ва қурилаётган вақт жараёнида унинг ўзгаришига боғлиқ. Ўзгармас юклама билан ишлаб, ΔP актив қувват исрофига эга бўлган ЭУЛда t вақт давомида исроф бўлувчи энергия қуйидагича аниқланади:

$$\Delta W = \Delta P t . \quad (18.1)$$

Агар юклама йил давомида ўзгариб турса, у ҳолда электр энергия исрофини турли усуллар ёрдамида ҳисоблаш мумкин. Мавжуд барча усулларни фойдаланилувчи математик моделга боғлиқ равишда иккита катта группага бўлиш мумкин. Булар – аниқ ва эҳтимолий-статистик усуллардир.

Электр энергия исрофини ҳисоблашнинг энг аниқ усули –бу шохобчаларнинг юклама графиклари бўйича аниқлашдир. Бунда ҳисоблаш юклама графигининг ҳар бир даражаси учун қувват исрофларини аниқлаш ва уларнинг йиғиндисини топишни кўзда тутади. Бу усул баъзан график интерполяциялаш усули деб юритилади.

Юклама графиклари суткалик ва йиллик юклама графикларига бўлинади. Суткалик графиклар юклама қувватларини сутка давомида йиллик графиклар эса йил давомида ўзгаришини ифодалайди. Йиллик график баҳорги-ёзги ва кузги-қишки даврлар учун характерли суткалик графиклар асосида қурилади. Йиллик энергия исрофини ҳисоблашда давомийлик бўйича юклама графикларидан фойдаланилади. Бундай графикни ҳосил қилиш қуйидаги тартибда амалга оширилади. Бу графикнинг бошланғич ординатаси максимал юкламага тенг қилиб қабул қилинади. Суткалик графиклар бўйича турли типдаги суткалар сонини ҳисобга олиб (шанба, якшанба, душанба, иш куни) юклама қувватининг ҳар бир қиймати учун у йил давомидаги соатлар сони аниқланади. Аввало, максимал юклама ўринли бўлган вақт, сўнгра юклама қувватининг бошқа қийматлари учун (камайиб бориш тартибида) вақт оралиқлари аниқланади.

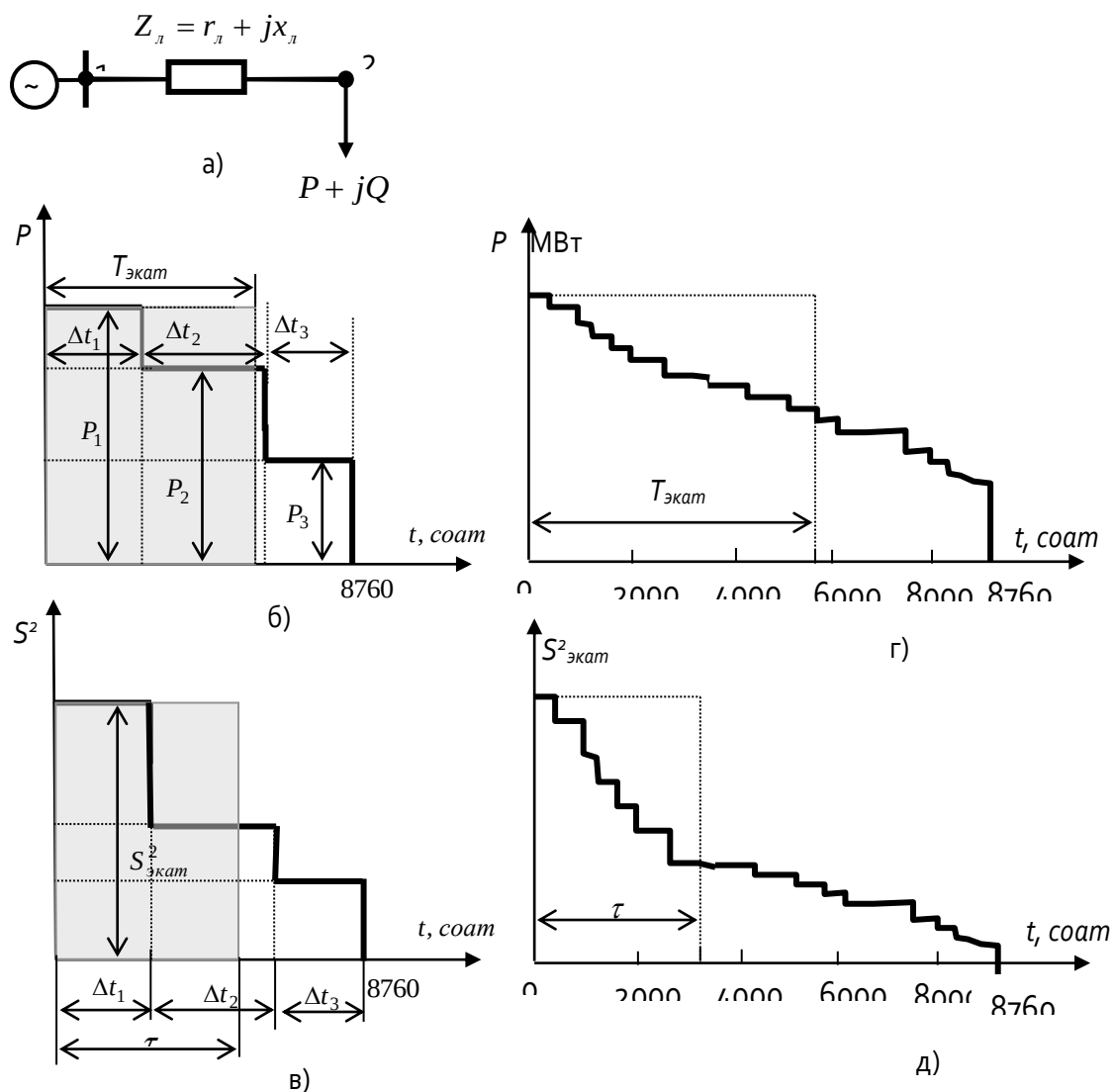
Йиллик юклама графиги бўйича йиллик энергия исрофини аниқлаш мумкин. Бунинг учун ҳар бир ҳолат учун қувват ва энергия исрофлари аниқланади. Сўнгра, бу исрофлар қўшилади ва йиллик электр энергия исрофи аниқланади.

Мисол тариқасида уч пағонали юклама графигини (18.1,б-расм) оламиз. Юклама P_1 бўлган ҳолат учун 18.1,а-расмдаги ЭУЛда қувват исрофи куйидагича ҳисобланади:

$$\Delta P_1 = \frac{S_1^2}{U_1^2} r_{\text{л}} . \quad (18.2)$$

Электр энергия исрофини ушбу ҳолат учун қувват исрофини шу ҳолатнинг давомийлик вақтига кўпайтириш орқали топамиз:

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 \Delta t_1 . \quad (18.3)$$



18.1-расм. Электр энергия исрофини юклама графиги ва максимал исрофлар вақти бўйича топиш:

а – ЭУЛнинг алмаштириш схемаси; б,г – уч пағонали ва кўп пағонали юклама графикалари; в,г – уч пағонали ва кўп пағонали S^2 графикалари

Қолган ҳолатлар учун ҳам электр энергия исрофи шу тартибда топилади. Юклама P_2 бўлган ҳолат учун

$$\Delta P_2 = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_{\text{л}} ; \quad (18.4)$$

$$\Delta W_2 = \Delta P_2 \Delta t_2 , \quad (18.5)$$

юклама P_3 бўлган ҳолат учун

$$\Delta P_3 = \frac{S_3^2}{U_3^2} r_l . \quad (18.6)$$

$$\Delta W_3 = \Delta P_3 \Delta t_3 . \quad (18.7)$$

Юқоридагилардан келиб чиқиб, N та пағонага эга бўлган кўп пағонали юклама графигининг i -пағонаси учун қувват ва йил давомидаги энергия исрофлари қуйидаги формулалар бўйича аниқланади:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} r_l, \quad i = 1, \dots, N, \quad (18.8)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i . \quad (18.9)$$

Бу ерда Δt_i -юклама графигининг i -пағонаси давомийлиги.

Δt_i вақт давомида трансформаторда қувват ва энергия исрофлари қуйидагича ҳисобланади:

$$\Delta P = \Delta P_\kappa \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_c ; \quad (18.10)$$

$$\Delta W = \left[\Delta P_\kappa \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_c \right] \Delta t_i . \quad (18.11)$$

Бу ерда $\Delta P_\kappa, \Delta P_c$ - мос равишда трансформаторнинг миси ва пўлатида исроф бўлувчи қувват; S_{2i} - трансформаторнинг иккиламчи томонида графикнинг i - пағонаси юкламаси; $S_{ном}$ - трансформаторнинг номинал қуввати.

κ та трансформатор параллел ишлаганда N та пағонали юклама графигининг i - пағонасида исроф бўлувчи қувват ва йиллик энергия исрофи мос равишда қуйидаги формулалар бўйича топилади:

$$\Delta P_i = \frac{1}{\kappa} \Delta P_\kappa \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \kappa \Delta P_c ; \quad (18.12)$$

$$\Delta W = \left[\Delta P_\kappa \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_c \right] \Delta t_i . \quad (18.13)$$

Исрофларни юклама графиги бўйича аниқлаш усулининг афзаллиги катта аниқлигидир. Аммо барча шохобчаларнинг юкламалари ҳақида маълумотнинг етарлимаслиги ушбу усулнинг қўлланилишини чеклайди.

Исрофларни аниқлашнинг энг содда усулларидан бири *энг катта исрофлар вақти бўйича* топишдир. Барча ҳолатлар ичидан қувват исрофи энг катта бўлган ҳолат аниқланади. Бу ҳолатни ҳисоблаб, бу ҳолат учун қувват исрофи $\Delta P_{экат}$ топилади. Йил давомида энергия исрофини бу қувват исрофини энг катта исрофлар вақти τ га кўпайтириб топилади:

$$\Delta W = \Delta P_{экат} \tau . \quad (18.14)$$

Энг катта исрофлар вақти шундай вақтки, агар бу вақт давомида энг катта юклама билан ишланганда исроф бўлувчи энергия йил давомида юклама графиги бўйича ишланганда исроф бўлувчи энергияга тенг бўлади, яъни,

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \Delta P_{\text{экат}} \tau, \quad (18.15)$$

бу ерда N - юклама графыи пағоналари сони.

Электр энергия исрофи ва истеъмолчи томонидан қабул қилинган электр энергия орасида қуйидаги тартибда боғланишни ўрнатиш мумкин.

Истеъмолчи томонидан қабул қилинган энергия:

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i = \Delta P_{\text{экат}} \tau, \quad (18.16)$$

бу ерда $P_{\text{экат}}$ - юклама қабул қилувчи энг катта қувват.

Энг катта юклама вақти $T_{\text{экат}}$ шундай вақтки, бу вақт давомида энг катта юклама билан ишловчи истеъмолчи тармоқдан олган энергияси бир йил давомида у юклама графиги бўйича ишлаб тармоқдан олган энергияга тенг бўлади, яъни

$$T_{\text{экат}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i}{P_{\text{экат}}}. \quad (18.17)$$

$S^2 = f(t)$ графикни курамиз (18.1, в-расм). Фараз қилайлик, юклама графигининг i -пағонасида қувват исрофининг тахминий қиймати номинал кучланиш бўйича топилади, яъни (18.8) нинг ўрнига қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_{\text{ном}}^2} r_l.$$

Агар $r_l / U_{\text{ном}}^2 = \text{const}$ эканлигини эътиборга олсак, Δt_i вақт давомида исроф бўлувчи энергия маълум масштабда $S_i^2 \Delta t_i$ га тенг, яъни томонлари Δt_i ва S_i^2 га тенг бўлган тўғри тўртбурчакнинг юзига тенг (18.1, в-расм).

Электр энергия исрофи маълум масштабда 18.1, в, д- расмдаги графикларда тасвирланган фигуралар билан чегараланган юзаларга тенг.

τ учун юқорида келтирилган таърифга мувофиқ

$$S_{\text{экат}}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i. \quad (18.18)$$

Пик қуринишидаги графиклар учун τ нинг қиймати қуйидаги империк формуладан топилади:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{\text{экат}}}{10000})^2 \cdot 8760. \quad (18.19)$$

(В.19) формулани йил учун яъни $T = 8760$ соат учун фойдаланиш мумкин. Бунга нисбатан кичик вақт давоми учун ҳисоблаш аниқлигини ошириш учун (В.19) ўрнига қуйидаги ифодадан фойдаланиш мақсадга мувофиқ:

$$\tau = 2T_{\text{кат}} - T + \frac{T - T_{\text{экат}}}{1 + \frac{T_{\text{экат}}}{T} - \frac{2P_{\text{экич}}}{P_{\text{экат}}}} \left(1 - \frac{P_{\text{экич}}}{P_{\text{экат}}} \right)^2. \quad (18.19a)$$

Қатор турли хил характерли юклама графиклари учун ҳисоблаш йўли билан $\tau = f(T_{\text{экат}}, \cos\varphi)$ боғланишни куриш мумкин ва ундан фойдаланиб, маълум $T_{\text{экат}}$ ва $\cos\varphi$ лар бўйича τ ни аниқлаш мумкин.

18.2. Электр энергия исрофини камайтириш тадбирларини классификациялаш

Ҳозирги шароитда электр тармоқларда энергия исрофини камайтириш ёқилғини тежашнинг муҳим манбаларидан бири ҳисобланади.

Электр энергия исрофини таҳлил қилганда умумий исрофни қуйидаги турларга бўлиш лозим:

энергетика системасида *электр энергия исрофининг ҳисобий миқдори* – барча электр станциялардан тармоққа берилган ва барча истемолчилар томонидан қайд этилиб, пули тўланган электр энергия миқдорлари орасидаги фарқ;

исрофнинг ҳисобий ва техник миқдори – маълум ҳолат параметрлари ва тармоқ элементларининг ҳисоб параметрлари бўйича аниқланиб, у ўтказгичларни қизиши ва электромагнит майдоннинг ҳосил бўлишига сарф бўлувчи исрофдир;

тижорат исрофлари – у ҳисобий ва техник исрофлар орасидаги фарқ сифатида аниқланиб, у қайд этиш тизимининг такомиллашмаганлиги, счетчиклар кўрсатишини олишнинг бир вақтда эмаслиги ва ноаниқлиги, фойдаланилувчи қайд этиш асбобларининг хатоликлари, қайд этилмаган истемолчиларнинг мавжудлиги; ўғирлашлар ва ҳ.к. лар билан белгиланади.

Ҳозирги даврда мавжуд электр энергия исрофини камайтириш тадбирларини уч гурпуага бўлинади: ташкилий, техник ва электр энергияни ҳисобий ва техник қайд этиш тизимини такомиллаштириш тадбирлари.

Ташкилий тадбирларни қўллаш амалда ҳеч қандай қўшимча маблағни талаб этмайди. *Техник тадбирлар* қўшимча капитал маблағларни талаб этади.

Электр энергияни техник ва ҳисобий қайд этиш тизимининг такомиллашуви исрофларни камайтириш тадбирларни танлаш бўйича ҳисоблашларни янада аниқ маълумотлар билан таъминлаш имконини беради.

Синов саволлари

1. Электр тармоқларда энергия исрофлари нима мақсадларда ҳисобланади?
2. ЭУЛда қувват исрофи қандай ҳисобланади?
3. ЭУЛда йиллик энергия исрофи юклама графиги бўйича қандай ҳисобланади?
4. ЭУЛда йиллик энергия исрофи максимал юклама ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти бўйича қандай ҳисобланади?
5. Максимал юкламадан фойдаланиш вақти нима? У юклама графиги бўйича қандай аниқланади?
6. Максимал исрофлар вақти нима? У юклама графиги бўйича қандай аниқланади?
7. Трансформаторда қувват исрофи қандай ҳисобланади?
8. Трансформаторда йиллик энергия исрофи юклама графиги бўйича қандай ҳисобланади?

9. Трансформаторда йиллик энергия исрофи максимал юклама ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти бўйича қандай аниқланади?

10. Электр тармоқда энергия исрофи қандай турларга (ташкил этувчиларга) бўлинади?

11. Электр тармоқда энергия исрофини камайтиришнинг қандай тадбирлари мавжуд? Бу тадбирларнинг маъноси нимадан иборат?

3.1. Асосий адабиётлар

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М. Энергоатомиздат, 1989, 592 с.
2. Электрические системы. Электрические сети: Учебное пособие для вузов/Под ред. А.В.Веникова и В.А.Строева. - М.: Высшая школа. 1998. - 512 с.
3. Блок В.М. Электрические сети и системы. - М.: Высшая школа, 1986, 430 с.
4. Электрические сети и системы/ Под ред. Г.И.Денисенко. - Киев, Вища школа, 1986. - 452 с.
5. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. - Т.: Молия, 1999.
6. Электрические системы в примерах и иллюстрациях: Учебное пособие для ВУЗов/Под ред.В.А.Строева. - М.: Высшая школа, 1999. - 352 с.
7. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей: Учебное пособие для студентов электроэнергетических специальностей вузов./Под ред. В.М.Блок. - М.: Высшая школа, 1990 - 383 с.
8. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование: Учеб.пособие для втузов. - 2-е изд. - Мн.: Выш.шк., 1988. - 308 с.
9. Справочник по проектированию электроэнергетических систем./Под ред. С.С.Рокотяна и И.М.Шапиро. - м.: Энергия, 1985. - 350 с.
10. “Электр тармоқлари ва системалари” фанидан лаборатория ишларини бажариш бўйича методик қўлланма. - Тошкент.: ТошПИ. 1991, 4б.(Т.Ш.Гойибов, А.М.Мирзабоев)
11. Методическое указание к лабораторным работам по курсу “Электрические сети и системы”. - Ташкент, ТашПИ, 1989, 40 с.

3.2. Қўшимча адабиётлар

12. Электрические системы. /Электрические сети/Под ред. В.А.Веникова - М.: Высшая школа, 1981. - 439 с.
13. Боровиков В.А., Косарев В.К., Ходот Г.А. Электрические сети энергетических систем. - Л.: Энергия, 1987, 391 с.
14. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях: Учебное пособие для ВУЗов/Ю.Н.Астахов, В.А.Веников, В.В.Ежков и др. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

