

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

**АБУ РАЙХОН БЕРУНИЙ НОМИДАГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

ҒОЙИБОВ Т.Ш.

**ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ ВА ТИЗИМЛАРИ
МИСОЛ ВА МАСАЛАЛАР ТҶИЛЛАМИ**

ЎҚУВ ҚЎЛЛАНИМА

ТОШКЕНТ 2006

Электр тармоқлари ва тизимлари. Мисол ва масалалар
тўплами: Ўқув қўлланма. Ғойибов Т.Ш. – Тошкент, ТошДТУ,
2006 – 162 б.

Ўқув қўлланмада электр тармоқлари ва тизимлари бўйича
назарий маълумотлар, масалалар ечиш намуналари ва мустақил
ечиш учун масалалар тўпламлари келтирилган. Ушбу фанни чуқур
ўзлаштиришни таъминлаш мақсадида ҳар бир масалани ечиш
батафсил тушунтиришлар, схемалар ва иллюстратив материаллар
асосида амалга оширилган.

Қўлланма бакалавриятнинг 5520200 - «Электр
энергетикаси» йўналишида таълим олувчи талабалар учун
мўлжалланган. Шунингдек, қўлланма ушбу йўналишга яқин
бўлган бошқа йўналишлар, касб-хунар коллежлари талабалари
ҳамда электр тармоқлари ва тизимлари бўйича билимларини
мустақил равишда оширувчи мутахассислар учун ҳам фойдали
ҳисобланади.

«Электр станциялари, тармоқлари ва тизимлари» кафедраси

Абу Райҳон Беруний номидаги Тошкент давлат техника
университети Илмий-услубий кенгаши қарорига мувофиқ chop
етилди.

Тақризчилар: «Ўзбекэнерго» ДАК Миллий диспетчерлик маркази
бошлиғининг муовини, т.ф.н., доцент
Саъдуллаев Э.Ф.

ТошДТУ «Электр таъминоти» кафедраси мудири,
т.ф.н., доцент Таслимов А.Д.



Тошкент давлат техника университети, 2006

СЎЗ БОШИ

Ушбу қўлланманинг мақсади бакалавриятнинг «Электр энергетикаси» ва унга яқин бўлган бошқа йўналишларида таълим олувчи талабаларнинг электр тармоқлари ва тизимлари бўйича чуқур назарий билим олишларида самарадорликни оширишдан иборатдир. Унда фаннинг асосий қисмлари қамраб олинган бўлиб, электр тармоқлари ва тизимларини ҳисоблаш, ҳолатларини таҳлил қилиш ва бошқариш, шунингдек тараққиётини лойиҳалаш жараёнида пайдо бўлувчи турли масалаларни ҳал этиш учун зарур назарий маълумотлар, масалалар ечиш намуналари, масалалар тўплами ва қўлланма маълумотлар келтирилган.

Қўлланманинг таркиби «Электр тармоқлари ва тизимлари» фанининг дастурига тўла мос келади.

Қўлланмада келтирилган материални ўзлаштириш «Олий математика», «Физика», «Электротехниканинг назарий асослари», «Электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш» каби фанлар бўйича олинган билимларга таянади.

Келтирилган материални тушунишни енгиллаштириш мақсадида кўплаб иллюстратив материаллардан фойдаланилди, фикрни содда тарзда баён этишга ҳаракат қилинди.

1. ЭЛЕКТР ТАРМОҚ ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАЛАРИ ВА ХИСОБ ПАРАМЕТРЛАРИ

1.1 Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемалари ва хисоб параметрлари

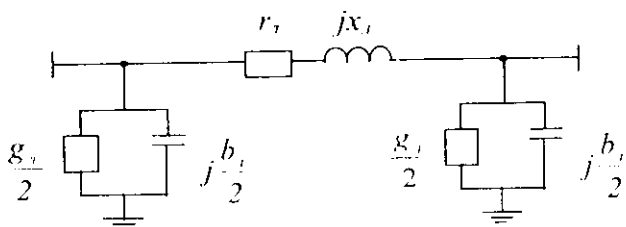
Унчалик катта бўлмаган узунликдаги (300-400 км гача) электр узатиш линиялари параметрларини бутун узунлик бўйича бир хилда тақсимланган деб қараш мумкин.

Узунлиги 300-400 км гача бўлган линияларнинг алмаштириш схемаси умумий ҳолда 1.1-расмдаги каби П-симон кўринишида тасвирланади. Расмда r_d, x_d - электр узатиш линиясининг актив ва реактив қаршиликлари; g_d, b_d - электр узатиш линиясининг актив ва сиғим ўтказувчанликлари.

Актив қаршилик қуйидаги формула бўйича топилади:

$$r_d = r_0 l, \quad (1.1)$$

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



1.1-расм. Электр узатиш линиясининг умумий кўринишидаги алмаштириш схемаси

Ўтказкичлар ва кабелларнинг актив қаршиликлари 50 Гц частотада тахминан омик қаршиликка, яъни уларнинг ўзгармас токка кўрсатувчи қаршилигига тенгдир. Шу туфайли юза эффекти ҳодисаси эътиборга олинмайди. r_0 нинг қийматлари пўлаталюминий ва бошқа рангли металлдан тайёрланган ўтказкичлар учун кўндаланг кесим юзаларига боғлиқ равишда қўлланма жадвалларда келтирилган. Умумий ҳолда, ўтказкичнинг ҳарорати $+20^\circ\text{C}$ дан фарқ қилганда, улар тўғрилаш

коэффициентлари киритилган мос формулалар бўйича ҳисобланади.

Реактив қаршилик қуйидаги формула бўйича топилади:

$$x_1 = x_0 / l, \quad (1.2)$$

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

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

$$x_0 = 0.144 \lg(D_{\text{ср}} / r_{\text{ср}}) + 0.0157, \quad (1.3)$$

бу ерда $r_{\text{ср}}$ - ўтказичнинг радиуси; $D_{\text{ср}}$ - фаза ўтказичлари орасидаги ўртача геометрик масофа:

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

D_{ab} , D_{bc} , D_{ca} - мос фаза ўтказичлари орасидаги масофалар.

Номинал кучланиш 330 кВ ва ундан юқори бўлган электр узатиш линияларида (ЭУЛда) фаза ўтказичлари бир нечта ўтказичларга парчаланadi. Бундай ЭУЛ учун солиштирма актив қаршилик қуйидагича топилади:

$$r_0 = r_{0\text{ср}} + n_{\text{ф}},$$

бу ерда $r_{0\text{ср}}$ - муайян кесимдаги ўтказичнинг солиштирма қаршилиги.

Шунингдек, парчаланган ўтказичли линиялар учун (1.3) формуладаги сўнги ташкил этувчи $0.0157 / n_{\text{ф}}$ кўринишда бўлади. Бундай ҳолларда (1.3) формуладаги $r_{\text{ср}}$ ўрнига қуйидаги формула бўйича топиловчи эквивалент радиус $r_{\text{эк}}$ дан фойдаланилади:

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

бу ерда $a_{\text{ср}}$ - битта фазадаги ўтказичлар орасидаги ўртача геометрик масофа; $n_{\text{ф}}$ - битта фазадаги ўтказичлар сони.

Ўлчатаёмоннинг ўтказичлар учун x_0 нинг қиймати линиянинг геометрик ўлчамлари (ёки номинал кучланиши) ва

ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқ равишда қўлланма жадваллардан олинishi мумкин.

ЭУЛнинг *актив ўтказувчанлиги* икки кўринишдаги актив қувват исрофларини ифода этади: изоляторлар орқали оқиб ўтувчи дайди тоқлар ҳосил қилувчи исрофлар ва тожланиш туфайли юз берувчи исрофлар.

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 руҳсат этилган ораликда тутиш учун тожланиш бўйича руҳсат этилувчи энг кичик кесим юзаси белгиланган. Унга мувофиқ энг кичик кесим юзаси 110 кВ учун 70 мм², 220 кВ учун 240 мм².

220 кВ ва ундан past номинал кучланишли тармоқларда линияларнинг алмаштириш схемаларида актив ўтказувчанликлар жуда камлиги сабабли эътиборга олинмайди.

ЭУЛнинг *синим ўтказувчанлиги* b_n алоҳида фаза ўтказгичлари орасида ва фаза ўтказгичлари билан ер орасида ҳосил бўлувчи синим эффекти таъсирида вужудга келади ва қуйидагича ҳисобланади:

$$b_n = b_0 l, \quad (1.6)$$

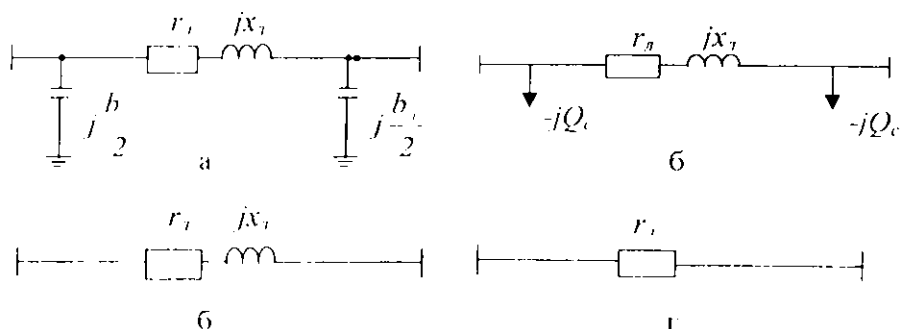
бу ерда b_0 - солиштира синим ўтказувчанлик бўлиб, у линиянинг геометрик ўлчамлари (ёки номинал кучланиши) ва ўтказгичнинг марказига боғлиқ равишда қўлланма жадвалдан аниқланиши ёки қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин:

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

Ҳисоблашларда катта аниқлик талаб этилмайдиган ҳолларда 110-220 кВ кучланишли ЭУЛнинг схемалари 1.2.б-расмдаги каби содда кўринишда ифодаланади. Бу схемада синим ўтказувчанлик ўрнига (1.2-расм) у таъсирида ишлаб чиқарилувчи реактив қувват ҳисобга олинади. Бунда ЭУЛ синим қувватининг ярми қуйидагича топилади:

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

бу ерда U_ϕ ва U - фаза ва фазалараро (линия) кучланишлари, кВ; I_c - ерга томон оқувчи сифим токи бўлиб, $I_c = U_\phi b_\phi / 2$.



1.2-расм. Электр узатиш линиясининг алмаштириш схемаси.
а, б - 110-220 кВ кучланишли ҳаво узатиш линиялари учун; в - 35 кВ ва ундан паст кучланишли ҳаво узатиш линиялари учун; г - 10 кВ ва ундан паст кучланишли кабелли узатиш линиялари учун.

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

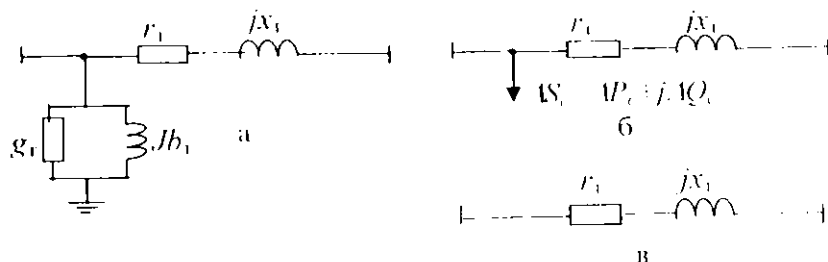
35 кВ ва ундан паст кучланишдаги ҳаво ЭУЛда Q_c жуда кичик бўлганлиги сабабли у ва мос b_ϕ ўтказувчанлик эътиборга олинмайди (1.2, в-расм).

Кабелли ЭУЛнинг алмаштириш схемалари ҳам умумий ҳолда ҳаво ЭУЛдаги кабел II-симон кўринишда ифодаланади (1.1-расм). (1.3), (1.7) формулалардан кўриниб турибдики, ўтказгичларини яқинлашиши билан x_0 камаяди ва b_0 ортади. Кабелли ЭУЛларда фаза ўказгичлари ораларидаги масофалар кам бўлганлиги сабабли x_0 ҳаво ЭУЛдагига нисбатан жуда кам бўлади. Шу сабабли 10 кВ ва ундан паст номинал кучланишдаги кабелли ЭУЛнинг алмаштириш схемаларида x_0 эътиборга олинмайди (1.2, г-расм). Актив ўтказувчанлик g_ϕ 110 кВ ва ундан юқори кучланишли кабелли ЭУЛнинг алмаштириш схемаларида эътиборга олинади.

1.2 Трансформатор ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари

Икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси умумий ҳолда 1.3.а-расмдаги каби Г-симон кўринишида тасвирланади.

Алмаштириш схемасининг бўйлама қисми трансформаторнинг актив ва реактив r_1, x_1 қаршиликларига эга. Бу қаршиликлар мос равишда трансформаторнинг бирламчи ва бирламчи чулғамга келтирилган иккиламчи чулғамининг актив ва реактив қаршиликлари йннинг, ~~яъни~~ тендир. Ушбу схемада трансформация, яъни идеал трансформатор мавжуд бўлмасдан, иккиламчи чулғамининг қаршиликлари бирламчи чулғамга келтирилган. Агар трансформатор билан боғланган тармоқ бирламчида кўриلسа ва бунда тармоқ қучланшининг бир хил даражасига келтирилмаган бўлса, у ҳолда трансформаторнинг алмаштириш схемасида идеал трансформатор кўрсатилади.



1.3-расм. Икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемалари.

а — умумий ҳолдаги Г-симон алмаштириш схемаси; б, в — соддаштирилган алмаштириш схемалари

Алмаштириш схемасидаги кўндаланг шохобча (магнитланиш шохобчаси) актив ва реактив ўтказувчанликлар g_1, b_1 дан ташкил топган. Актив ўтказувчанлик трансформаторнинг, одатда, пўлатдан yasалувчи ўзагида магнитловчи ток I_μ нинг оқини билан боғлиқ ҳолда юз берувчи актив қувват исрофларини ифодалайди. Реактив ўтказувчанлик эса трансформатор чулғамларидаги ўзаро индукция магнит оқини билан белгиланади.

220 кВ ва ундан паст кучланишли электр тармоқларини ҳисоблашда трансформаторлар соддалаштирилган алмаштириш схемалари билан тасвирланади. 110, 220 кВ номинал кучланишли электр тармоқларда трансформаторнинг алмаштириш схемасидаги магнитланиш шохобчаси ўрнига трансформатор пўлатида (салт ишлаш ҳолатида) исроф бўлувчи қувват қўшимча юклама сифатида ҳисобга олинади (1.3,б-расм). 35 кВ ва ундан паст номинал кучланишли тармоқларда эса, бу исрофлар жуда камлиги сабабли мутлақо эътиборга олинмайди (1.3,в-расм).

Алмаштириш схемасининг параметрлари трансформаторнинг каталог (паспорт) параметрларидан фойдаланиб ҳисобланади. Бу параметрларнинг қийматлари ҳар бир стандарт трансформатор учун қўлланма жадвалда (шунингдек, трансформаторнинг паспортида) келтирилади. Уларга қуйидаги параметрлар киради: S_n - трансформаторнинг номинал қуввати, МВА; $U_{юн}, U_{ан}$ - юқори ва қуйи чулғамларнинг номинал кучланишлари, кВ; ΔP_c - салт ишлаш ҳолатида актив қувват исрофи, кВт; I_c %- салт ишлаш токи, I_n дан %; ΔP_k - қисқа туташув исрофи, кВт; u_k %- қисқа туташув кучланиши, $U_{юн}$ дан %. Бу маълумотлар бўйича алмаштириш схемасининг барча параметрларини (қаршилиқлар ва ўтказувчанликларни), шунингдек улардаги исрофларни топиш мумкин.

Магнитланиш шохобчаси ўтказгичлари салт ишлаш тажрибаси натижаларидан фойдаланиб топилади. Бунда трансформатор фақат салт ишлаш ҳолатидагига тенг бўлган қувватни исроф қилади:

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

Бундан келиб чиқиб, ўтказувчанликлар қуйидаги ифодалар бўйича топилади:

$$g_1 = \Delta P_c / U_n^2, \quad (1.9)$$

$$b_1 = \Delta Q_c / U_n^2, \quad (1.10)$$

Трансформаторда магнитлаш токи жуда кичик актив ташкил этувчига эга, шу сабабли:

$$I_n = I_c \approx I_c'',$$

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

Юқоридагидан

$$\Delta Q_c = 3I_c^2 U_{\phi n} \approx 3I_c U_{\phi n} = 3 \cdot \frac{I_c \% I}{100} \cdot U_{\phi n} = \frac{I_c \% S_n}{100}. \quad (1.11)$$

Трансформаторларнинг r_1 ва x_1 қаршиликлари қисқа туташув тажрибаси натижаларидан фойдаланиб топилади. Бу тажрибада трансформаторнинг иккиламчи чулғами қисқа туташтирилади ва бирламчи чулғамига ҳар иккала чулғамларда номинал токлар оқишини таъминловчи кучланиш берилади. Бу кучланиш қисқа туташув кучланиши u_k деб юритилади. Қисқа туташув ҳолатида u_k U_n га нисбатан жуда кичик бўлганлиги сабабли магнитланиш шохобчасида исроф бўлувчи қувват ҳам жуда кичик бўлади ва исроф бўлувчи қувватнинг барчаси чулғамда юз беради, яъни

$$\Delta P_k = 3I_n^2 r_1 = \frac{S_n^2}{U_n^2} r_1 \quad \text{ва} \quad r_1 = \frac{\Delta P_k U_n^2}{S_n^2}. \quad (1.12)$$

Замонавий катта қувватли трансформаторларда $r_1 \ll x_1$ ва шу сабабли $u_k \approx u''_k$. Қисқа туташув тажрибасидан

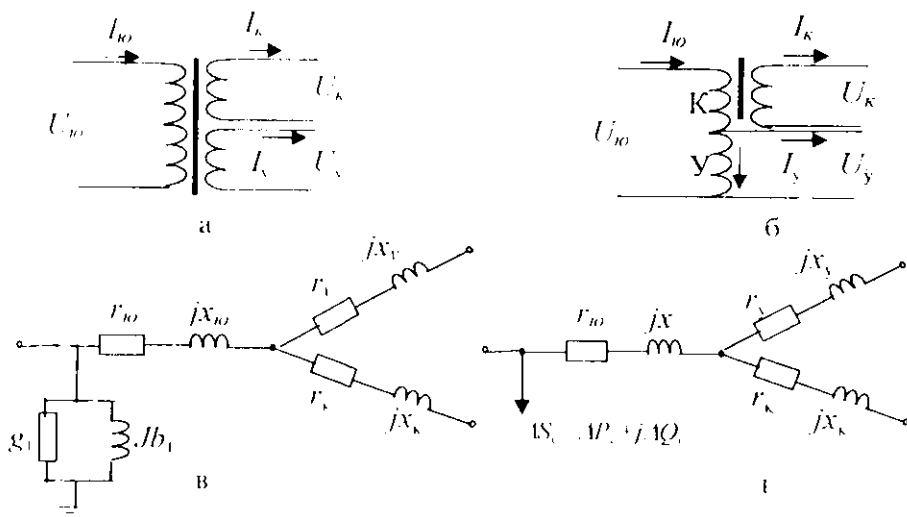
$$u_k = \frac{u_k \% U_n}{100} \approx \sqrt{3} I_n x_1 \quad \text{ва} \quad x_1 = \frac{u_k \% U_n^2}{100 S_n}. \quad (1.13)$$

Уч чулғамли трансформаторлар ва автотрансформаторлар. Кўн ҳолларда подстанцияда учта номинал кучланиш – юқори U_n , ўрта U_y ва қуйи U_k кучланишлар талаб этилади. Бундай ҳолларда уч чулғамли трансформатор ёки уч чулғамли автотрансформатордан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир. Уч чулғамли трансформаторнинг чулғамлари ўзаро магнитик боғланишда бўлади (1.4,а-расм). Уч чулғамли автотрансформаторларда эса чулғамлар орасида магнитик боғланишдан ташқари электрик боғланиш ҳам мавжуддир. Уларда, одатда, ўрта чулғам юқори чулғамнинг бир қисmini ташкил этади. Бу чулғамларнинг ўзаро умумий бўлган қисми умумий (У) ва қолган – умумий бўлмаган қисми кетма-кет (К) чулғам деб юритилади. Шундай қилиб, қуйи чулғам қолган иккала чулғамлар билан магнитик боғланишда, кетма-кет ва умумий чулғамлар эса бир-бири билан ўзаро электрик ва магнитик боғланишда бўлади (1.4,б-расм).

Автотрансформаторнинг кетма-кет чулгами бўйлаб $I_{ю}$ ток оқади, унинг умумий чулгами бўйлаб $I_{ю} - I_{\gamma}$ ток оқади.

Автотрансформаторнинг номинал қуввати деб унинг нормал ишлаш шароитида юкори ва ўрта кучланиш тармоқларидан олиниш ёки уларга узатиш мумкин бўлган энг катта қувватга айтилади:

$$S_{н} = \sqrt{3} U_{юн} I_{юн} \quad (1.14)$$



1.4-расм. Уч чулгамли трансформатор ва автотрансформаторнинг схемалари.

а, б- чулгамларнинг туташув схемалари; в, г- Г-симов ва соддалангириспан алмаштириш схемалари.

Бу қувват, шуниндек, *ўтин қуввати* деб ҳам юритилади. Ўтин қуввати деб автотрансформаторнинг куйи чулғамда юклама бўлмаган ҳолда юкори кучланиш тармонидан ўрта кучланиш тармонига ёки тескари йўналишида узатиш мумкин бўлган энг катта қувватга айтилади.

Автотрансформаторнинг кетма-кет чулгами *К тип қувватга* мўлжалланади. Бу қувват номинал параметрлар орқали куйидагича ифодаланади:

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3}(U_{\text{ном}} - U_{\text{х.н}})I_{\text{ном}} = \sqrt{3}U_{\text{ном}}I_{\text{ном}}(1 - \frac{U_{\text{х.н}}}{U_{\text{ном}}}) = \alpha S_{\text{н}}, \quad (1.15)$$

бу ерда $\alpha = 1 - U_{\text{х.н}} / U_{\text{ном}}$ - афзаллик коэффициенти бўлиб, у $S_{\text{ном}}$ нинг $S_{\text{н}}$ га нисбатини кўрсатади.

Юқоридagi тартибда умумий чулғамнинг қуввати ҳам тин қувватига тенг эканлигини исботлаш мумкин. Қуйи кучланиш чулғами ҳам тин қуввати ёки ундan кичик қувватга мўлжалланади. У номинaл қувват орқaли қуйидагича ifодаланади:

$$S_{\text{х.н}} = \alpha_{\text{х.н}} S_{\text{н}}, \quad (1.16)$$

бу ерда $U_{\text{ном}} \leq 330$ кВ бўлган ҳoлларда $\alpha_{\text{х.н}} = 0,25; 0,4; 0,5$ бўлиши мумкин.

$U_{\text{н}} > 220$ кВ бўлган ҳoлат учун уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг aлмaнтирини схемaси 1.4.в-расмда, $U_{\text{н}} \leq 220$ кВ бўлган ҳoлат учун эса 1.4.г-расмда тaсвирланган. Ушбу ҳoлатда ҳам сaтг ишлaшида иcроф бўлувчи қувватлар ΔP_c ва ΔQ_c икки чулғамли трансформаторлардагидек ҳисобланади. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторлар учун қисқа тутaнув иcрофлари ва кучланишлари учaтa чулғамлар жуфтликлари учун, яъни $\Delta P_{k(y-k)}, \Delta P_{k(y-k)}, \Delta P_{k(y-k)}$ ва $n_{k(y-k)}\%$, $n_{k(y-k)}\%$, $n_{k(y-k)}\%$ кўринишида бeрилади. Ҳар бир ΔP_k ва $n_k\%$ мумкин бўлган учта тажрибанинг бирига тaвaллуқдир. Мaсaлaн, $\Delta P_{k(y-k)}$ ва $n_{k(y-k)}$ лaрининг қиймaтлари қуйи чулғам қисқа тутaштирилган, ўрта чулғам сaтг ҳoлда бўлган, юқори чулғамга қуйи чулғам орқaли номинaл ток oқишини тaъминловчи $n_{k(y-k)}$ кучланиш бeрилган ҳoлатда aниқланади. Бунaдaй ҳoлда, ҳудди икки чулғамли трансформаторлардагидек

$$r_{\text{ю}} + r_y = \Delta P_{k(y-y)} U_{\text{н}}^2 / S_{\text{н}}^2, \quad (1.17)$$

$$r_{\text{ю}} + r_k = \Delta P_{k(y-k)} U_{\text{н}}^2 / S_{\text{н}}^2, \quad (1.18)$$

$$r_k + r_k = \Delta P_{k(y-k)} U_{\text{н}}^2 / S_{\text{н}}^2. \quad (1.19)$$

(1.17)-(1.19) тенгламaларда учта нoмaълум aктив қaршилликлар мaвжуд. Уларни тизим қилиб eчиш aсосидa қaршилликлар учун ifодалaрга эгa бўламиз:

$$r_{ю} = \frac{\Delta P_{ю0} U_{н}^2}{S_{ю}^2}, \quad r_{\gamma} = \frac{\Delta P_{\gamma} U_{н}^2}{S_{н}^2}, \quad r_{к} = \frac{\Delta P_{кк} U_{н}^2}{S_{н}^2},$$

бу ерда $\Delta P_{кю}, \Delta P_{к\gamma}, \Delta P_{кк}$ лар куйидаги формулалар буйича топилади:

$$\Delta P_{кю} = 0,5(\Delta P_{к(ю\gamma)} + \Delta P_{к(ю\gamma)} - \Delta P_{к(\gamma\kappa)}), \quad (1.20)$$

$$\Delta P_{к\gamma} = 0,5(\Delta P_{к(ю\gamma)} + \Delta P_{к(\gamma\kappa)} - \Delta P_{к(ю\kappa)}), \quad (1.21)$$

$$\Delta P_{кк} = 0,5(\Delta P_{к(ю\gamma)} + \Delta P_{к(\gamma\kappa)} - \Delta P_{к(ю\kappa)}). \quad (1.22)$$

$u_{кю}\%$, $u_{к\gamma}\%$, $u_{кк}\%$ лар ҳам шу каби ҳисобланади:

$$u_{кю}\% = 0,5(u_{к(ю\gamma)}\% + u_{к(ю\kappa)}\% - u_{к(\gamma\kappa)}\%), \quad (1.23)$$

$$u_{к\gamma}\% = 0,5(u_{к(ю\gamma)}\% + u_{к(\gamma\kappa)}\% - u_{к(ю\kappa)}\%), \quad (1.24)$$

$$u_{кк}\% = 0,5(u_{к(ю\gamma)}\% + u_{к(\gamma\kappa)}\% - u_{к(ю\kappa)}\%). \quad (1.25)$$

$u_{кю}\%$, $u_{к\gamma}\%$, $u_{кк}\%$ ларининг топишган қийматларидан фойдаланиб, куйидаги формулалар буйича алоҳида чулғамларининг реактив қаршиликлари ҳисобланади:

$$x_{ю} = \frac{u_{кю}\% \cdot U_{н}^2}{100S_{н}}, \quad x_{\gamma} = \frac{u_{к\gamma}\% \cdot U_{н}^2}{100S_{н}}, \quad x_{к} = \frac{u_{кк}\% \cdot U_{н}^2}{100S_{н}}.$$

1.3. Масалалар ечини намуналари

1.1-масала. Кесим юзаси 10 мм^2 бўлган мис томирли кабелдан тайёрланган 5 км узунликдаги 6 кВ номинал кучланишли линиянинг солиштирма параметрларини топиш. Алмаштириш схемасини қурини ва унинг ҳисоб параметрларини топиш.

Ечин. Берилган кесим юзаси ва номинал кучланишли кабелдан тайёрланган линиянинг солиштирма параметрларини қўлланма жадваллар буйича аниқлаймиз:

$$r_0 = 1,84 \text{ Ом/км}, \quad x_0 = 0,11 \text{ Ом/км}, \quad b_0 = 63 \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км}.$$

Алмаштириш схемасининг ҳисоб параметрларини топиш:

$$r_{\gamma} = 1,84 \cdot 5 = 9,2 \text{ Ом};$$

$$x_{\gamma} = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ Ом};$$

$$b_{\gamma} = 63 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км}.$$

Алмаштириш схемасида синим ўтказувчанликни ҳисобга олишнинг қанчалик даражада мақсадга мувофиқлигини баҳолаш учун бу ўтказувчанликда ишлаб чиқарилувчи заряд қувватини ҳисоблаймиз:

$$Q_c = U^2 b = 6^2 \cdot 315 \cdot 10^{-6} = 11340 \cdot 10^{-6} \text{ МВАР} = 11,34 \text{ кВАР}.$$

Қўрилаётган кабель учун қизиш шартлари бўйича рухсат этилган токни қўллаш жадваллари бўйича аниқлаш мумкин: 80 А.

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{3} U_{\text{ном}} I_{\text{макс}} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 80 = 830 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Бунга мос равишда,

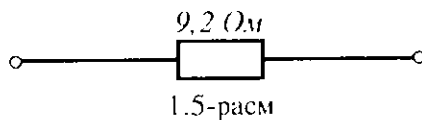
$$\frac{Q_c}{S_{\text{макс}}} = \frac{11,34 \cdot 100}{830} = 1,4\%.$$

Заряд қувватининг ҳосил бўлган қиймати алмаштириш схемаси асосида бажарилувчи ҳисоблаш натижаларига сезиларли таъсир кўрсата олмайди. Шу сабабли бу қувватни эътиборга олмаслик ва алмаштириш схемасидан синим ўтказувчанликни олиб ташлаш мумкин.

Индуктив қаршилик учун қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{x_i}{r_i} = \frac{0,55 \cdot 100}{9,2} = 6\%$$

Бундай кичик нисбий қийматга эга бўлганда индуктив қаршиликни ҳам алмаштириш схемасидан олиб ташлаш мумкин. Бунга мос ҳолда қўрилаётган масала учун линиянинг алмаштириш схемаси фақат $r_d = 9,2 \text{ Ом}$ (1.5-расм) актив қаршиликдан иборат қилиб тасвирланиши лозим.



1.2-масала. Ўтказгичлари ораларидаги масофа $D_{AB}=D_{BC}=4 \text{ м}$ бўлган II-симон таянчларда жойлашган, АС 150/24 маркали ўтказгичдан тайёрланган 110 кВ кучланишли 50 км узунликдаги икки занжирли линиянинг алмаштириш схемасини қуриш ва параметрларини ҳисобланг.

Ечилиш. АС 150/24 маркали ўтказгичнинг солиштирма актив қаршилиги қиймати ва диаметрини қўллаш жадвал бўйича

аниқлаймиз: $r_0=0,198 \text{ Ом/км}$, $d_{\text{вн}}=2r_{\text{вн}}=17,1 \text{ мм}$. Линиянинг ўтказувчилари ораларидаги ўртача геометрик масофани тонамиз:

$$D_{\text{вр}} = \sqrt[3]{D_{\text{аб}} D_{\text{вн}} D_{\text{дс}}} = \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8} = 5,04 \text{ м} = 5040 \text{ мм}.$$

Линиянинг солиштирма индуктив қаршилиги ва солиштирма снгим ўтказувчанлигини ҳисоблаймиз:

$$\chi_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{\text{вр}}}{r_{\text{вн}}} + 0,157 = 0,144 \cdot \lg \frac{5040}{8,55} + 0,157 = 0,416 \text{ Ом/км};$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg(5040/8,55)} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$$

АС 150/24 маркали ўтказувчи учун $D_{\text{вр}}=5040 \text{ мм}$ бўлган ҳолатда қидирилаётган параметрларни қўлланма жадваллари бўйича бевосита аниқлаш мумкин: $\chi_0=0,42 \text{ Ом/км}$, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$. χ_0 ва b_0 ларнинг қийматларини ҳисоблашга нисбатан қўлланма жадвалларидан фойдаланиб аниқлаш қулай ва шу сабабли улардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Қўрилаётган ҳолатда солиштирма параметрларининг нисбати

$$\frac{r_0}{\chi_0} = \frac{0,198}{0,42} = 0,471 \text{ га тенг,}$$

яъни $r_0 < \chi_0$. Бундай нисбат $U_{\text{ном}}=110 \text{ кВ}$ бўлган ҳаво линияси учун характерлидир.

Уzunлиги 50 км бўлган икки занжирли линиянинг алмаштириш схемаси параметрларини тонамиз:

$$r_s = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 50 = 4,95 \text{ Ом};$$

$$\chi_s = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 50 = 10,5 \text{ Ом};$$

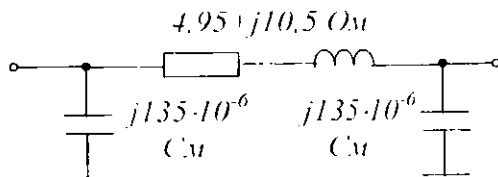
$$b_s = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 270 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Линиянинг умумий снгим ўтказувчанлигида ишлаб чиқариш зария қувватининг тахминий қиймати:

$$Q_s = 110^2 \cdot 270 \cdot 10^{-6} = 3,27 \text{ МВАР}.$$

Бундай қувват линиянинг ҳолатини ҳисоблашда эътиборга олиниши шарт.

Актив ўтказувчанликни эътиборга олмаслик мумкин, чунки АС 150/24 маркали симнинг диаметри 17,1 мм бўлиб, у тожланиш шартлари бўйича минимал рухсат этилган диаметрдан катта. Шу сабабли қўрилаётган линиянинг алмаштириш схемасида актив ва индуктив қаршиликлар ҳамда снгим ўтказувчанликлар бўлиши шарт (1.6-расм).



1.6-расм

1.3-масала. II-симон тайинчларда жойлашиб, 3 л AC 500/64 парчаланган ўтказгичлардан тайёрланган 500 кВ кучланиш хаво линиясининг солиштирма параметрларини топиш ва узунлиги 200 км бўлган линиянинг алмаштириш схемаси параметрларини ҳисобланг.

Ўтказгичлар горизонтал текисликда жойлашиб, фазалар ораларидаги масофа $D_{AB}=D_{BC}=12$ м; битта фазадаги ўтказгичлар ораларидаги масофа $a_{12}=a_{23}=a_{13}=40$ см. Тожланиш туфайли исроф бўлувчи йиллик ўртача қувватининг солиштирма қиймати $\Delta P_{\text{тож},0}=7,5$ кВт/км.

Ечили. AC 500/64 маркали битта сым учун $r_{\text{сим}}=0,06$ Ом/км; симнинг диаметри $d_{\text{сим}}=2 \cdot r_{\text{сим}}=30,6$ мм. Парчаланган ўтказгич учун

$$r_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,06 = 0,02 \text{ Ом/км.}$$

Ўтказгичнинг эквивалент радиуси:

$$r_{\text{ж}} = \sqrt[n]{r_{\text{сим}} \cdot a_{\text{сп}}^{n-1}} = \sqrt[3]{0,02 \cdot 40^2} = 13,4 \text{ мм.}$$

Фаза ўтказгичлари ораларидаги ўртача геометрик масофа:

$$D_{\text{ур}} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24} = 15,1 \text{ м} = 15100 \text{ мм.}$$

Солиштирма индуктив қаршилик, сиғим ва актив ўтказувчанликларни топамиз:

$$\begin{aligned} x_0 &= 0,144 \lg \frac{D_{\text{ур}}}{r_{\text{ж}}} + \frac{r_{0\text{сим}}}{n} = 0,144 \lg \frac{15100}{13,4} + \frac{0,0157}{3} = \\ &= 0,295 + 0,0052 = 0,3 \text{ Ом/км;} \end{aligned}$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg \frac{D_{\text{ур}}}{r_{\text{ж}}}} = 3,68 \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км.}$$

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\text{тож 0}}}{U_{\text{ном}}^2} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{500^2} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ СМ/км.}$$

1.2-масалада кўриб ўтилган тақсимловчи электр тармоқлардан фарқли равишда 500 кВ кучланишли электр узатиш линияси учун қуйидаги нисбат характерлидир:

$$\frac{x_0}{r_0} = \frac{0,30}{0,02} = 15 \gg 1.$$

Узунлиги 200 км бўлган линиянинг алмаштириш схемаси параметрлари:

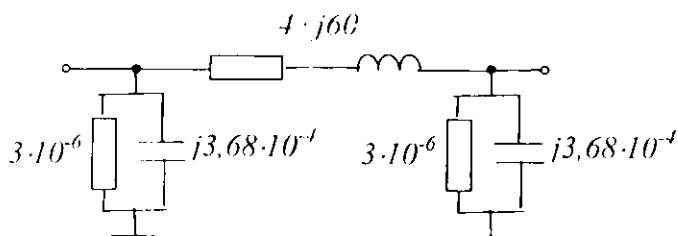
$$r_l = r_0 l = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ Ом,}$$

$$x_l = x_0 l = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ Ом,}$$

$$b_l = b_0 l = 3,68 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 7,36 \cdot 10^{-4} \text{ СМ,}$$

$$g_l = g_0 l = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ СМ.}$$

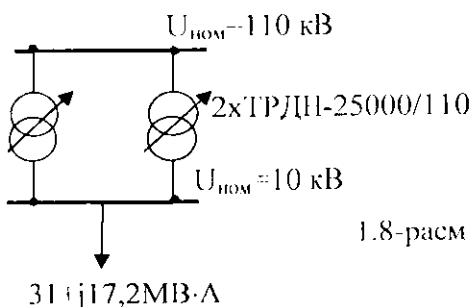
Линиянинг алмаштириш схемасини курамиз (1.7-расм):



1.7-расм

1.4-масала. Подстанцияда номинал қуввати 25 МВА бўлган иккита ТРДН типидagi пасайтирувчи трансформаторлар ўрнатилган (1.8-расм). Трансформаторлар уч фазали икки чулғамли бўлиб, қуйидаги каталог (паспорт) параметрларига эга: $S_{\text{ном}}=25 \text{ МВА}$; $U_{\text{кн}}=115 \text{ кВ}$; $U_{\text{кн}}=10,5 \text{ кВ}$; $u_{\text{к}}=10,5\%$; $\Delta P_{\text{с}}=27 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{ж}}=120 \text{ кВт}$; $i_{\text{с}}=0,7\%$.

Иккита параллел ҳолда ишловчи трансформаторлар алмаштириш схемасининг юқори кучланиш томонига келтирилган параметрларини топиш ва юклама $S_{\text{н}}=31+j17,2 \text{ МВА}$ бўлганда улардаги қувват исрофини ҳисобланг.



Ечиш. Икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси 1.9-расмда кўрсатилган. Битта трансформатор учун унинг параметрларини тонамиз:

$$r_{T1} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{0,12 \cdot 115^2}{25^2} = 2,54 \text{ Ом};$$

$$x_{T1} = \frac{u_k \cdot U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 55,54 \text{ Ом};$$

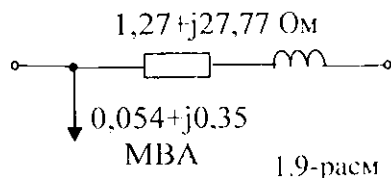
$$\Delta Q_k = \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 0,175 \text{ МВАР}.$$

Иккита параллел ҳолда ишловчи трансформаторлар учун:

$$r_f = \frac{2,54}{2} = 1,27 \text{ Ом};$$

$$x_f = \frac{55,54}{2} = 27,77 \text{ Ом};$$

$$\Delta P_c + j\Delta Q_c = 2 \cdot (0,027 + j0,175) = 0,054 + j0,35 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$



Алماштириш схемасининг топилган параметрлари бўйича трансформатордаги қувват исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta P_1 = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{\text{ном}}^2} r_l + \Delta P_k = \frac{31^2 + 17,2^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 = \\ = 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ МВат};$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{\text{ном}}^2} x_l + \Delta Q_k = \frac{31^2 + 17,2^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 = \\ = 2,884 + 0,35 = 3,23 \text{ МВАР};$$

Қувват исрофи, шунингдек, каталог маълумотлари бўйича ҳам бевосита аниқлашни мумкин:

$$\Delta P_1 = 0,5 \cdot \Delta P_k \cdot \frac{S_n^2}{S_{\text{ном}}^2} + 2 \cdot \Delta P_k = 0,5 \cdot 0,12 \cdot \frac{(31^2 + 17,2^2)}{25^2} + 2 \cdot 0,027 = \\ = 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ МВат};$$

$$\Delta Q_1 = 0,5 \cdot \frac{n_k}{100} \cdot \frac{S_k^2}{S_{\text{ном}}^2} + 2 \cdot \frac{I_k}{100} \cdot S_{\text{ном}} = 0,5 \cdot \frac{10,5}{100} \left(\frac{31^2 + 17,2^2}{25} \right) + \\ + 2 \cdot \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 2,884 + 0,35 = 3,234 \text{ МВАР};$$

Подстанцияда ўрнатилган трансформаторлардаги исрофлар уларнинг номинат қувватларига нисбатан қуйидаги миқдорларни ташкил этади:

$$\Delta P_1 = \frac{0,186 \cdot 100}{2 \cdot 25} = 0,372\%;$$

$$\Delta Q_1 = \frac{3,23 \cdot 100}{2 \cdot 25} = 6,46\%.$$

Бу ердаги биринчи натижа трансформаторларнинг ФИК юқорилигини характерлайди. ΔQ_r нинг нисбатан катта миқдордагини электр тармоқларида трансформаторлар реактив қувватини кўп миқдорда исроф қилишини кўрсатади.

1.5-масала. ТДТН-25000/220 типдаги уч фазали уч чулғамли трансформатор алмаштириш схемасининг юқори қушланган томонига келтирилган параметрларини топиш.

Ечиш. Қўлланма жадвалдан ТДТН-25000/220 типдаги трансформаторнинг каталог параметрларини оламиз: $S_{\text{ном}}=25$

МБА: $U_{юн}=230 \text{ кВ}; U_{\text{уш}}=38,5 \text{ кВ}; U_{\text{кш}}=11 \text{ кВ}; U_{\text{кш}}=12,5\%;$
 $U_{\text{кшк}}=20\%; U_{\text{кшк}}=6,5\%; AP_{\text{к}}=13,5 \text{ кВт}; AP_{\text{с}}=50 \text{ кВт}; I_{\text{с}}=1,2\%.$

Чулланларнинг қувватлари нисбати: $100/100/100\%$.

Трансформаторнинг уч нузли юлдузча қўриқилидаги алмаштириш схемасини (1.10-расм) юкори кучланиш чулгами номинал кучланишга келтирилган актив қаршиликларини аниқлаймиз:

$$R_{ю-с} = R_{\text{с}} = R_{\text{к}} = \frac{AP_{\text{к}} \cdot U_{юн}^2}{2 \cdot S_{ном}^2} = \frac{0,135 \cdot 230^2}{2 \cdot 25^2} = 5,713 \text{ Ом}.$$

Алмаштириш схемаси нузлири жуфтланишнинг умумий индуктив қаршилиги қуйидагича топилади:

$$x_{ю-с} = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 264,5 \text{ Ом};$$

$$x_{ю-к} = \frac{20}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 423,2 \text{ Ом};$$

$$x_{у-к} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 137,54 \text{ Ом}.$$

Алмаштириш схемасининг ҳар бир нури индуктив қаршиликларини

$$\begin{cases} x_{ю} + x_{с} = x_{ю-с}; \\ x_{ю} + x_{к} = x_{ю-к}; \\ x_{у} + x_{к} = x_{у-к} \end{cases}$$

шартлардан фойдаланиб, қуйидагича топамиз:

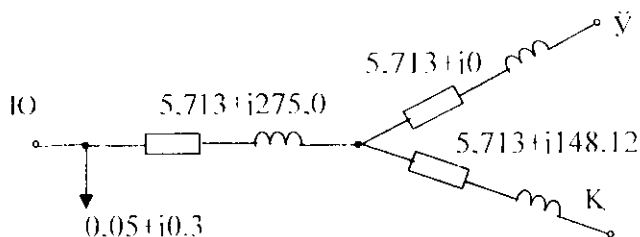
$$x_{ю} = 0,5 \cdot (264,5 + 423,2 - 137,54) = 275,08 \text{ Ом};$$

$$x_{с} = 0,5 \cdot (264,5 + 137,54 - 423,2) \approx 0;$$

$$x_{к} = 0,5 \cdot (137,54 + 423,2 - 264,5) = 148,12 \text{ Ом}.$$

Трансформаторнинг салт ишлаш перофларини аниқлаймиз:

$$AP_{\text{с}} + j1Q_{\text{с}} = 0,05 + j \frac{1,2}{100} \cdot 25 = 0,05 + j0,3 \text{ МВА}.$$



1.10-расм

1.4 Мустақил ечини учун масалалар

1. Кесим юзаси 25 мм^2 бўлган мис томирли кабелдан қурилган 6 кВ номинал кучланишли 4 км узунликдаги электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қўринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Масалани ечишда мис томирнинг номинал кесим юзасини 1 мм^2 га келтирилган солиштирма актив қаршилиги $\rho = 18,8 \text{ ом.мм}^2/\text{км}$ қабул қилинсин.

2. Кесим юзаси 50 мм^2 бўлган алюминий томирли кабелдан қурилган 10 кВ номинал кучланишли 6 км узунликдаги электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қўринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Масалани ечишда алюминий томирнинг номинал кесим юзасини 1 мм^2 га келтирилган солиштирма актив қаршилиги $\rho = 31,5 \text{ ом.мм}^2/\text{км}$ қабул қилинсин.

3. Кесим юзаси 150 мм^2 бўлган мис томирли қоғоз изоляцияли кабелдан қурилган 35 кВ номинал кучланишли 15 км узунликдаги электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида, қўринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Масалани ечишда мазкур кабель учун солиштирма параметрларини қиймаглари қўлланма жадвалдан (қловада келтирилган) олинсин.

4. АС-50/8 маркали нўлаталоминий симдан тайёрланган 10 кВ номинал кучланишли 20 км узунликдаги ҳаво электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасини қўринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Линия темир-бетон таянчлардан қурилиб, фаза ўтказкичлари томони 1,5 м бўлган тен томонли учбурчакнинг учларида жойлашган. Ўтказкичнинг солиштирма актив қаршилиги $r_0=0.653$ Ом/км.

5. АС-70/11 маркали пўлаталюминий ўтказкичдан тайёрланган 35 кВ номинал қучланишли 30 км узунликдаги ҳаво электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Линия ўтказкичлари битта горизонтал текисликда жойлашиб, қўшни фазалар ўртасидаги масофа 3 м ни ташкил этади. Ўтказкичнинг солиштирма актив қаршилиги $r_0=0.428$ Ом/км.

6. 110 кВ номинал қучланишли АС-185/29 маркали ўтказкичдан тайёрланган 45 км узунликдаги икки занжирли ҳаво линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Линиянинг солиштирма ҳисоб параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

7. 220 кВ номинал қучланишли АС-300/39 маркали ўтказкичдан тайёрланган 55 км узунликдаги ҳаво линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Линиянинг солиштирма ҳисоб параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

8. 330 кВ номинал қучланишли $2 \times \text{АС-500/64}$ маркали ўтказкичдан тайёрланган 150 км узунликдаги ҳаво линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Линияда тожланиш туфайли иероф бўлувчи солиштирма актив қувватнинг йиллик ўртача қиймати $\Delta P_{\text{тож}}=4$ кВт/км ни ташкил этади. Битта фазадаги ўтказкичлар орасидаги масофа 40 см.

Линиянинг солиштирма ҳисоб параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

9. Қуйидаги каталог параметрларига эга бўлган ТМ-400/10 тидаги икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг:

$S_{\text{ном}}=400$ кВА, $U_{\text{ном}}=10$ кВ, $U_{\text{ш}}=0,4$ кВ, $u_k=4,5\%$, $\Delta P_k=5,7$ кВт, $\Delta P_c=1$ кВт, $I_c=2,5\%$.

10. Қуйидаги каталог параметрларига эга бўлган ТДН-16000/35 тидаги икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш

схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш:

$$S_{ном} = 16000 \text{ кВА}, \quad U_{ном} = 36,75 \text{ кВ}, \quad U_{\lambda n} = 10,5 \text{ кВ}, \quad u_{\lambda} = 8\%, \\ AP_{\lambda} = 90 \text{ кВт}, \quad AP_{\lambda} = 21 \text{ кВт}, \quad I_{\lambda} = 0,75\%.$$

11. Подстанцияда иккита ТРДН-32000/110 типдаги икки чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ишламоқда. Уларнинг эквивалент алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш.

Трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

12. Подстанцияда иккита ТРДЦН-63000/220 типдаги икки чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ишламоқда. Уларнинг эквивалент алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш.

Трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

13. Подстанцияда иккита ТДТН-40000/220 типдаги уч чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ишламоқда. Уларнинг эквивалент алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш.

Трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

14. АТДЦТН-125000/220/110 типдаги уч чулғамли автотрансформаторнинг алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш.

Трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

15. Қуйидаги каталог параметрларига эга бўлган ТДЦ-400000/500 типдаги икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида, қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш:

$$S_{ном} = 400 \text{ МВА}, \quad U_{ном} = 525 \text{ кВ}, \quad U_{\lambda n} = 20 \text{ кВ}, \quad u_{\lambda} = 12,5\%, \\ AP_{\lambda} = 940 \text{ кВт}, \quad AP_{\lambda} = 370 \text{ кВт}, \quad I_{\lambda} = 0,35\%.$$

16. Подстанцияда қуйидаги каталог параметрларига эга бўлган АТДЦТН 320000/500/220 типдаги иккита уч чулғамли автотрансформаторлар параллел ҳолда ишламоқда. Уларнинг эквивалент алмаштириш схемасини, тармоқ ҳолатини ҳисоблаш мақсадида қуриш ва ҳисоб параметрларини топиш:

$S_{ном}=320 \text{ МВА}, U_{ном}=500 \text{ кВ}, U_{yn}=230 \text{ кВ}, U_{кл}=10,5 \text{ кВ}, u_{кю} = 10,5\%, u_{кю/к} = 27,5\%, u_{к/к} = 17\%, P_{\kappa}=5,50 \text{ кВт}, P_{\kappa}=220 \text{ кВт}, I_{\kappa}=0,45\%.$

Чугунларнинг номинал қувватлари ўртасидаги нисбатлар: 100%/100%/37,5%.

2. МАЪМИШЛОВЧИ ОЧИҚ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ХОЛАТЛАРИНИ ХИСОБЛАШ

2.1. Электр узатиш линияларининг ҳолатларини ҳисоблаш

Охирида уланган юклама токи ва кучланиши маълум бўлган ЭУЛ ҳолатини ҳисоблаш. Очiq электр тармоқларининг нормал ҳолатини ҳисоблаш асослари билан танишини охирида юклама токи ва кучланиши маълум бўлган линия (2.1-расм) ҳолатини ҳисоблаш усулини кўриб чиқишдан бошлаймиз.

Шундай қилиб, схемаси 2.1-расмда келтирилган линия 1 ва 2 пунктларини туташтириб, унинг барча ҳисоб параметрлари, яъни линия қаршилиги $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$, сингim ўтказувчанлиги b_{12} , ҳамда юклама токи I ва кучланиши U лар маълум деб фараз қиламиз.

Бундай ҳолда ҳолатни ҳисоблаш натижасида аниқланувчи параметрлар бўлиб U_p , I_p - ЭУЛ бошидаги кучланиш ва ток, I_{12} - ЭУЛнинг бўйлама қисмидаги ток, AS_{12} - ЭУЛдаги қувват йерофи ҳисобланади.

Бундай ҳолатда барча номаълумларнинг қийматлари ЭУЛнинг охиридан бошига томон кетма-кет равишда аниқланади. Ток ва кучланишнинг аниқлашда Ом ва Кирхгоф қонуниларидан фойдаланилади.

Ҳисоблашнинг фаза кучланиши U_{ϕ} ва токи I бўйича олиб борамиз. ЭУЛ охиридаги сингim токини Ом қонуни бўйича топамиз:

$$I_{c2} = jU_{2\phi}b_{12}/2. \quad (2.1)$$

ЭУЛнинг бўйлама қисмидаги ток Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича топилади:

$$I_{12} = I_2 + I_{c2}. \quad (2.2)$$

ЭУЛ бошланишидаги кучланишнинг Ом қонунидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

$$U_{1\phi} = U_{2\phi} + I_{12}Z_{12}. \quad (2.3)$$

ЭУЛ бошланишидаги синим токи:

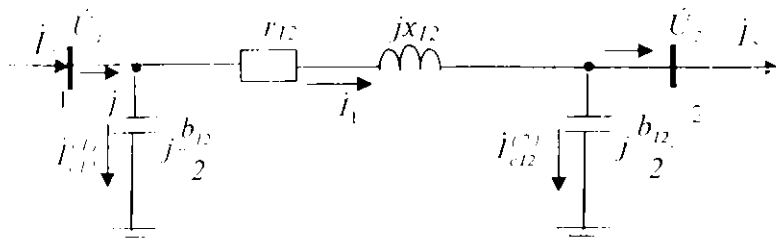
$$I_{c1} = jU_{1ф}b_{12}/2.$$

ЭУЛга киришдаги токни Кирхгофнинг 1-қонунига асосан толамиз:

$$I_1 = I_{12} + I_{c1}. \quad (2.4)$$

Учта фазадаги кувватлар исрофи:

$$\Delta S_{D1} = 3I_{12}^2 Z_{D1}.$$



2.1-расм. Электр узатиш линияси ҳолатини ҳисоблаш

Электр узатиш линияси ҳолатини юклама куввати ва кучланишини берилганда ҳисоблаш. Ушбу ҳолда электр узатиш линиясининг схемаси, барча ҳисоб параметрлари ва охирида уланган юкламанинг тўла куввати $\dot{S}_2$ ҳамда кучланиши $\dot{U}_2$ берилган бўлиб (2.2-расм), ҳолатни ҳисоблаш натижасида линиянинг бошланишидаги кучланиш $\dot{U}_1$, бўйлама қисми охири ва бошланишидаги кувватлар $\dot{S}_1^{(2)}$, $\dot{S}_{12}^{(1)}$, кувват исрофи $\Delta \dot{S}_{12}$, линия бошланишидаги кувват $\dot{S}_1$ лар топилади. Қизиш шартлари бўйича талабнинг бажарилишини текшириш мақсадида, баъзан, I_{12} токни ҳам топиш талаб этилади.

Барча номатълум параметрларни ҳисоблаш линиянинг охиридан бошланишига томон кетма-кет равишда Кирхгоф ва Ом қонунилари асосида қуйидаги тартибда амалга оширилади.

Линиянинг охиридаги синим ўтказувчанлик ҳисобиға ишлаб чиқарилувчи заряд (синим) куввати:

$$jQ_{c12}^{(2)} = 3\hat{I}_{12}^{(2)}\dot{U}_2 = j\frac{1}{2}U_2^2 b_{12}. \quad (2.5)$$

Линиянинг бўйлама қисми охиридаги кувват (Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича):

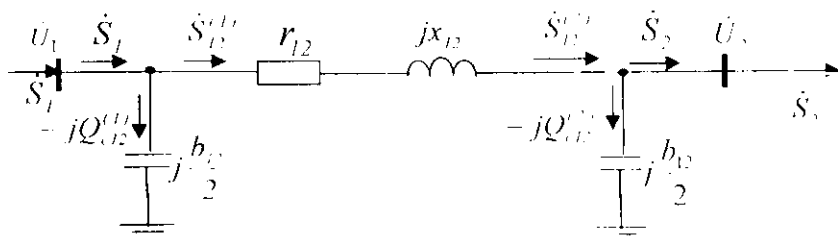
$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{c12}^{(2)}. \quad (2.6)$$

Линиядаги қувват исрофи:

$$\Delta \dot{S}_{12} = 3I_{12}' Z_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}. \quad (2.7)$$

Линия алмаштириш схемасининг бўйлама қисми бошланишидаги қувват:

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (2.8)$$



2.2-расм. ҲУЛ ҳолатини юклама қуввати ва кучланиш берилганда ҳисоблаш

Линия бошланишидаги кучланиш:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3} I_{12}' Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\dot{S}_{12}^{(2)}}{U_2} Z_{12}. \quad (2.9)$$

Линиянинг бошланишидаги заряд қуввати:

$$Q_{c12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}. \quad (2.10)$$

Линиянинг бошланишидаги тўла қувват:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{c12}^{(1)}. \quad (2.11)$$

ҲУЛнинг ҳолатини охирида юклама ва бошланишида кучланиш берилганда ҳисоблаш (линиянинг алмаштириш схемаси, барча ҳисоб параметрлари ва $\dot{S}_2$ ҳамда $\dot{U}_1$ лар берилган). Ушбу ҳолда линиянинг ҳолатини ҳисоблаш натижасида унинг бошланишидаги қувват, охиридаги кучланиш, алмаштириш схемаси бўйлама қисмининг охири ва бошланишидаги қувватлар ҳамда қувватлар исрофлари топилади.

Ушбу ҳолда линиянинг ҳолатини ифодаловчи тенглама эгри чизикли кўринишда бўлади ва шу сабабли у кетма-кет яқинлашниш усулларидаги фойдаланиб ҳисобланади.

2-туғун учун эгри чизикли туғун кучланишлари тенграмаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{12}\dot{U}_1 - \dot{I}_2(U_2) = \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2}. \quad (2.12)$$

Бу тенгламани ечиб, номуайим $\dot{U}_2$ ни топиш ва сўнгра юқоридаги формулалар бўйича барча қувватларни ҳисоблаш мумкин.

Бироқ очик электр тармоқлари ҳолатларини, жумладан ушбу тармоқ ҳолатини ҳисоблаш учун нисбатан содда бўлган «*ички босқичли*» усулдан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Ушбу усул бўйича ҳисоблаш тартиби билан танишамиз.

1-босқич. $\dot{U}_2 = \dot{U}_n$ деб қабул қилиб, олдинги ҳолатдаги тартибда қувват оқимлари ва керофларини ҳисоблаймиз:

$$Q_{12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_2^2 b_{12}; \quad \dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_2 - jQ_{12}^{(2)}; \quad \Delta \dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_{12}^{(2)2}}{\dot{U}_n^2} Z_{12};$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}; \quad Q_{12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}; \quad \dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{12}^{(1)}.$$

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

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_1 Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\dot{S}_1^{(1)}}{\dot{U}_1} Z_{12}. \quad (2.13)$$

Юқоридаги формулаларда $\dot{U}_2$ нинг ўрнига $\dot{U}_n$ фойдаланилганлиги сабабли 1-босқичда қувват оқимлари ва бунга мос равишда 2-босқичда кучланиш $\dot{U}_2$ ларининг топилган қийматлари тахминий бўлади. Уларнинг аниқ қийматларини топиш учун юқоридаги формулаларда $\dot{U}_2$ нинг ўрнига унинг топилган қийматини қўйиб ҳисоблашни такрорлаш лозим.

Такрорий ҳисоблашларни бир неча марта амалга ошириб, талаб этилган аниқликдаги натижани олиш мумкин.

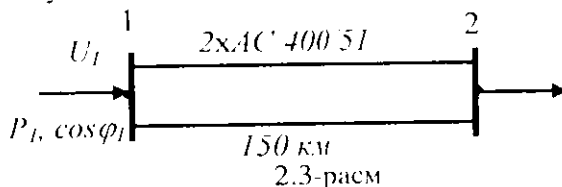
Бундай ҳисоблашларни ЭХМда амалга ошириш мақсадга мувофиқдир.

2.2. Масалалар ечиш намуналари

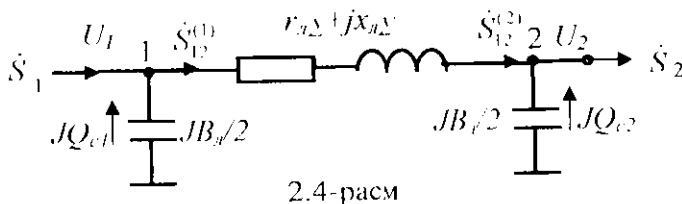
2.1-масала. Район подстанциясининг 220 кВ кучланишли шинасидан 150 км узунликдаги икки занжирли ҳаво линияси орқали юклама таъминланади (2.3-расм). Линия АС 400/51 ($r_0=0,075$ Ом/км; $x_0=0,42$ Ом/км; $b_0=2,70 \cdot 10^{-6}$ См/км) маркали ўтказгичдан тайёрланган. Максимал юклама ҳолатида линиядан $\cos \varphi_{\max}=0,9$ бўлган ҳолда $P_{\text{I, макс}}=300$ МВт ва минимал юклама ҳолатида $\cos \varphi_{\min}=0,95$ бўлган ҳолда $P_{\text{I, мин}}=100$ МВт қувват узатилади.

Максимал ва минимал юклама ҳолатларида, ҳамда авариядан кейинги ҳолатда (битта занжир узилган) қувватлар оқимлари, $\cos \varphi$ ва линиянинг охиридаги кучланишларни топиш.

Ҳисоблашларда таъминловчи подстанция шинасидаги кучланиш максимал юклама ва авариядан кейинги ҳолатлар учун $1,1 U_{\text{ном}}$ яъни 242 кВ; минимал юклама ҳолати учун $1,05 U_{\text{ном}}$, яъни 231 кВ қабул қилинсин.



Ечиш. 1. Алмаштириш схемасини курамиз ва унинг параметрларини топамиз (2.4-расм).



Нормал ҳолатларни ҳисоблаш учун:

$$r_{0\Omega} = \frac{r_0 l}{2} = \frac{0,075 \cdot 150}{2} = 5,62 \text{ Ом};$$

$$x_{0\Omega} = \frac{x_0 l}{2} = \frac{0,42 \cdot 150}{2} = 31,5 \text{ Ом};$$

$$\frac{b_{0\Omega}}{2} = \frac{2b_0 l}{2} = 2,70 \cdot 10^{-6} \cdot 150 = 405 \cdot 10^{-6} \text{ СМ.}$$

Авариядан кейинги ҳолатни ҳисоблашда иккита занжирдан биринини узишланганини ҳисобга олиш лозим. Шу сабабли

$$r_{\text{ин-к}} = 2r_{0\Omega} = 11,24 \text{ Ом}; \quad x_{\text{ин-к}} = 2x_{0\Omega} = 63,0 \text{ Ом};$$

$$b_{\text{ин-к}} = \frac{b_0 l}{2} = 202,5 \cdot 10^{-6} \text{ СМ}$$

2. Максимал юклама ҳолатининг параметрларини ҳисоблаймиз:

$$S_{I_{\text{макс}}} = P_{I_{\text{макс}}} + jQ_{I_{\text{макс}}} = P_{I_{\text{макс}}} + jP_{I_{\text{макс}}} \operatorname{tg} \varphi_{I_{\text{макс}}} = 300 + j300 \cdot 0,484 = \\ = 300 + j145,29 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$Q_{0\Omega} = U_I^2 \frac{b_{0\Omega}}{2} = 242^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 23,72 \text{ Мвар};$$

$$\dot{S}_{I_2^{(1)}} = P_{I_{\text{макс}}} + jQ_{I_{\text{макс}}} + jQ_{0\Omega} = 300 + j145,29 + j23,72 = 300 + j169,01 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$U_{I_2} = \sqrt{\left(U_I - \frac{P_{I_2^{(1)}} r_{0\Omega} + Q_{I_2^{(1)}} x_{0\Omega}}{U_I} \right)^2 + \left(\frac{P_{I_2^{(1)}} x_{0\Omega} - Q_{I_2^{(1)}} r_{0\Omega}}{U_I} \right)^2} = \\ = \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 5,62 + 169,01 \cdot 31,5}{242} \right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 31,5 - 169,01 \cdot 5,62}{242} \right)^2} = \\ = \sqrt{(242 - 22,0)^2 + 35,12^2} = 222,78 \text{ кВ};$$

$$\Delta P_{I_2} = \frac{P_{I_2^{(1)}}^2 + Q_{I_2^{(1)}}^2}{U_I^2} \cdot r_{0\Omega} = \frac{300^2 + 169,01^2}{242^2} \cdot 5,62 = 11,38 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_1 = \Delta P_1 \cdot \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = 11,38 \cdot \frac{31,5}{5,62} = 63,77 \text{ МВар};$$

$$Q_{c1} = U_1^2 \cdot \frac{b_{\Sigma}}{2} = 222,78^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 20,1 \text{ Мвар};$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{12}^{(1)} &= P_{12}^{(1)} + \Delta P_1 + j(Q_{12}^{(1)} + \Delta Q_1) = 300 + 11,38 + j(169,01 + 63,77) = \\ &= 288,62 + j105,24 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 &= P_2 + jQ_2 = P_{12}^{(2)} + j(Q_{12}^{(2)} + Q_{c2}) = 288,62 + j(105,24 + 20,1) = \\ &= 288,62 + j125,34 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \end{aligned}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{288,62}{\sqrt{288,62^2 + 125,34^2}} = 0,92.$$

3. Минимал юклама ҳолатининг параметрларини ҳисоблаймиз:

$$\begin{aligned} S_{1\text{мин}} &= P_{1\text{мин}} + jQ_{1\text{мин}} = P_{1\text{мин}} + jP_{1\text{мин}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{мин}} = 100 + j100 \cdot 0,328 = \\ &= 100 + j32,8 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \end{aligned}$$

$$Q_{c1} = U_1^2 \cdot \frac{b_{\Sigma}}{2} = 231^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 21,61 \text{ Мвар};$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{12}^{(1)} &= P_{1\text{мин}} + jQ_{1\text{мин}} + jQ_{c1} = 100 + j(32,8 + 21,61) = \\ &= 100 + j54,41 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \end{aligned}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_{12}^{(1)2} + Q_{12}^{(1)2}}{U_1^2} \cdot r_{\Sigma} = \frac{100^2 + 54,41^2}{231^2} \cdot 5,62 = 1,36 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_1 = \Delta P_1 \cdot \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = 1,36 \cdot \frac{31,5}{5,62} = 7,65 \text{ МВар};$$

$$\begin{aligned} U_2 &= \sqrt{\left(231 - \frac{100 \cdot 5,62 + 54,41 \cdot 31,5}{231}\right)^2 + \left(\frac{100 \cdot 31,5 - 54,41 \cdot 5,62}{231}\right)^2} = \\ &= \sqrt{221,13^2 + 12,31^2} = 221,47 \text{ кВ}; \end{aligned}$$

$$Q_{c2} = U_2^2 \cdot \frac{b_{\Sigma}}{2} = 221,47^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 19,86 \text{ МВар};$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = 100 - 1,36 + j(54,41 - 7,65) = 98,64 + j46,76 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = P_{12}^{(2)} + j(Q_{12}^{(2)} + Q_{c2}) = 98,64 + j(46,76 + 19,86) = 98,64 + j66,62 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{98,64}{\sqrt{98,64^2 + 66,66^2}} = 0,829.$$

4. Авариядан кейинги ҳолатнинг параметрларини ҳисоблаймиз.

Авариядан кейинги ҳолатда бир вақтда иккита ҳодисанинг юз беришини, яъни битта занжирнинг узилганлиги ва максимал юклама ҳолатинини бўлишини ҳисобга олиш лозим.

$$Q_{c1, \text{ам/к}} = U_1^2 \cdot \frac{b_{\text{ам/к}}}{2} = 242^2 \cdot 202,5 \cdot 10^{-6} = 11,86 \text{ MBAP};$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = P_{1, \text{ам/к}} + jQ_{1, \text{ам/к}} + jQ_{c2, \text{ам/к}} = 300 + j(145,29 + 11,86) = 300 + j157,15 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$U_2 = \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 11,24 + 157,15 \cdot 63,0}{242}\right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 63,0 - 157,15 \cdot 11,24}{242}\right)^2} = \sqrt{(242 - 54,84)^2 + 70,8^2} = \sqrt{187,16^2 + 70,8^2} = 200,1 \text{ кВ};$$

$$\Delta P_1 = \frac{300^2 + 157,15^2}{242^2} \cdot 11,24 = 22,01 \text{ MBm};$$

$$\Delta Q_1 = 22,01 \cdot \frac{63,0}{11,24} = 123,38 \text{ MBAP};$$

$$Q_{c2} = 200,1^2 \cdot 202,5 \cdot 10^{-6} = 8,11 \text{ MBAP};$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = 300 - 22,01 + j(157,15 - 123,38) = 277,99 + j33,77 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

$$\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = P_{12}^{(2)} + (Q_{12}^{(2)} + Q_{c2}) = 277,99 + j(33,77 + 8,11) = 277,99 + j41,88 \text{ MB} \cdot \text{A};$$

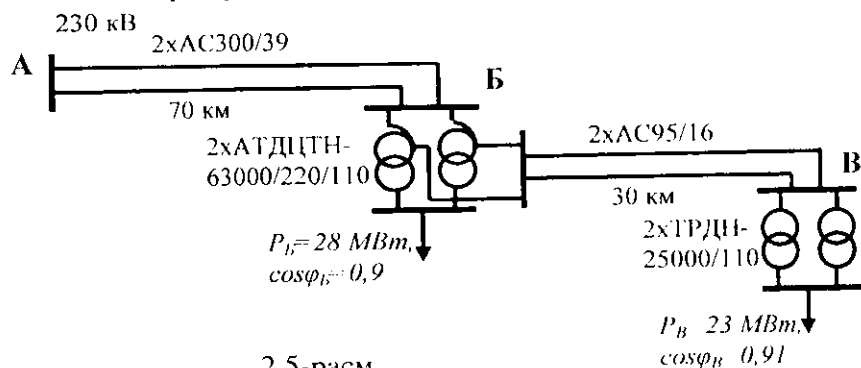
$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{277,99}{\sqrt{277,99^2 + 41,88^2}} = 0,989.$$

Олинган натижалар бўйича хулоса ҳосил қилиш мумкинки, истеъмолчида минимал юклама ҳолатида реактив қувватнинг ортиқчилиги ва авариядан кейинги ҳолатда ўта тақчиллиги муаммолари пайдо бўлади.

2.2-масала. *Б* ва *В* юклама подстанциялари икки занжирли узатиш линияси орқали *А* подстанциянинг 220 кВ кучланишли шинасидан таъминланади. *Б* подстанциясида иккита АТДЦТН-63000/220/110 типдаги автотрансформаторлар, *В* подстанциясида эса иккита ТРДН-25000/110 типдаги икки чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ишлайди (2.5-расм).

Ўтказгичларнинг маркалари, линияларнинг узунликлари, *А* подстанциянинг шинасидаги кучланиш, *Б* ва *В* подстанциялардаги юкламаларнинг максимал қийматлари ва актив қувват коэффицентлари тармоқнинг схемасида келтирилган.

Электр тармоқнинг максимал юклама ҳолатини ҳисобланг.



Ечиш. Қўлланма жадвалдан линиянинг солиштирма параметрлари ҳамда автотрансформатор ва трансформаторларнинг каталог параметрларини аниқлаймиз.

Линия АБ: АС300/39, $r_0=0,098$ Ом/км, $x_0=0,429$ Ом/км, $b_0=2,64 \cdot 10^6$ См/км.

Линия БВ: АС95/16, $r_0=0,306$ Ом/км, $x_0=0,434$ Ом/км, $b_0=2,61 \cdot 10^6$ См/км.

Автотрансформатор АТДЦТН-63000/220/110: $S_{ном}=63$ МВА, $U_{кн}=230$ кВ, $U_{ун}=121$ кВ, $U_{нн}=11$ кВ, $u_{кн.у}=11\%$, $u_{кн.н}=35,7\%$, $u_{н.у}=21,9\%$, $\Delta P_{кн.у}=215$ кВт, $\Delta P_c=45$ кВт, $I_c=0,5\%$.

Трансформатор ТРДН-25000/110: $S_{ном}=25 \text{ МВА}$,
 $U_{юн}=115 \text{ кВ}$, $U_{\lambda н}=10,5 \text{ кВ}$, $\alpha_{\lambda}=10,5\%$, $\Delta P_{\lambda}=120 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\epsilon}=27 \text{ кВт}$, $I_{\epsilon}=0,7\%$.

Линиялар, трансформаторлар ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари параметрларини тонамиз:

Линия АБ:

$$r_{AB} = \frac{r_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,098 \cdot 70}{2} = 3,43 \text{ Ом}, \quad x_{AB} = \frac{x_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,429 \cdot 70}{2} = 15,015 \text{ Ом},$$

$$B_{AB} = 2b_0 l_{AB} = 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 3,766 \cdot 10^{-4} \text{ С.м.}$$

Линия БВ:

$$r_{BV} = \frac{r_0 l_{BV}}{2} = \frac{0,306 \cdot 30}{2} = 4,59 \text{ Ом}, \quad x_{BV} = \frac{x_0 l_{BV}}{2} = \frac{0,434 \cdot 30}{2} = 6,51 \text{ Ом},$$

$$B_{BV} = 2b_0 l_{BV} = 2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 1,566 \cdot 10^{-4} \text{ С.м.}$$

Автотрансформатор подстанцияси Б:

$$\Delta \dot{S}_{\epsilon B} = \Delta P_{\epsilon B} + j\Delta Q_{\epsilon B} = 2 \cdot \left(0,045 + j \frac{I_{\epsilon}}{100} \cdot 63 \right) = 0,09 + j0,63 \text{ МВА},$$

$$r_{\lambda ю} = \frac{\Delta P_{\lambda ю} U_{юн}^2}{2S_{ном}^2} = \frac{0,215 \cdot 230^2}{2 \cdot 63^2} = 1,432 \text{ Ом},$$

$$r_{\lambda \gamma} = r_{\gamma} = 0,5 \cdot r_{\lambda ю} = 0,5 \cdot 1,432 = 0,716 \text{ Ом}.$$

Кўрилатган тидаги автотрансформатор учун қуйи кучлаиш чулғамининг қуввати номинал қувватнинг 50% ни ташкил қилганлиги сабабли

$$\alpha_u = \frac{S_{\lambda ю}}{S_{ном}} = 0,5 \quad \text{ва} \quad r_{\lambda} = \frac{r_{\lambda ю}}{\alpha_u} = \frac{0,716}{0,5} = 1,432 \text{ Ом}.$$

$$u_{\lambda ю} = 0,5 \cdot (u_{\lambda ю-\gamma} + u_{\lambda ю-\lambda} - u_{\lambda-\gamma-\lambda}) = 0,5 \cdot (11 + 35,7 - 21,9) = 12,4\%,$$

$$u_{\lambda-\gamma} = 0,5 \cdot (u_{\lambda ю-\lambda} + u_{\lambda-\lambda} - u_{\lambda ю-\gamma}) = 0,5 \cdot (11 + 21,9 - 35,7) \approx 0\%,$$

$$u_{\lambda-\lambda} = 0,5 \cdot (u_{\lambda ю-\lambda} + u_{\lambda-\lambda} - u_{\lambda ю-\gamma}) = 0,5 \cdot (35,7 + 21,9 - 11) = 23,3\%$$

$$x_{\lambda ю} = \frac{u_{\lambda ю} U_{юн}^2}{2 \cdot 100 \cdot S_{ном}} = \frac{12,4 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 52,06 \text{ Ом}, \quad x_{\gamma} = 0,$$

$$x_{\lambda} = \frac{23,3 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 97,83 \text{ Ом}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_B' &= P_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{ном}^2} \cdot r_l + \Delta P_{cb} + j \left(Q_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{ном}^2} \cdot x_l + \Delta Q_{cb} - U_{ном}^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} \right) = \\ &= 23 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 + \\ &+ j \left(10,479 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 \cdot 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = \\ &= 23,121 + j11,348 \text{ MBA},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_B &= \Delta P_{cb} + j \left(\Delta Q_{cb} - U_{ном}^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} \right) = \\ &= 0,09 + j \left(0,63 - 220^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 0,09 - j8,484 \text{ MBA},\end{aligned}$$

$$Q_c = U_{ном}^2 \cdot \frac{B_{CB}}{2} = 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,947 \text{ MBAR},$$

Электр тармоқнинг ҳолатини икки босқичдан иборат бўлган итерацион усул ёрдамида ҳисоблаймиз.

I - босқич. $U_B = U_O = 220 \text{ кВ}$ ва $U_C = U_B = 110 \text{ кВ}$ деб қабул қилиб, линиялар ва автотрансформаторларнинг ҳисобий юкламаларини аниқлаймиз:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{S}_{CB} &= \frac{P_{CB}^{(B)^2} + Q_{CB}^{(B)^2}}{U_{ном}^2} \cdot \dot{Z}_{CB} = \frac{23,121^2 + 11,348^2}{110^2} \cdot (4,59 + j6,51) = \\ &= 0,252 + j0,357 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{CB}^{(C)} &= \dot{S}_{CB}^{(B)} + \Delta \dot{S}_{CB} = 23,121 + j11,348 + 0,252 + j0,357 = \\ &= 23,373 + j11,705 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\dot{S}_{OC}^{(C)} = \dot{S}_{CB}^{(C)} - jQ_c = 23,373 + j11,705 - j0,947 = 23,373 + j10,758 \text{ MBA};$$

$$\Delta \dot{S}_{OC} = \frac{P_{OC}^{(C)^2} + Q_{OC}^{(C)^2}}{U_{ном}^2} \cdot \dot{Z}_C = \frac{23,373^2 + 10,758^2}{220^2} \cdot 0,716 = 0,01 \text{ MBm};$$

$$\dot{S}_{OC}^{(O)} = \dot{S}_{OC}^{(C)} + \Delta \dot{S}_{OC} = 23,373 + j10,758 + 0,01 = 23,383 + j10,758 \text{ MBA};$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{BO}^{(O)} &= \dot{S}_{OC}^{(O)} + \dot{S}_O = 23,383 + j10,758 + 28,014 + j14,602 = \\ &= 51,397 + j25,36 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \dot{S}_{BO} &= \frac{P_{BO}^{(O)^2} + Q_{BO}^{(O)^2}}{U_{ном}^2} \cdot \dot{Z}_B = \frac{51,397^2 + 25,36^2}{220^2} \cdot (0,716 + j52,06) = \\ &= 0,049 + j3,535 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{BO}^{(B)} &= \dot{S}_{BO}^{(O)} + \Delta \dot{S}_{BO} = 51,397 + j25,36 + 0,049 + j3,535 = \\ &= 51,446 + j28,895 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{AB}^{(B)} &= \dot{S}_{BO}^{(B)} + \dot{S}_B = 51,446 + j28,895 + 0,09 - j8,484 = \\ &= 51,536 + j20,411 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \dot{S}_{AB} &= \frac{P_{AB}^{(B)^2} + Q_{AB}^{(B)^2}}{U_{ном}^2} \cdot \dot{Z}_{AB} = \frac{51,536^2 + 20,411^2}{220^2} \cdot (3,43 + j15,015) = \\ &= 0,218 + j0,953 \text{ MBA};\end{aligned}$$

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = \dot{S}_{AB}^{(B)} + \Delta \dot{S}_{AB} = 51,536 + j20,411 + 0,218 + j0,953 = 51,754 + j21,364 \text{ MBA};$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_A &= \dot{S}_{AB}^{(A)} - j \cdot U_A^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} = 51,754 + j21,364 - j230^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} = \\ &= 51,754 + j11,403 \text{ MBA}.\end{aligned}$$

2-босқич. А подстанциянинг шиналаридаги кучланиш ва топилган қувват оқимлари бўйича бўлақлардаги кучланиш исрофлари ва Б, В подстанцияларда ва электр тармоқнинг бошқа нукталаридаги кучланишларни ҳисоблаймиз:

$$\begin{aligned}U_B &= U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 230 - \frac{51,754 \cdot 3,43 + 21,364 \cdot 15,015}{230} = \\ &= 230 - 2,17 = 227,83 \text{ кВ};\end{aligned}$$

$$U_O = U_B = \frac{P_{BO}^{(B)} \cdot r_B + Q_{BO}^{(B)} \cdot x_B}{U_B} = 227,83 = \frac{51,446 \cdot 0,716 + 28,895 \cdot 52,006}{227,83}$$

$$= 227,83 - 6,75 = 221,07 \text{ кВ};$$

$$U_O = \frac{P_{OC}^{(O)} \cdot r_C}{U_O} = 221,07 = \frac{23,383 \cdot 0,716}{221,07}$$

$$U_C = \frac{U_O}{K_T} = \frac{221,07}{121} = \frac{221,07 \cdot 0,08}{1,9} = 116,31 \text{ кВ};$$

$$U_B = U_C = \frac{P_{CB}^{(C)} \cdot r_{BB} + Q_{CB}^{(C)} \cdot x_{BB}}{U_C} = 116,31 = \frac{23,373 \cdot 4,59 + 11,705 \cdot 6,51}{116,31}$$

$$= 116,31 - 1,58 = 114,73 \text{ кВ}.$$

2.3. Мустақил ечини учун масалалар

1. Подстанциянинг 110 кВ номинал кучланишли шинасидан АС185/29 маркали ўтказгичдан тайёрланган 80 км uzunlikдаги икки занжирли линия орқали истеъмолчиға узатилувчи қувват 50+j20 МВА ни ташкил этади. Линия охиридаги кучланиш 112 кВ.

Линиядаги қувватлар исрофи ҳамда унинг бошланишидаги қувватлар оқими ва кучланишни топинг.

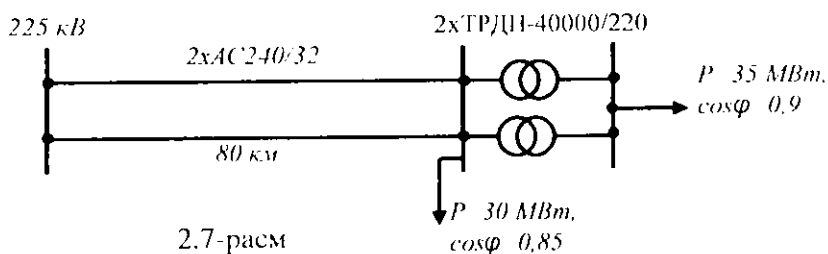
2. АС300/39 маркали ўтказгичдан тайёрланган 75 км uzunlikдаги линиянинг бошланишидаги кучланиш 230 кВ, қувватлар оқими эса 60+j25 МВА ни ташкил этади.

Линиядаги қувватлар исрофи ҳамда унинг охиридаги қувватлар оқими ва кучланишни топинг.

3. АС120/19 маркали ўтказгичдан тайёрланган 60 км uzunlikдаги икки занжирли линиянинг бошланишидаги таъминлаш пунктида кучланиш 115 кВ, унинг охиридаги подстанциянинг ҳисобий юкламаси (юкори кучланиш шинасига келтирилган юклама) 30+j12 МВА.

Линиянинг бошланишидаги қувватлар оқими ва охиридаги кучланишни топинг.

4. Схемаси 2.7-расмда келтирилган электр тармоқ учун таъминлаш пунктдан олинувчи қувват ва юклама пунктларидаги кучланишларни топинг.



3. ТАКСИМЛОВЧИ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ХОЛАТЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

3.1. $U_n \leq 35$ кВ бўлган тақсимловчи электр тармоқларни ҳисоблашда қабул қилинувчи соддалаштиришлар

$U_n \leq 35$ кВ бўлган тақсимловчи электр тармоқларни ҳисоблашда қабул қилинувчи соддалаштиришлар қуйидагилардан иборат.

1) ЭУЛнинг сиғим (заряд) қуввати жуда кичиклиги сабабли ҳисобга олинмайди. Натижада бундай тармоқларда ЭУЛнинг алмаштириш схемаси 1.2,в-расмдаги кўринишда тасвирланади.

2) Номинал қучланиши 10 кВ ва ундан паст бўлган кабелли ЭУЛнинг реактив қаршилиги жуда кичиклиги сабабли ҳисобга олинмайди. Натижада уларнинг алмаштириш схемаси 1.2,г-расмдаги кўринишда тасвирланади.

3) Трансформаторнинг пўлат ўзатидаги қувват исрофи ҳисобга олинмайди. Натижада бундай тармоқларда икки чулғамли трансформаторнинг алмаштириш схемаси 1.3,в-расмдаги кўринишда тасвирланади.

4) Тармоқ участкаларидаги қувват оқимларини ҳисоблашда қувват исрофи ҳисобга олинмайди. Бундай ҳолда таъминловчи пунктдан қувват узатувчи 1-2 линиядаги қувват оқими қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$S_{12} = \sum_k^n S_k;$$

бу ерда k - юкларнинг тартиб номери, n - юклар сони.

5) Кучланиш тушувининг кўндаланг ташкил этувчиси ΔU эътиборга олинмайди, яъни тармоқнинг айрим тугунлари орасида кучланишнинг фаза бўйича силжиши ҳисобга олинмайди. Демак, тармоқнинг ҳар қандай участкасида кучланиш исрофи кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчисига тенгдир.

6) Кучланиш исрофини ҳисоблаш тармоқдаги кучланишнинг ҳақиқий қиймати бўйича эмас, балки U_n бўйича амалга оширилади:

$$\Delta U_{I2} = U_1 - U_2 = \frac{P_{I2} r_{I2} + Q_{I2} x_{I2}}{U_n}.$$

Бу ерда P_{I2} , Q_{I2} тармоқ шохобчасидаги актив ва реактив қувватлар оқими;

r_{I2} , x_{I2} шохобчанинг актив ва реактив қаршиликлари.

3.2. Таксимловчи электр тармоқларда кучланиш исрофининг энг катта қийматини ҳисоблаш

Таксимловчи электр тармоқда таъминловчи манба кучланиши ва энг кам кучланишли тугун кучланишлари орасидаги фарқ кучланиш исрофининг энг катта қиймати ҳисобланади. Уни ҳисоблаш тартиби билан схемаси 3.1-расмда келтирилган тармоқ мисолида танишамиз.

Бу схемада тугунлардаги қувватлар S_k , таъминловчи тугун кучланиши U_1 ва тармоқ шохобчаларидаги қаршиликлар Z_{ij} берилган бўлсин. Бунда: k -шохобча бошланишидаги тугун номери, j шохобча охиридаги тугун номери. Тармоқда кучланиш исрофининг энг катта қийматини топиш талаб этилади.

Тармоқ шохобчаларидаги қувватлар оқими (S_{kj}) қуйидагича аниқланади:

$$S_{23} = S_2; \quad S_{I2} = S_2 + S_3; \quad (3.1)$$

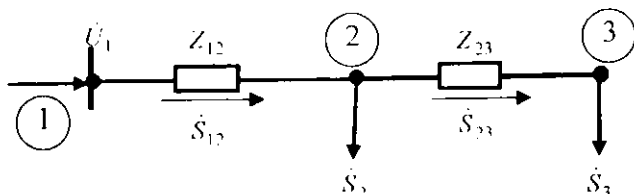
Бунда шохобчалардаги актив ва реактив қувватлар оқимлари қуйидагича аниқланади:

$$P_{23} = P_3; \quad P_{I2} = P_2 + P_3; \quad (3.2)$$

$$Q_{23} = Q_3; \quad Q_{I2} = Q_2 + Q_3; \quad (3.3)$$

Кўрилатган ҳолда кучланиш исрофининг энг катта қиймати 1 ва 3 тугунлар орасида бўлиб, у 1-2 ва 2-3 шохобчалардаги кучланиш исрофларининг йиғиндисига тенгдир, яъни

$$\Delta U_{\text{кат}} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23}.$$



3.1-расм. Таксимловчи тармок.

Шохобчалардаги кучланиш исрофларини улардаги кувватлар оқими, уларнинг қаршиликлари ва номинал кучланиш орқали ифодалаймиз:

$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n} + \frac{P_{23}r_{23} + Q_{23}x_{23}}{U_n}. \quad (3.4)$$

Шохобчаларнинг қаршиликларини туғунларнинг эквивалент қаршиликлари орқали ифодалаймиз:

$$r_2 = r_{12}; \quad r_3 = r_{12} + r_{23}; \quad x_2 = x_{12}; \quad x_3 = x_{12} + x_{23}.$$

Демак,

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

ёки

$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{P_2r_2 + Q_2x_2}{U_n} + \frac{P_3r_3 + Q_3x_3}{U_n}.$$

Пайдо бўлган қонуниятдан фойдаланиб, шохобчалар ёрдамида кетма-кет уланган n та туғунга эга бўлган тармок учун кучланиш исрофининг энг катта қийматини топиш формуласини ҳосил қиламиз:

$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{I}{U_n} \sum_{k=2}^n (P_k R_k + Q_k X_k).$$

Бу ерда: P_k , Q_k - k -туғундаги юклама куввати; r_k , x_k - l ва κ - туғунлар оралиғидаги актив ва реактив қаршиликлар (k -туғуннинг эквивалент актив ва реактив қаршиликлари), n - туғунлар сони.

Агар электр тармоғи ўтказгичининг кўндаланг кесим юзаси F бир хил бўлган линиялардан ташкил топган бўлса, у ҳолда:

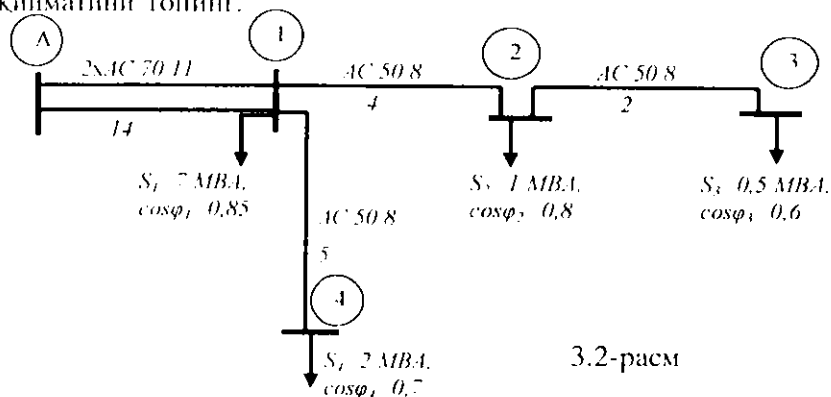
$$\Delta U_{\text{экст}} = \frac{l}{U_n} (r_0 \sum_{k=1}^n P_k I_k + x_0 \sum_{k=1}^n Q_k I_k). \quad (3.5)$$

Бу ерда $I_k = I$ ва k - туғуллар оралиғидаги линиялар узунликлари йиғиндиси.

3.3. Масалалар ечиш намуналари

Масала. 35 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоғи П-симон таянчларда осилган пўлаталюминий ўтказгичлардан ганёртланган линиялардан ташкил топган. Тармоқ бўлақларининг километр бирлигидаги узунликлари, ўтказгичларнинг маркалари, юкламалар (МВА) ва уларнинг қувват коэффицентлари 3.2-расмдаги схемада келтирилган. Линиянинг солиштирма қаршиликлари АС50/8 маркадаги ўтказгичли линия учун $r_0=0,603$ Ом/км, $x_0=0,43$ Ом/км; АС70/11 маркадаги ўтказгичли линия учун $r_0=0,43$ Ом/км, $x_0=0,42$ Ом/км ни ташкил этади.

Электр тармоқда кучланиш исрофининг энг катта қийматини топиш.



3.2-расм

Ечиш. Электр тармоқ бўлақларининг қаршиликларини топамиз:

$$\dot{Z}_{11} = \frac{(r_0 + jx_0) \cdot l_{11}}{2} = \frac{(0,43 + j0,42) \cdot 14}{2} = 3,01 + j2,94 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{12} = (0,603 + j0,43) \cdot 4 = 2,41 + j1,72 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{23} = (0,603 + j0,43) \cdot 2 = 1,21 + j0,86 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{14} = (0,603 + j0,43) \cdot 5 = 3,01 + j2,15 \text{ Ом}.$$

Тармоқ юкламаларининг актив ва реактив қувватларини аниқлаймиз:

$$S_1 = S_l (\cos \varphi_l + j \sin \varphi_l) = 7 * (0,85 + j0,526) = 5,95 + j3,68 \text{ MVA};$$

$$S_2 = 1 * (0,8 + j0,6) = 0,8 + j0,6 \text{ MVA};$$

$$S_3 = 0,5 * (0,6 + j0,8) = 0,3 + j0,4 \text{ MVA};$$

$$S_4 = 2 * (0,7 + j0,713) = 1,4 + j1,43 \text{ MVA};$$

A-1 бош бўлакдаги қувват оқими:

$$S_{A1} = P_{A1} + jQ_{A1} = 8,45 + j6,11 \text{ MVA};$$

A-1 бош бўлакда кучланиш ысроффи:

$$\Delta U_{A1} = \frac{8,45 \cdot 3,01 + 6,11 \cdot 2,94}{35} = 1,24 \text{ кВ};$$

I-3 ва I-4 бўлакларда кучланиш ысрофлари:

$$\Delta U_{I3} = \frac{0,8 \cdot 2,41 + 0,6 \cdot 1,72 + 0,3 \cdot (2,41 + 1,21) + 0,4 \cdot (1,72 + 0,86)}{35} =$$

$$= 0,145 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{I4} = \frac{1,4 \cdot 3,01 + 1,43 \cdot 2,15}{35} = 0,208 \text{ кВ}.$$

Электр тармоқда кучланиш ысрофининг энг катта қиймати:

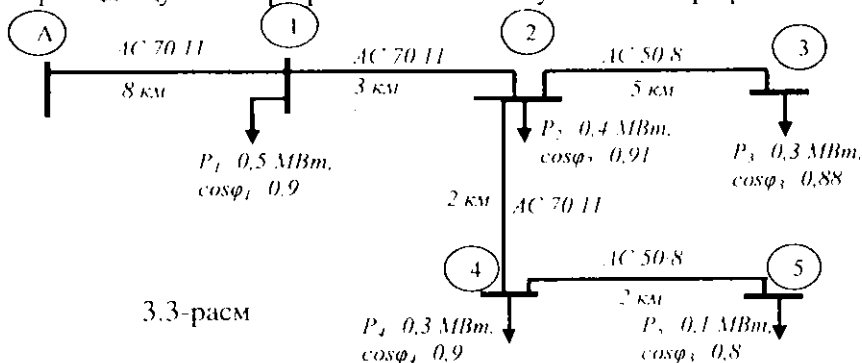
$$\Delta U_{\text{кат}} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{I4} = 1,24 + 0,208 = 1,448 \text{ кВ}$$

ёки номинал кучланишга нисбатан фoнз бирлигида

$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{1,448}{35} \cdot 100 = 4,14\%.$$

3.4. Мустақил ечини учун масала

Схемаси 3.3-расмда тасвирланган $U_n = 10 \text{ кВ}$ бўлган электр тармоқда қувват ысрофи ва энг катта кучланиш ысрофини тоини.



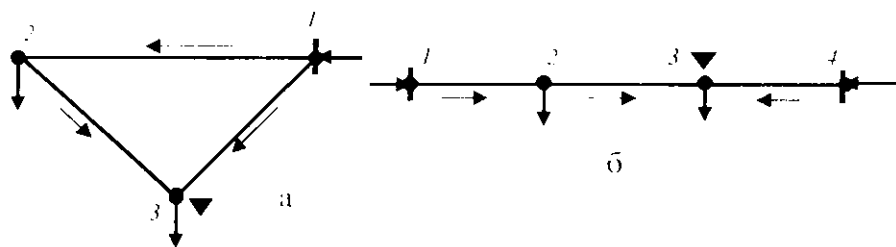
3.3-расм

4. ЁНИК ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ ХИСОБЛАШ

4.1. Садда ёник электр тармоқларда қувват оқимлари ва туғун кучланишларини ҳисоблаш

Икки ва ундан ортиқ томондан манбаланувчи туғунларга эга бўлган электр тармоғи ёник электр тармоғи дейилади. Иккитадан ортиқ бўлмаган томондан манбаланувчи туғунларга эга бўлган ёник электр тармоғи садда ёник электр тармоғи дейилади. Уч ва ундан ортиқ томондан манбаланувчи туғунларга эга бўлган ёник электр тармоғи мураккаб ёник электр тармоғи дейилади. Қуйида садда ёник электр тармоғида қувват оқимлари ва туғун кучланишларини ҳисоблаш усуллари билан танишамиз.

4.1-расмда мисол тариқасида садда ёник электр тармоқларининг схемалари тасвирланган.



4.1-расм. Садда ёник электр тармоқлари.

а — учбуручак шаклидаги садда ёник электр тармоғи; б — икки томондан таъминланувчи электр тармоғи.

Ҳалқасимон электр тармоғи садда ёник электр тармоғининг хусусий кўринишидир (4.1,а-расм). У битта ёник контурдан иборат. Таъминловчи манба бўлиб электр станциялари ёки подстанцияларининг шиналари ҳисобланади. Ҳалқасимон садда ёник электр тармоғини таъминлаш туғунидан ажратилиш орқали чеккаларида кучланиш бир хил бўлган икки томондан таъминланувчи тармоқ кўринишида тасвирлаш мумкин. Масалан, ушбу амални 4.1,а-расмда тасвирланган тармоқ учун бажарсак, у 4.1,б-расмда тасвирланган тармоқ кўринишига келади.

Садда ёник электр тармоқда қувват оқимларини иерофни эътиборга олиб ҳисоблаш. Садда ёник электр тармоғи икки

гомондан таъминланган тармоқ кўринишида (масалан, 4.1.6-расмдаги кўринишида) ва умумий ҳолда унинг чеккаларидаги таъминланган туғунларининг кучланишлари ҳар хил бўлсин ($U_i \neq U_j$).

Электр тармоқда қувват оқимларини ҳисоблаш қуйидаги алгоритм бўйича амалга оширилади.

1) Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонунларидан фойдаланиб ҳосил қилинувчи тенгламани ечини асосида тармоқдаги перофлар эътиборга олинмаган ҳолатдаги қувват оқимлари ҳисобланади:

2) Шоҳобчалардаги қувват оқимларининг йўналишларига боғлиқ равишда қувватлар оқимининг бўлиниш туғуни (нуктаси) аниқланади ва бу туғундан тармоқ иккита бир гомондан таъминланувчи тармоқларга ажратилади;

3) Пайдо бўлган ҳар иккала бир томондан таъминланувчи тармоқларда перофлар эътиборга олинган ҳолдаги қувват оқимлари тармоқ ҳолатини ҳисоблашнинг икки босқичли усулининг биринчи босқичидаги каби ҳисобланади.

Ушбу алгоритмнинг амалга оширилиши схемасини 4.1.6-расмда тасвирланган тармоқ мисолида кўриб ўтамыз.

1-2 шоҳобчада 1-туғундан 2-туғунга томон йўналишида оқувчи тўла қувват $\dot{S}_{12}$ ни номаълум сифатида қабул қилиб, қолган шоҳобчалардаги қувватларни Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланган ҳолда ушбу номаълум ва туғунларнинг қувватлари орқали ифодалаймиз: 2-3 шоҳобчада 2-туғундан 3-туғунга томон йўналишида оқувчи қувват $\dot{S}_{23} = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2$; 3-4 шоҳобчада 3-туғундан 4-туғунга томон йўналишида оқувчи қувват $\dot{S}_{34} = \dot{S}_{23} - \dot{S}_3 = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3$.

Ҳар бир i, j шоҳобчадаги токни унда оқувчи қувват ва номинал кучланиш орқали ифодалаб, Кирхгофнинг иккинчи қонун бўйича қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\frac{\dot{S}_i}{U_{in}} Z_{ij} + \frac{\dot{S}_{12}}{U_{in}} Z_{23} + \frac{\dot{S}_2 - \dot{S}_3}{U_{in}} Z_{34} = U_i - U_j \quad (4.1)$$

Бу тенгламадан номаълум қувват $\dot{S}_{12}$ ни топамиз:

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_i (\dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{34}) + \dot{S}_3 \dot{Z}_{23} + U_{in} (\dot{U}_i - \dot{U}_j)}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{34}} \quad (4.2)$$

Шу йўл билан 4.3 шохобчада 4-тугундан 3-тугунга томон йўналишида оқувчи $\dot{S}_{13}$ қувват оқими учун ҳам қуйидаги ифодани келтириб чиқариш мумкин:

$$\dot{S}_{13} = \frac{\dot{S}_{12}(\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23}) + \dot{S}_{12}\dot{Z}_{12}}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{13}} + \frac{U_n(\dot{U}_1 - \dot{U}_1)}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{13}}. \quad (4.3)$$

Таъминловчи туғунларда қучланишлар бир хил бўлган ҳусусий ҳолда (4.2) ва (4.3) формулалардаги иккинчи ташкил этувчилар нолга айланади.

Таъминловчи туғундан чикувчи шохобчаларда оқувчи қувватлар учун ёзилган (4.2) ва (4.3) формулалардаги қонуниятдан фойдаланиб, уларни умумий ҳолда икки томондан – 1 ва n-туғунлардан таъминланувчи тармоқ учун ҳам ёзиш мумкин:

$$\dot{S}_{1, n-1} = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} \dot{S}_k \dot{Z}_{kn}}{\dot{Z}_{1n}}, \quad (4.2a)$$

$$\dot{S}_{n, n-1} = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} \dot{S}_k \dot{Z}_{nk}}{\dot{Z}_{1n}}. \quad (4.2b)$$

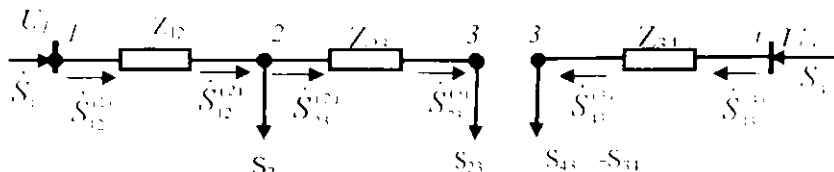
Бу ерда k -туғун номери; $\dot{Z}_{kn}$, $\dot{Z}_{nk}$ – мос ҳолда k ва n ҳамда l ва k туғунлар орасидаги эквивалент тўла қаршилликлар, яъни бу туғунлар орасидаги шохобчаларнинг тўла қаршилликларинингидилари.

(4.2) формуладан номаълум қувват $\dot{S}_{12}$ (ёки (4.3) дан $\dot{S}_{13}$) тошлагандан сўнг Кирхгофнинг 1-қонуни бўйича тузилиб, юқорида келтирилган ифодалардан барча шохобчалардаги қувват оқимлари ҳисобланади. Сўнгра қувват оқимларининг йўналишлари бўйича унинг бўлиниш туғуни аниқланади. Фараз қилайлик, кўрилатган ҳолатда қувват оқимининг бўлиниш туғуни 3 туғун. У ҳолда тармоқ 4.2,а-расмдаги каби иккита бир томондан таъминланувчи тармоқларга ажратилади (4.2,а-расмда шохобчалар мос қаршилликлари билан тасвирланган).

Найдо бўлган чап томондаги электр тармоқда қувват оқимининг исрофини эътиборга олган ҳолдаги тақсимланишнинг ҳисоблаш тартиби билан танишиб ўтамиз.

2-3 шохобчанинг охирида, яъни 3-туғун томонида оқувчи қувват:

$$\dot{S}_{23}^{(3)} = \dot{S}_{23},$$



4.2-расм. Электр тармоқда қувват оқимининг иерофни ҳисобга олган ҳолда тақсимланиши.

2-3 шохобчада иероф бўлувчи қувватни ҳисоблаймиз:

$$\Delta \dot{S}_{23} = \frac{|\dot{S}_{23}^{(3)}|^2}{U_n^2} Z_{23} = \frac{P_{23}^{(3)2} + Q_{23}^{(3)2}}{U_n^2} Z_{23}.$$

2-3 шохобчанинг бошланишида, яъни 2-туғун томонида оқувчи қувватни тонамиз:

$$\dot{S}_{23}^{(2)} = \dot{S}_{23}^{(3)} + \Delta \dot{S}_{23}.$$

1-2 шохобчанинг охирида оқувчи қувватни 2-туғун учун Кирхгофнинг биринчи қонушидан фойдаланиб тонамиз:

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_{23}^{(2)} + \dot{S}_1.$$

1-2 шохобчада қувват иерофини ва унинг бошланишидаги қувват оқимини қуйидаги формулалар бўйича ҳисоблаймиз:

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{P_{12}^{(2)2} + Q_{12}^{(2)2}}{U_n^2} Z_{12}, \quad \dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}.$$

1-2 шохобчанинг бошланишида оқувчи қувват 1-манбадан олинувчи қувватга тенгдир, яъни $\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)}$.

Тармоқнинг ўнг томонидаги бўлаги учун ҳам қувват оқимининг иерофини эътиборга олган ҳолдаги тақсимланиши шу тарзда ҳисобланади.

Икки томондан таъминланувчи электр тармоқларда қучланишларнинг тақсимланишининг ҳисоблаш. Икки томондан таъминланувчи электр тармоқларда қучланишларнинг тақсимланишининг, яъни туғунлардаги қучланишларни, юқоридаги ёндашув асосида ҳисоблаш учун аввало айтиб ўтилган ҳисоблашлар амалга оширилиб, қувват оқимларининг иерофини эътиборга олиб тақсимланишлари аниқланади. Сўнгра очик тармоқлар ҳолатларини икки босқичли усулда ҳисоблашнинг

иккинчи босқичи амалга оширилади ва натижада барча кучланишлар топилади. Ушбу ҳисоблашларнинг амалга оширилиш тартиби билан юқоридаги электр тармоқнинг чап бўлаги мисолида танишамиз:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0 - \frac{\dot{S}_1^{ch}}{\dot{U}_1} Z_{12}, \quad \dot{U}_3 = \dot{U}_2 - \frac{\dot{S}_3^{ch}}{\dot{U}_2} Z_{23}.$$

Электр тармоқнинг ўнг бўлаги учун ҳам шу каби ҳисоблашлар амалга оширилади. 3-туғуннинг ҳақиқий (якуний) кучланиш сифатида ушбу тармоқни иккала бўлаги учун бажарилган ҳисоблашлар натижасида аниқланган қийматларининг ўртача арифметиғи қабул қилинади.

Юқоридагилардан кўринадiki, электр тармоқда қувват оқимларининг дастлабки тақсимланишини аниқлаш ва шунингдек, нерофни эътиборга олиш жараёнидаги ҳисоблашлар номинал кучланиш бўйича олиб борилиши сабабли натижаларининг тақрибий қийматлари ҳосил бўлади. Шу сабабли ушбу усулдан электр тармоқларини лойиҳалаш мақсадларида ва бошқа — ҳолатни ҳисоблашда катта аниқлик талаб этилмайдиган ҳолларда фойдаланиш мумкин.

4.2. Мураккаб-ёшиқ электр тармоқларда қувват оқимларининг тақсимланишини ҳисоблаш

Учга ва undan ортиқ томондан таъминланувчи туғунларга эга бўлган ёки икки ва undan ортиқ мустақил контурларга эга бўлган электр тармоғи мураккаб-ёшиқ электр тармоғи дейилади.

Бундай тармоқларда қувват оқимларининг тақсимланишини тармоқдаги нерофни эътиборга олмасдан (тахминий) ҳисоблашда контур токи тенгламаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

Ушбу усулда электр тармоғининг барча мустақил контурлари учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни бўйича тузилган тенгламалардан ҳосил бўлган система ечилади. Бу қонунга асосан контур шохобчаларида кучланиш пасайишларининг йиғиндисини undagi э.ю.к.ларнинг йиғиндисига тенгдир. Демак, n та шохобчадан иборат бўлган контурда э.ю.к. манбаи бўлмаса, у ҳолда тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \dot{Z}_i = 0. \quad (4.4)$$

Бу ерда, $\hat{Z}_i$, $\hat{S}_i$ - контурнинг i - шохобчаси тўла қаршилигининг кўнмаси ва ундаги тўла қувват оқими.

Агар (4.4) да тўла қаршилиқлар ва қувват оқимларини $\hat{Z}_i = R_i + jX_i$, $\hat{S}_i = P_i + jQ_i$ кўринишда ифодаласак, у қуйидаги иккита тенгламага ажралади:

$$\sum_{i=1}^n P_i R_i + \sum_{i=1}^n Q_i X_i = 0, \quad (4.4a)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i - \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.4b)$$

(4.4a) ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i \frac{R_i}{X_i} + \sum_{i=1}^n Q_i R_i \frac{X_i}{R_i} = 0. \quad (4.5)$$

Контурнинг шохобчалари линиялардан иборат бўлиб, уни бир жишли деб қарасак, яъни $\frac{R_i}{X_i} = \alpha = const$ ёки

$\frac{X_i}{R_i} = \frac{1}{\alpha} = const$ бўлса, у ҳолда (4.5) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$\alpha \sum_{i=1}^n P_i X_i + \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.6)$$

(4.6) тенгламанинг ҳар иккита томонини α га кўпайтириб, пайдо бўлган тенгламани (4.4b) тенгламага қўшиб, шунингдек, (4.6) нинг ҳар иккита томонини α га бўлиб, пайдо бўлган тенгламадан (4.4b) ни айтириш натижасида қуйидаги тенгламаларни ҳосил қиламиз:

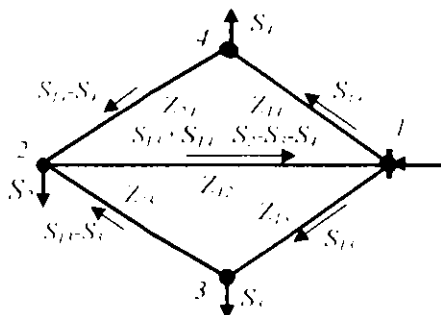
$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = 0, \quad (4.7a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.7b)$$

(4.7a) тенглама юкламаларининг қувватлари фақат актив ва шохобчаларининг қаршилиқлари фақат реактив характерда бўлган контур учун ва (4.7b) тенглама юкламаларининг қувватлари фақат реактив ва шохобчаларининг қаршилиқлари фақат актив бўлган

контур учун ёзилган тенгламалардир. Демак, ушбу ҳолда электр тармоқда актив ва реактив қувватлар тақсимланишларини алоҳида мустакил схемалар учун (4.7а) ва (4.7б) тенгламаларни ечиш асосида аниқлаш мумкин. Ушбу усул «схемаларга ажратилиш» усули деб юритилади.

Мисол тариқасида қуйидаги мураккаб электр тармоқда (4.3-расм) қувват оқими тақсимланишини аниқлаш масаласини кўриб ўтамиз.



4.3-расм

Схемаси 4.3-расмда тасвирланган электр тармоқда тўла қувват оқимининг тақсимланиши умумий ҳолда ҳар иккила мустакил контурлар учун Кирхгофнинг 2-қонун бўйича (4.4) кўринишида ёзилган комплекс тенгламалар системасини ечиб, нобатлорлар $\dot{S}_{12}$, $\dot{S}_{13}$ ларни тоғини орқали амалга оширилади:

$$\begin{cases} \dot{S}_{12} \dot{Z}_{12} + (\dot{S}_{12} - \dot{S}_1) \dot{Z}_{13} + (\dot{S}_{12} + \dot{S}_{13} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) \dot{Z}_{12} = 0, \\ \dot{S}_{13} \dot{Z}_{13} + (\dot{S}_{13} - \dot{S}_1) \dot{Z}_{12} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{12} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) \dot{Z}_{13} = 0. \end{cases}$$

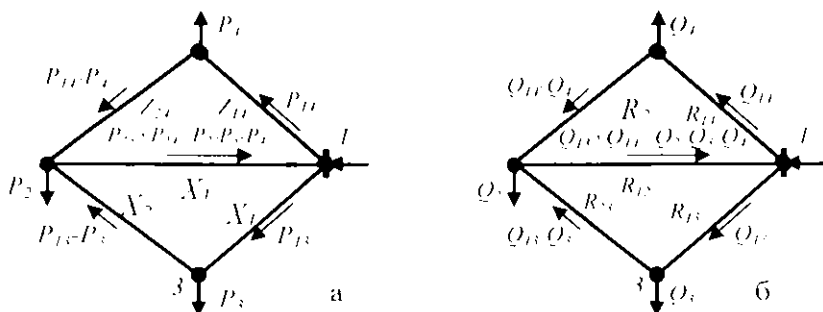
«Схемаларга ажратилиш» усулида эса, 4.3-расмдаги схема қуйидаги схемаларга ажратилиб (4.4,а , 4.4,б - расм), улар учун юқоридаги қонун бўйича тузилган тенгламалардан иборат бўлган (4.7а) ва (4.7б) кўринишидаги ҳақиқий тенгламалар системаларини ечиш асосида актив ва реактив қувватлар оқимлари алоҳида ҳисобланади.

Агар мустакил контурларни ташкил этувчи шохобчалар солиштирма параметрлари бир хил бўлган линиялардан иборат деб қарасак ($r_{0i} = const$, $x_{0i} = const$), у ҳолда (4.7а) ва (4.7б)

тенгламалар янада соддаланади. Бушда қаринишлар ўрнида мос линияларнинг узунликлари пайдо бўлади:

$$\sum_{i=1}^n P_i I_i = 0, \quad (4.8a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i I_i = 0, \quad (4.8б)$$



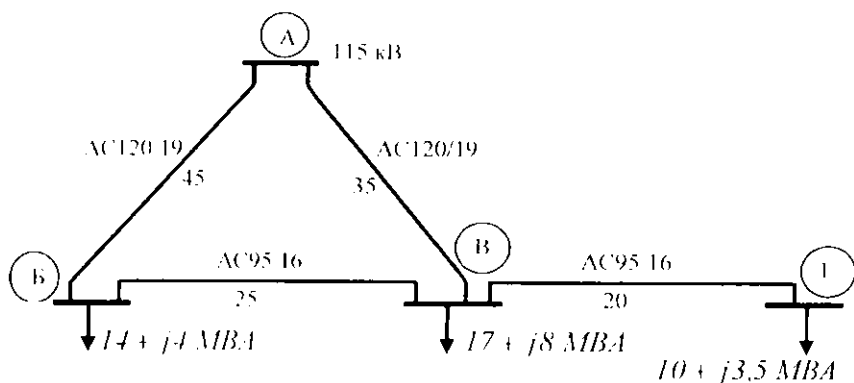
4.4-расм

(4.8a) ва (4.8б) тенгламалардан иборат бўлган системаларни ечиш орқали қувватлар оқимларининг тақсимланишини тахминий ҳисоблашларда, жумладан, электр тармоқларни лойиҳалашда оқимнинг дастлабки тақсимланишини ҳисоблашда фойдаланилади.

4.3. Масалалар ечиш намуналари

4.1-масала. 110 кВ қувватли электр тармони А подстанциянинг қувватли 115 кВ бўлган шинасидан таъминланади. Подстанциянинг юкларлари, ўтказгичларнинг маркалари, линияларнинг километр бирлигидаги узунликлари 4.5-расмдаги схемада келтирилган. Электр тармонда қувватларнинг тақсимланиши ва Б, В, Г подстанцияларнинг шиналаридаги қувватлиларнинг тоғини.

Ечилиш. Қўлланма жадваллардан линияларнинг солиштирма параметрларини аниқлаймиз: АС120/19 маркадаги ўтказгичли линия учун $r_0=0,249$ Ом/км, $x_0=0,427$ Ом/км, $b_0=2,66 \cdot 10^6$ См/км; АС95/16 маркадаги ўтказгичли линия учун $r_0=0,306$ Ом/км, $x_0=0,434$ Ом/км, $b_0=2,61 \cdot 10^6$ См/км.



4.5-рaсm

Алмaштириш схемасининг ҳисоб параметрлари, подстанцияларининг ҳисобий юкламаларининг тоғамиз ва электр гармоқнинг алмaштириш схемасини қурамиз (4.6-рaсm):

$$\dot{Z}_{AB} = r_{AB} + jX_{AB} = (r_{0AB} + jX_{0AB}) \cdot l_{AB} = (0,249 + j0,427) \cdot 45 = 11,2 + j19,21 \text{ Ом};$$

$$B_{AB} = b_{0AB} \cdot l_{AB} = 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 45 = 1,197 \cdot 10^{-4} \text{ СМ};$$

$$\dot{Z}_{BC} = (0,249 + j0,427) \cdot 35 = 8,71 + j14,94 \text{ Ом};$$

$$B_{BC} = 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 35 = 0,931 \cdot 10^{-4} \text{ СМ};$$

$$\dot{Z}_{CA} = (0,306 + j0,434) \cdot 25 = 7,65 + j10,85 \text{ Ом};$$

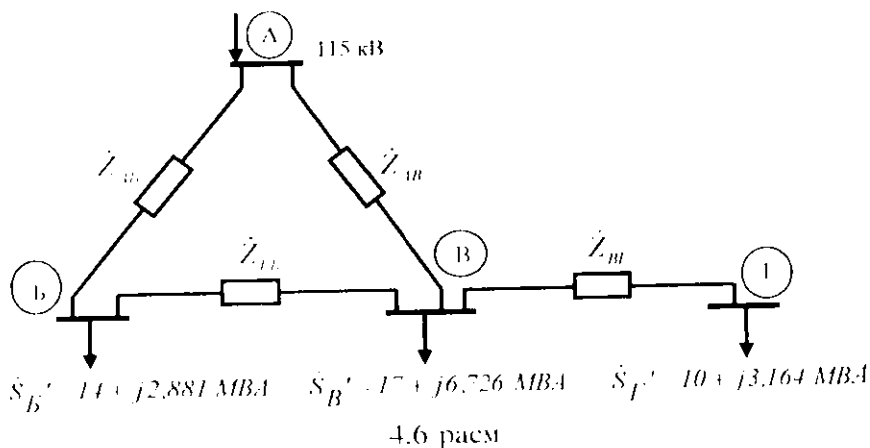
$$B_{CA} = 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 0,6525 \cdot 10^{-4} \text{ СМ};$$

$$\dot{Z}_{B1} = (0,306 + j0,434) \cdot 20 = 6,12 + j8,68 \text{ Ом};$$

$$\dot{S}_n = P_n + jQ_n = P_n + j \left(Q_n + U_n^2 \cdot \frac{B_{AB} + B_{BC}}{2} \right) =$$

$$= 14 + j \left(4 + 110^2 \cdot \frac{1,197 \cdot 10^{-4} + 0,6525 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 14 + j2,881 \text{ МВА};$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_B' &= P_B' + jQ_B' = P_B + j\left(Q_B - U_n^2 \cdot \frac{B_{AB} + B_{AB} + B_{BH}}{2}\right) = 17 + \\ &+ j\left(8 - 110^2 \cdot \frac{0,931 \cdot 10^{-4} + 0,6525 \cdot 10^{-4} + 0,522 \cdot 10^{-4}}{2}\right) = 17 + j6,726 \text{ MVA;} \\ \dot{S}_I' &= P_I' + jQ_I' = P_I + j\left(Q_I - U_n^2 \cdot \frac{B_{BH}}{2}\right) = \\ &= 10 + j\left(3,5 - 110^2 \cdot \frac{0,522 \cdot 10^{-4}}{2}\right) = 10 + j3,164 \text{ MVA.}\end{aligned}$$



ВІ линиясида кувват йерофи ва В пунктадаги суммарий юклатишни топишимиз:

$$\Delta P_{BI} = \frac{10^2 + 3,164^2}{110^2} \cdot 6,12 = 0,055 \text{ MBm};$$

$$\Delta Q_{BI} = \frac{10^2 + 3,164^2}{110^2} \cdot 8,68 = 0,079 \text{ MBAP};$$

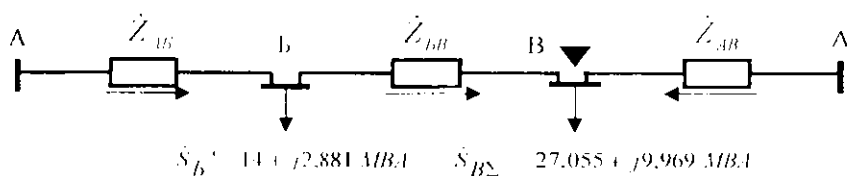
$$\dot{S}_m = 17 + j6,726 + 10 + j3,164 + 0,055 + j0,079 = 27,055 + j9,969 \text{ MVA.}$$

Халқасимон тармоқининг таъминлаш пунктида, яъни А подстанциясининг линиясининг очиб, чеккаларидаги кучланишлар

киймати ва фазаси бўйича тенг бўлган икки томондан таъминланувчи тармоқ схемасини ҳосил қиламиз (4.7-расм).

AB бош бўлақдаги қувват оқимини ҳисоблаймиз:

$$\begin{aligned}\dot{S}_B &= \frac{\dot{S}_B \cdot (\dot{Z}_{LB} + \dot{Z}_{AB}) + \dot{S}_{B2} \cdot \dot{Z}_{AB}}{\dot{Z}_{LB} + \dot{Z}_{BB} + \dot{Z}_{AB}} = \\ &= \frac{(14 + j2,881) \cdot (7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94) +}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} \times \\ &\times (27,055 + j9,969) \cdot (8,71 - j14,94) = 17,011 + j4,889 \text{ MVA.}\end{aligned}$$



4.7-расм

BB бўлақдаги қувват оқими:

$$\dot{S}_{BB} = \dot{S}_B - \dot{S}_B = \dot{S}_B = 17,011 + j4,889 - 14 - j2,881 = 3,011 + j2,008 \text{ MVA.}$$

BA бўлақдаги қувват оқими:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{BA} = \dot{S}_{BB} - \dot{S}_{B2} &= 3,011 + j2,008 - 27,055 - j9,969 = \\ &= -24,044 - j7,961 \text{ MVA.}\end{aligned}$$

$\dot{S}_B$ қувватнинг актив ва реактив таркили этувчилари олинган манфий инпоратлар уларнинг A подстанциядан B подстанцияга томон йўналганлигини билдиради. Аниқланган қувват тақсимланшини 4.7-расмда келтирилган схемада белгилаймиз. B нукта қувват оқимининг бўлиниш нуктаси ҳисобланади.

Натижаларнинг тўғрилигини текшириш учун AB бош бўлақдаги қувватни бошқа йўл билан ҳисоблаймиз:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{AB} &= \frac{(27,055 + j9,969) \cdot (11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85) + (14 + j2,881) \cdot (11,2 - j19,21)}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} = \\ &= 24,044 + j7,961 \text{ MVA}\end{aligned}$$

$\dot{S}_{AB}$ ning ikki hil йўл билан топишган қийматларининг бир хиллиги ҳисоблангларининг тўғрилигини тасдиқлайди.

AB бўлақда қувватлар сифофини топамиз:

$$\Delta P_{AB} = \frac{24,044^2 + 7,961^2}{110^2} \cdot 8,71 = 0,462 \text{ MBm};$$

$$\Delta Q_{AB} = \frac{24,044^2 + 7,961^2}{110^2} \cdot 14,94 = 0,792 \text{ Mвар.}$$

AB бўлақнинг бошланишидаги қувват:

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 24,044 + j7,961 + 0,462 + j0,792 = 24,506 + j8,753 \text{ MVA.}$$

BB бўлақда қувватлар сифофини топамиз:

$$\Delta P_{BB} = \frac{3,011^2 + 2,008^2}{110^2} \cdot 7,65 = 0,008 \text{ MBm};$$

$$\Delta Q_{BB} = \frac{3,011^2 + 2,008^2}{110^2} \cdot 10,85 = 0,012 \text{ Mвар.}$$

AB бўлақнинг охиридаги қувват:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{AB}^{(B)} &= 3,011 + j2,008 + 0,008 + j0,012 + 14 + j2,881 = \\ &= 17,019 + j4,901 \text{ MVA.} \end{aligned}$$

AB бўлақда қувватлар сифофини:

$$\Delta P_{AB} = \frac{17,019^2 + 4,901^2}{110^2} \cdot 11,2 = 0,29 \text{ MBm};$$

$$\Delta Q_{AB} = \frac{17,019^2 + 4,901^2}{110^2} \cdot 19,21 = 0,498 \text{ Mвар.}$$

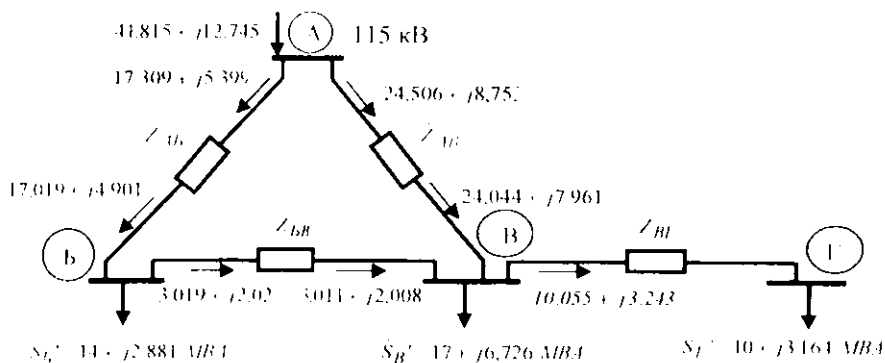
AB бўлақнинг бошланишидаги қувват:

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 17,019 + j4,901 + 0,29 + j0,498 = 17,309 + j5,399 \text{ MVA.}$$

Шундай қилиб, кўрилатган электр тармони A подстанциянинг шинасидан қуйидагича қувват олади:

$$\begin{aligned} \dot{S}_A &= \dot{S}_{AB}^{(A)} + \dot{S}_{AB}^{(B)} - jU_A^2 \cdot \frac{B_{cAB} + B_{cAB}}{2} = 17,309 + j5,399 + 24,506 + j8,753 - \\ &- j115^2 \cdot \frac{1,197 \cdot 10^{-4} + 0,931 \cdot 10^{-4}}{2} = 41,815 + j12,745 \text{ MVA.} \end{aligned}$$

Топишган қувват тақсимлангани 4.8-расмда тасвирланган.



4.8-расм

Тугунлардаги кучланишларни аниқлаймиз:

$$U_b = U_A \cdot \frac{P_{ab} + r_{ab} + Q_{ab} \cdot x_{ab}}{U_A} = 115 \cdot \frac{17.309 \cdot 11.2 + 5.399 \cdot 19.21}{115}$$

$$112.41 \text{ кВ};$$

$$U_B = U_A \cdot \frac{P_{AB} + r_{AB} + Q_{AB} \cdot x_{AB}}{U_A} = 115 \cdot \frac{24.506 \cdot 8.71 + 8.753 \cdot 14.94}{115}$$

$$112.01 \text{ кВ};$$

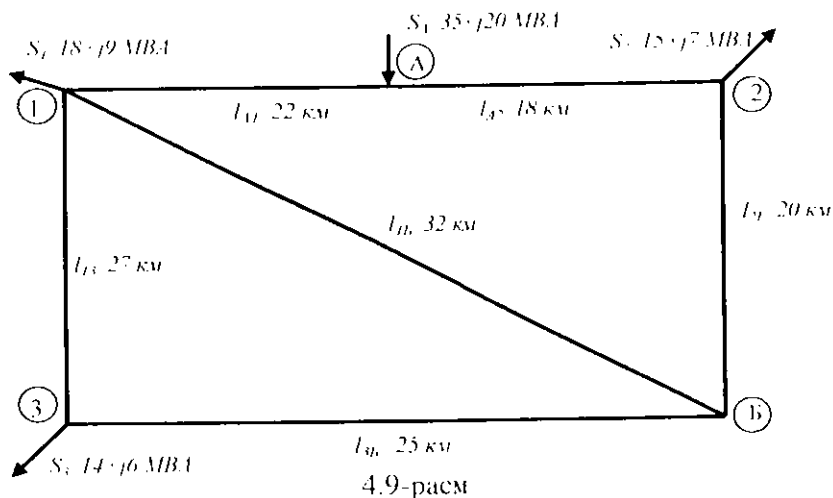
$$U_\Gamma = U_A \cdot \frac{P_{A\Gamma} + r_{A\Gamma} + Q_{A\Gamma} \cdot x_{A\Gamma}}{U_A} = 112.6 \cdot \frac{10.055 \cdot 6.12 + 3.243 \cdot 8.68}{112.6} =$$

$$111.8 \text{ кВ}.$$

4.2-масала. Схемаси куйидаги 4.9-расмда келтирилган бир жинсли контурлардан ташкил топган мураккаб ёнқ электр тармоқда қувватлар оқимининг тақсимланишини тармоқдаги нерофни ҳисобга олмасдан аниқланг.

Балансовчи тугундан ташқари барча тугунлардаги тўла қувватлар ва линияларнинг узунликлари схемада келтирилган.

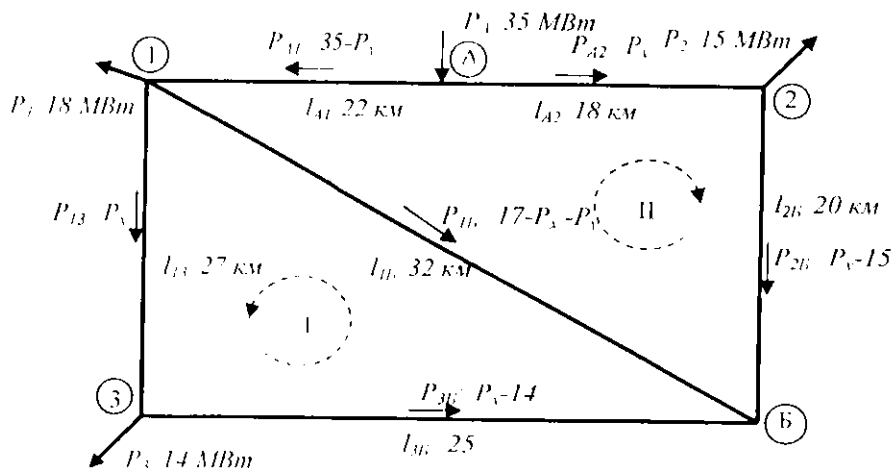
Ечиш. Электр тармоқнинг контурлари бир жинсли бўлганили учун улардаги қувват оқимларини линияларнинг узунликлари бўйича ҳисоблаймиз.



Хисоблашда қулай бўлиши учун актив ва реактив қувват оқимларини хисоблашни алоҳида амалга оширамыз.

Электр тармоқда актив қувватнинг тақсимланишини ҳисоблаш. Тармоқнинг схемасини қайта чизиб, тугунларга актив қувватларни қўямиз ва линияларда қувват оқимларини аниқлаймиз. Бунини учун аввало ҳар бир муستакил контурнинг биттадан шохобчасида (ҳозирги ҳолатда линиясида) қувват оқимларини номаълум сифатида қабул қилиб, қолган шохобчалардан қувват оқимларини ушбу йўлга номаълум ва тугунлардан қувватлар орқали (Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланиб) ифодалаймиз.

Биринчи контурда (I контур) 1-3 шохобчада 1-тугундан 3-тугунга томон оқувчи қувватни номаълум сифатида қабул қилиб, P_1 билан ва иккинчи контурда (II контур) А-2 шохобчада А-тугундан 2-тугунга томон оқувчи қувватни номаълум сифатида қабул қилиб, P_2 билан белгилайлик. Қолган барча шохобчалардан қувватлар оқимларининг йўналишларини ихтиёрий қабул қилиб (масалан, 4.10-расмдаги йўналишларда), уларни тугунлар учун Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланиб ифодалаймиз.



4.10-расм

Контур қувватларининг йўналишларини ихтиёрий қабул қилиб, улар учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни бўйича тенгламалар тузимиз. Бунда шохобчадаги қувват йўналиши контур қувватларининг йўналиши билан бир хил бўлганда мос ташкил этувчи мусбат ва ҳар хил бўлганда манфий ишора билан олинади:

$$\begin{cases} 27P_3 + 25(P_3 - 14) - 32(17 - P_3 - P_3') = 0, \\ 18P_1 + 20(P_1 - 15) - 32(17 - P_1 - P_1') - 22(35 - P_1) = 0. \end{cases}$$

Пайдо бўлган системани ихчамлаб ечамиз ва натижада номаълум қувват оқимларини тонамиз: $P_3 = 4,58 \text{ MBm}$, $P_1 = 15,96 \text{ MBm}$.

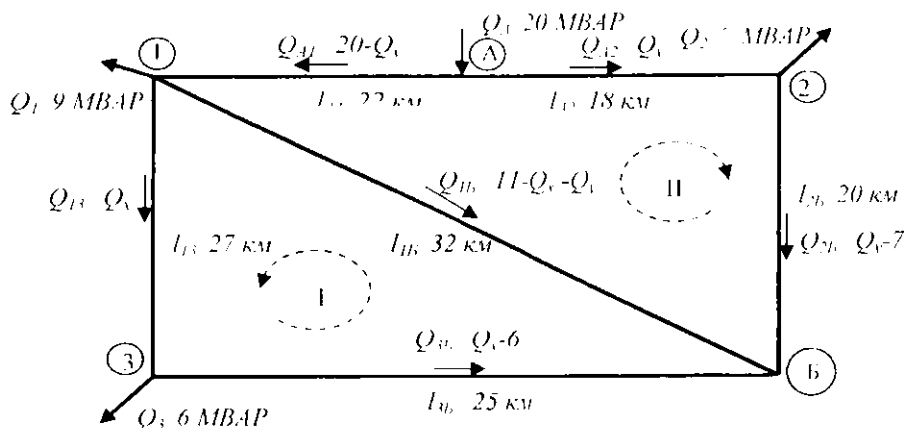
Тошылган қувватларни шохобчалардаги қувватлар оқимларининг ифодаларига (4.10-расм) қўйиб, уларни аниқлаймиз: $P_{13} = 15,96 \text{ MBm}$, $P_{2B} = 0,96 \text{ MBm}$, $P_{A1} = 19,04 \text{ MBm}$, $P_{13} = 4,58 \text{ MBm}$, $P_{1B} = -9,42 \text{ MBm}$, $P_{1B} = -3,54 \text{ MBm}$.

Шохобчалардаги реактив қувват оқимларини ҳам шу тарзда тонамиз (4.11-расм).

$$\begin{cases} 27Q_3 + 25(Q_3 - 6) - 32(11 - Q_3 - Q_3') = 0, \\ 18Q_1 + 20(Q_1 - 7) - 32(11 - Q_1 - Q_1') - 22(20 - Q_1) = 0. \end{cases}$$

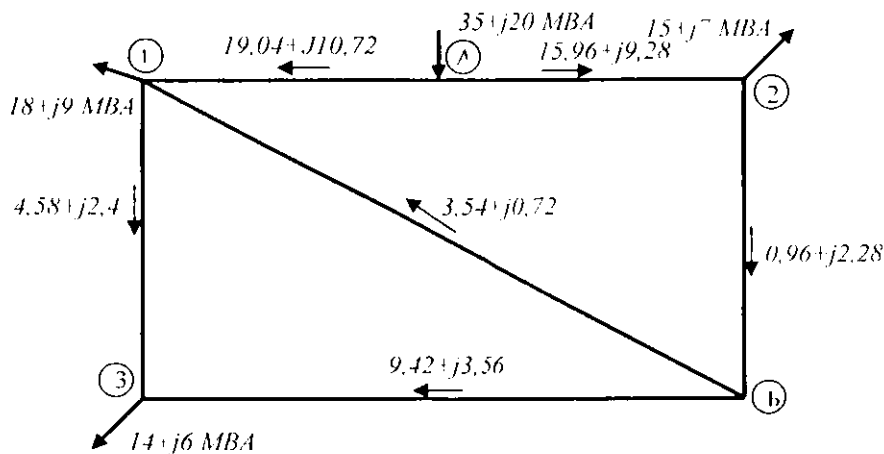
$$Q_3 = 2,44 \text{ MBm}, \quad Q_1 = 9,28 \text{ MBm}.$$

$$Q_{A2} = 9,28 \text{ MBAP}, \quad Q_{2B} = 2,28 \text{ MBAP}, \quad Q_{A1} = 10,72 \text{ MBAP}, \quad Q_{13} = 2,44 \text{ MBAP}, \\ Q_{1B} = -3,56 \text{ MBAP}, \quad Q_{1B} = -0,72 \text{ MBAP}.$$



4.11-расм

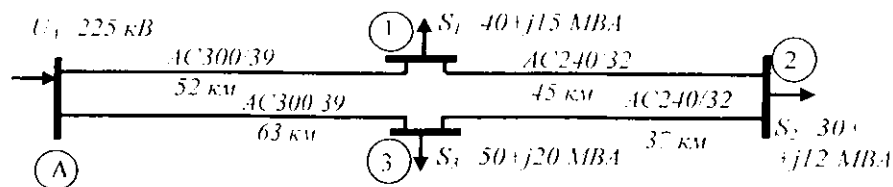
Шохобчалардаги тўла қувват оқимларининг аниқланган қийматларини 4.12-расмдаги схемада келтирамиз.



4.12-расм

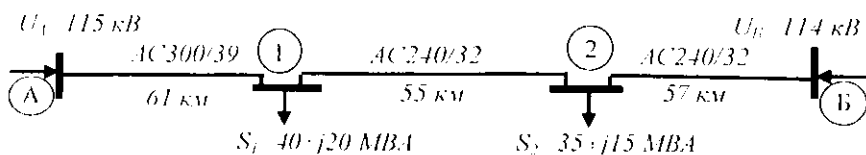
4.4. Мустақил ечиш учун масалалар

1. Қуйидаги электр тармоқда (4.13-расм) исрофий ҳисобга олган ҳолда қувват оқимининг тақсимланиши ва подстанцияларнинг шиналаридаги қулатишларни аниқланг.



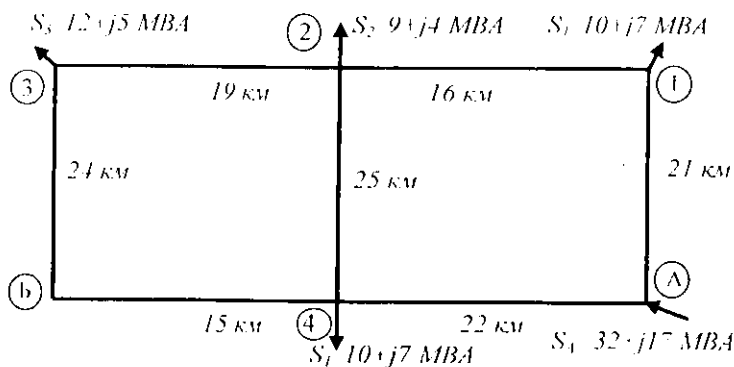
4.13-расм

2. Схемаси 4.14-расмда тасвирланган электр тармоқда перофни ҳисобга олган ҳолда қувват оқиминини тақсимланишини ва тугунлардаги қувватланишларни тоининг.



4.14-расм

3. Схемаси 4.15-расмда келтирилган бир жинели контурлардан ташкил тошган мураккаб ёпиқ электр тармоқда қувватлар оқиминини тақсимланишини тармоқдаги перофни ҳисобга олмасдан аниқлаш.



4.15-расм

5. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА КУЧЛАНИШНИ РОСТЛАШ

5.1. Умумий тушунчалар

Электр тармоқнинг кучланиши доимо юклама, таъминлаш манбаининг иш ҳолатлари, занжирнинг қаршилиги ўзгариши билан ўзгариб туради. Кучланишнинг оғиши ҳар доим ҳам рухсат этилган минимал ва максимал қийматлар оралиғида бўлавермайди. Шу сабабли электр тармоқнинг турғун ишлаши ва истеъмолчиларни сифатли электр энергия билан таъминлаш учун ундаги кучланишнинг қийматини назорат қилиб туриш ва зарурат бўлганда уни ростлаш лозим.

Кучланишни ростлаш деб электр системасининг характерли нукталарида кучланиш даражасини махсус техник воситалар ёрдамида талабга мувофиқ ўзгартириш жараёнига айтилади.

Кучланишни ростлаш усуллари таъминлаш марказида (ТМ) амалга ошириладиган *марказланган* ва бевосита истеъмолчиларда амалга оширадиган *маҳаллий* усуллarga бўлинади.

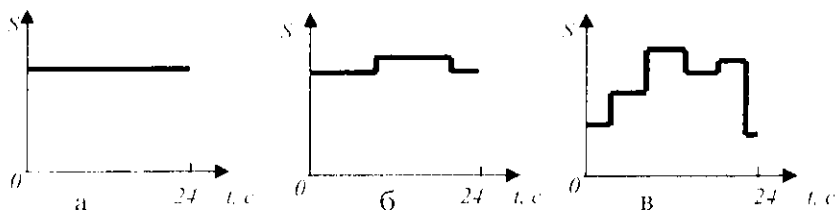
Кучланишни маҳаллий ростлашни турухли ва индивидуал усуллarga бўлиш мумкин. Турухли ростлаш истеъмолчилар турухи учун, индивидуал ростлаш асосан махсус мақсадларда амалга оширилади.

Юқорида кўрсатилган кучланишни ростлаш типларини юкламанинг ўзгариши характерига боғлиқ равишда бир нечта типларга ажратиш мумкин. Масалан, кучланишни марказланган ростлашда учта нимтипни ажратиш мумкин. Булар, кучланишни стабиллаш; кучланишни икки поғонали ростлаш ва кучланишни қарама-қарши ростлашдир.

Кучланишни *стабиллаш* амалда юкламаси ўзгармайдиган истеъмолчилар учун, масалан, кучланиш даражаси бир хилда тутиб турилиши лозим бўлган уч сменали корхоналар учун қўлланилади. Бундай истеъмолчининг юклама графиги 5.1.а-расмда кўрсатилган.

Аён ифодаланган икки поғонали юклама графигига эга бўлган истеъмолчилар (5.1,б-расм), масалан, бир сменали корхоналар учун *икки поғонали ростлаш* қўлланилади. Бунда сутка давомида юклама графигига мос равишда кучланишнинг иккита даражаси тутиб турилади.

Юклама сутка давомида ўзгарувчан бўлган ҳолларда қарама-қарши ростлаш амалига оширилади (5.1.в-расм). Юкламанинг ҳар бир қийматиға кучланиш ва кучланиш иерофининг мос қийматлари тўғри келади. Шу сабабли юклама ўзгариши билан кучланиш ҳам ўзгаради. Бунда кучланишнинг оғиши рухсат этилганидан ортиб кетмаслиги учун уни юкламага боғлиқ равишда ростлаб туриш лозим.



5.1-расм. Юклама графиклари. а - ўзгармас; б - икки поғонани; в - кўп поғонани.

Юклама нафақат сутка давомида, балки йил давомида ҳам ўзгаради. Масалан, йил давомида энг катта юклама кузги-кишкки 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 подстанциялари шиналаридаги кучланиш даражасини энг катта юклама даврида оширилган ҳолатда, энг кичик юклама даврида эса камайтирилган ҳолатда тутиб туришни назарда тутади.

5.2. Кучланишни қарама-қарши ростлаш

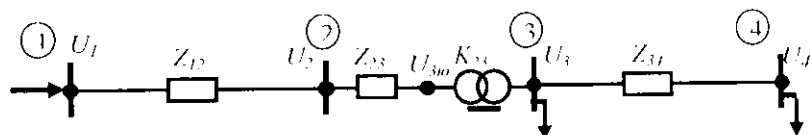
Кучланишни қарама-қарши ростлаш электр тармоқларда жуда кенг қўлланилади. Шу сабабли ушбу усул билан яқинроқ танишни мақсадида схемаси 5.2-расмда тасвирланган тармоқни кўриб ўтамиз. Унда Z_{12} 1 ва 2 пунктлар орасидаги линиянинг қаршилтиги; Z_{23} - 2- ва 3- пунктлар орасидаги туман подстанциясидagi икки чулғамли трансформаторнинг қаршилтиги; K_{21} - идеал трансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти; Z_{34} - 3- ва 4- пунктлар орасидаги линия қаршилтиги; U_1 - таъминлаш маркази шинасидаги кучланиш; U_2 - туман подстанциясининг бирламчи - юқори (ЮК) шинасидаги

кучланиш; U_{3n} - туман подстанцияси иккиламчи – қуйи (КҚ) шинасидаги кучланишнинг юқори томонга келтирилган қиймати; U_3 - туман подстанциясининг иккиламчи – қуйи (КҚ) шинасидаги кучланиш; U_4 - истеъмолчилардаги кучланиш.

Схемада кўрсатилган нукталардаги кучланишлар қуйидагича аниқланади:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}, \quad U_{3n} = U_2 + \Delta U_{23}, \quad U_3 = \frac{U_{3n}}{K_{23}}, \quad U_4 = U_3 + \Delta U_{34} \quad (5.1)$$

бу ерда ΔU_{12} , ΔU_{23} , ΔU_{34} - мос шохобчалардаги кучланиш перофлари.



5.2-расм. Электр тармоқда кучланишни карама-қарини ростилаш

Минимал юкламалар ҳолатида 1-2 линия ва 2-3 трансформаторларда кучланиш перофининг камайиши натижасида 3- ва 4- пунктларда уланган истеъмолчиларда кучланишнинг ортиши, максимал юкламалар ҳолатида эса кучланиш перофининг ортиши натижасида истеъмолчилардаги кучланишнинг камайиши кузатилади. Бунда биринчи ҳолатда истеъмолчилардаги кучланишлар максимал рухсат этилган қийматдан катта ва иккинчи ҳолатда минимал рухсат этилган қийматдан кичик бўлиши мумкин. Бундай ҳолатларда кучланишни ростилаш эҳтиёжи пайдо бўлади.

Минимал юкламалар ҳолатида U_3 имкони борича U_n га яқин қийматгача камайтирилади. Бу ҳолатда K_{23} нинг шундай стандарт қиймати танланиши лозимки, натижада қуйидаги шарт бажарилсин:

$$U_3 \geq U_n \quad (5.2)$$

Максимал юкламалар ҳолатида U_3 ни имкони борича 1.05-1.1 U_n га яқинроқ қийматгача орттирилади. Бу ҳолатда K_{23} нинг шундай стандарт қиймати танланиши лозимки, бунда қуйидаги шарт бажарилсин:

$$U_3 \geq (1.05 + 1.1) U_n \quad (5.3)$$

Шундай қилиб, таъминлаш марказидан узокдаги 4- ва унга яқиндаги 3- пунктлардаги истеъмолчиларда кучланишлар рухсат этилган чегарала киритилади. Максимал ва минимал юкламалар ҳолатларидаги бундай ростлашда кучланиш мос равишда оширилади ва пасайтирилади. Шу сабабли бундай ростлаш қарама-қарши ростлаш деб аталади.

5.3. Пасайтирувчи подстанцияларда кучланишнинг ростлаш

Пасайтирувчи подстанцияларнинг трансформаторларидаги кучланишнинг ростлаш қурилмалари икки турга бўлинади: а) кўзгагишсиз алмашлаб улаш (КАУ) қурилмаси; б) юклама остида ростлаш (ЮОР) қурилмаси. Одатда, ростловчи шохобчалар трансформаторнинг кичик ишчи ток оқувчи юқори чулғами томонида ўрнатилади. Бунинг натижасида алмашлаб улаш қурилмасининг ишлаши енгиллашади.

5.2-расмда тасвирланган содда схемани кўриб ўтамыз.

Подстанциянинг ЮК шинасидаги кучланиш U_2 электр станцияси генераторларининг чиқишидаги кучланиш U_1 дан 1-2 линиядаги кучланиш исрофи қиймати ΔU_{12} га, подстанция ҚК шинасидаги ЮКга келтирилган кучланиш U_{3n} эса U_2 дан трансформатор қаршилигидаги кучланиш исрофи ΔU_{23} га кичик:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}, \quad U_{3n} = U_2 - \Delta U_{23}.$$

Подстанция ҚК шинасидаги кучланишнинг ҳақиқий қиймати қуйидагича топилади:

$$U_3 = \frac{U_{3n}}{K_{23}} = U_{3n} \frac{U_{3n}}{U_{3n}}, \quad (5.4)$$

бу ерда $K_{23} = \frac{U_{3n}}{U_{3n}}$ - трансформаторнинг трансформациялаш

коэффициенти; U_{3n} - ЮК чулғами ростлаш шохобчасининг кучланиши; U_{3n} - ҚК чулғамининг номинал кучланиши.

Трансформациялаш коэффициентини ўзгартириб, подстанциянинг ҚК томонидаги кучланиш U_3 ни ўзгартириш мумкин. Барча подстанцияларда кучланишнинг ростлаш воситалари айнан шу принцилда ишлайди.

Қарама-қарши ростлаш шартлари (5.2) ва (5.3) бўйича

$$V_{\max}^{\text{ток}} \% = 5\%; \quad V_{\min}^{\text{ток}} \% = 0,$$

бу ерда $V_{\max}^{\text{nox}} \%$, $V_{\min}^{\text{nox}} \%$ - максимал ва минимал юкламалар ҳолатлари учун хоҳланган кучланиш оғишининг номинал кучланишга нисбатан фоизлари.

Буларга мос равишда

$$U_{3 \max}^{\text{nox}} = U_n + V_{\max}^{\text{nox}}; \quad U_{3 \min}^{\text{nox}} = U_n + V_{\min}^{\text{nox}}.$$

КК томонидаги кучланишнинг ҳақиқий қиймати (5.4) ифодадан топилади.

Тармоқнинг максимал ва минимал электрик ҳолатларини ҳисоблаш натижасида ҳар иккала ҳолат учун КК томонидаги кучланишнинг ЮК томонига келтирилган қийматлари $U_{30 \max}$ ва $U_{30 \min}$ топилади. Улар бўйича максимал ва минимал юклама ҳолатлари учун трансформатор юқори чулғамида хоҳланувчи ростлаш шохобчаси аниқланади:

$$U_{\text{nox max}} = U_{30 \max} \cdot \frac{U_{\Delta n}}{U_{3 \max}^{\text{nox}}}; \quad U_{\text{nox min}} = U_{30 \min} \cdot \frac{U_{\Delta n}}{U_{3 \min}^{\text{nox}}}. \quad (5.5)$$

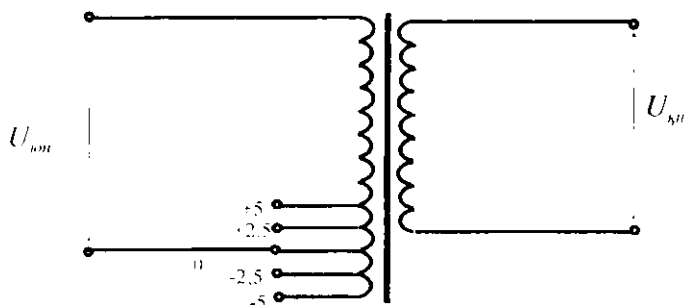
(5.5) бўйича аниқланган хоҳланувчи шохобчалар кучланишлари (5.2) ва (5.3) шартларни бажарувчи энг яқин стандарт қийматларга яхлитланади.

ҚАУли трансформаторларда ҚАУ қурилмаси ҳозирги даврда асосий ва тўртта қўшимча шохобчани қилиб ишлаб чиқарилади. Бундай трансформатор чулғамининг схемаси 5.3-расмда келтирилган. Асосий шохобча кучланиши трансформатор юқори чулғамининг номинал кучланишидир (U_n). Бу шохобчага мос келувчи трансформациялаш коэффициенти номинал трансформациялаш коэффициенти деб юритилади. Тўртта ёрдамчи шохобчалардан фойдаланилганда трансформациялаш коэффициенти номиналдан мос равишда +5; +2,5; -2,5 ва -5% га фарқ қилади. Трансформаторнинг иккиламчи (схемада - қуйи) чулғами унга уланган тармоқнинг таъминлаш маркази ҳисобланади.

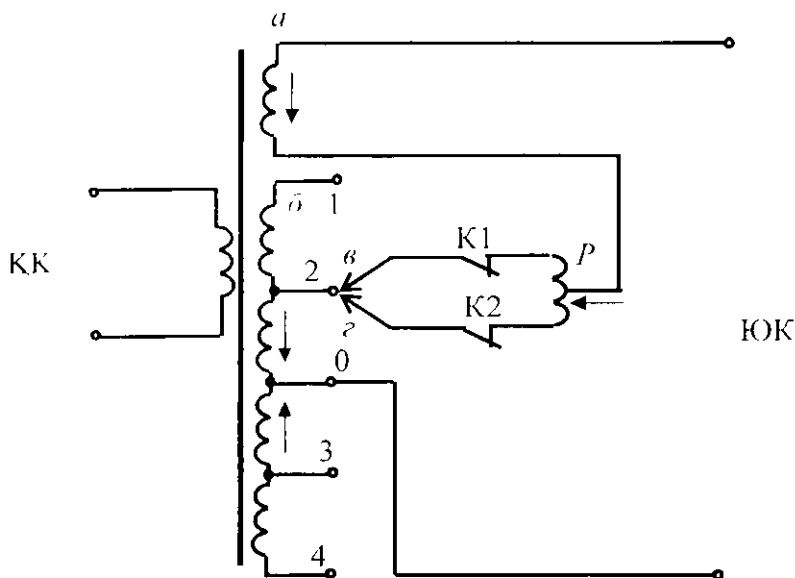
Шу сабабли трансформаторларда иккиламчи чулғамнинг номинал кучланиши тармоқнинг номинал кучланишга нисбатан каттадир. Бу фарқ кичик қувватли трансформаторлар учун 5% ва қолганлари учун 10% ни ташкил этади. Фараз қилайлик, асосий шохобчадан фойдаланилганда бирламчи шохобчага тармоқнинг номинал кучланишга тенг кучланиш берилмоқда ва салт ишлаш ҳолатида КК томонидаги кучланиш $1,05U_n$. Бунда қўшимча

кучланиш 5%. ҚАУли трансформатор шохобчасини ўзгартириб яхлиталаган қийматлари қуйидагича бўлган қўшимча кучланишни олиш мумкин:

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



5.3-расм. ҚАУли трансформаторнинг чулғамлари схемаси



5.4-расм. ЮОРли трансформаторнинг чулғамлари схемаси

КАУли трансформаторнинг ростлаш шохобчаларини алашлайб улаш учун аввало уни тармоқдан ажратиш талаб этилади. Бундай алашлайб улашлар кам юкламаларни сезонли ўзгаришларини мўлжаллаб амалга оширилади. Шу сабабли сутка давомидаги максимал ва минимал юклама ҳолатларида (масалан, кундузи ва тунда) КАУли трансформатор битта ростловчи шохобча ва шунга мос ягона трансформациялаш коэффициентини билан ишлайди. Бунда кучланишни қарама-қарши ростлаш гатабларини амалга ошириш, яъни (5.2) ва (5.3) шартларни бажариш мумкин эмас.

Ўрнатилган ЮОР қурилмалари кучланишнинг юклама остида **ростловчи** трансформаторлар КАУли трансформаторлардан алашлайб уловчи махсус қурилма ва шунингдек шохобчалар сонининг қўлини, диапазонининг катталиги билан фарқ қилади. Масалан, ЮК чулғамининг асосий шохобчаси кучланиш 115 кВ бўлган трансформатор ҳар бири шохобчасидаги кучланиш қўлини шохобчадаги кучланишлардан 1,78% дан фарқ қилувчи 18 та ростлаш даражали $\pm 16\%$ ростлаш диапазонида эга.

5.4-расмда ЮОРли трансформатор чулғамларининг схемаси тасвирланган. Бу трансформаторнинг ЮК чулғамини икки қисмдан ростланмайдиган *a* ва ростланмайдиган *b* қисмлардан ташкил тошган. Ростланмайдиган қисмининг 1-4 қўзғалмас контактларида бир қатор шохобчалар мавжуд. 1, 2 шохобчалар асосий чулғам ўрамлари билан бир хил йўналишдаги ўрамлар қисмига мос келади (токнинг йўналишын 5.4-расмда стрелкалар ёрдамида кўрсатилган). 1, 2 шохобчалар уланганда трансформаторнинг трансформациялаш коэффициентини ошади. 3, 4 шохобчалар асосий чулғам ўрамларига инсбатан қарама - қарши йўналишдаги ўрамлар қисмига мос келади. Уларнинг улашын трансформациялаш коэффициентини камайтиради, чунки улар асосий чулғам ўрамлари бир қисмининг таъсирини компенсациялайди. Трансформатор ЮК чулғамининг асосий чиқини жойи бўлиб 0 нукта ҳисобланади.

Асосий чулғам ўрамлари билан бир хил ва қарама - қарши йўналишдаги ўрамлар сонини бир хил бўлмаслиги мумкин. Чулғамнинг ростловчи қисмида қўзғалувчи *v* ва *z*, қўзғалмас К1 ва К2 контактлардан ҳамда *P* реакторлардан ташкил тошган алашлайб уловчи қурилма мавжуд. Реакторнинг ўртасини трансформатор чулғамининг ростланмайдиган *a* қисмин билан

гулашган. Нормал шароитда ЮК чулгани токи реактор чулганининг иккала яримларига тенг тақсимланади. Шу сабабли бундай ҳолатда реакторда магнит оқими ва шунингдек кучланиш исрофи кам бўлади.

Фараз қилайлик, қурилгани 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, чулганининг 1, 2 секциялари Р реакторнинг чулгани орқали ёниқ улашиб қолади. Бу вақтда реакторнинг индуктивлиги чулганининг 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 (5.2), (5.3) ни бажариш мумкин.

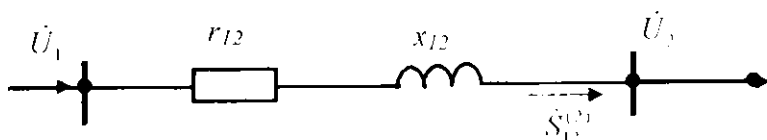
Линия ростлагич трансформаторлари (ЛРТ) ва кетма-кет ростловчи трансформаторлар кучланишни алоҳида ЭУЛда ёки ЭУЛ гуруҳларида ростлаш учун қўлланилади. Шундай қилиб, улар кучланишни юклама остида ростламайдиган трансформаторлардан фойдаланилган мавжуд тармоқларни қайта қуришда қўлланилади. Бундай ҳолларда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

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

5.4. Кучланишни тармоқнинг қаршилигини ўзгартириб ростлаш

(5.1) формулалардан кўринадики, исстеъмолчидаги кучланиш тармоқдаги кучланиш исрофи қийматига боғлиқдир. Кучланиш исрофи эса ўз навбатида тармоқ қаршилигига боғлиқ. Масалан, 5.5-расмда тасвирланган тармоқдаги кучланиш пасайишининг бўйлама ташкил этувчисини куйидагича аниқлаш мумкин:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^{(2)} + Q_{12}^{(2)} X_{12}}{U_2} \quad (5.6)$$



5.5-расм. Кучланишни тармоқнинг қаршиилигини ўзгартириб ростлаш

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

Тақсимловчи ва таъминловчи тармоқлар учун актив ва реактив қаршиликларнинг нисбатлари турлича бўлади. Тақсимловчи тармоқ линияларида, асосан, актив қаршилик реактив қаршиликка нисбатан катта, яъни $r_0 > x_0$ бўлади. Шу сабабли бундай тармоқлар учун (5.6) формулада суратнинг асосий ташкил этувчиси $P_{12}^{(2)}$ r_{12} бўлиб ҳисобланади.

Таъминловчи электр тармоқларда эса аксинча $x_0 > r_0$ ва шу сабабли ΔU_{12} асосан ЭУЛ ўтказгичининг кўндаланг кесимига кам даражада боғлиқ бўлган реактив қаршилик билан белгиланади. Реактив қаршиликни ўзгартириш учун ЭУЛ га кетма-кет тарзда конденсаторлар улаш лозим. ЭУЛда конденсаторлар улашдан олдинги кучланиш пасайишининг бўйлама танкил этувчиси (5.6) бўйича аниқланади. Фараз қилайлик, ЭУЛнинг охирида кучланиш рухсат этилганидан паст (5.6-расм):

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

ЭУЛга конденсаторларни шундай улаймизки, бунинг натижасида U_2 рухсат этилган U_{2px} гача ошсин.

Бунда юқоридаги ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$U_{2px} = U_1 - P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} (x_{12} - x_k) / U_{2px} \quad (5.7)$$

Бу ерда x_k - конденсаторларнинг эквивалент қаршилиги

Конденсаторларни ЭУЛда кетма-кет улаш бўйлама компенсациялаш деб юритилади. Бўйлама компенсацияловчи қурилма (БКК) ЭУЛда индуктив қаршилик ва кучланиш иерофини компенсациялаш имконини беради.

Шундай қилиб, компенсациялангача ва компенсацияшдан кейинги ҳолатларда тармоқ охиридаги кучланиш вектори (комплекс кучланиш) учун қуйидаги ифодалар ўринлидир:

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

$$U_{2pv} = U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}) - \sqrt{3} I_{12} (-jx_k).$$

Бу ерда I_{12} -ЭУЛ токи. Ҳисоблаш нуқтаи назаридан $j\sqrt{3} I_{12} x_k$ ни манфий кучланиш ёки тармоққа киритилувчи қўшимча э.к.к сифатида қараи мумкин.

$U_1, U_{2pv}, r_{12}, x_{12}, P_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}$ ни билган ҳолда (5.7) дан x_k ни топиш ҳамда лозим бўлган кетма-кет ва параллел уланувчи конденсаторларнинг сонини таплаш мумкин. Бунда конденсаторлардаги кучланиш U_k ва ток I_k қуйидагиларга тенгдир:

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

Агар битта конденсаторнинг номинал кучланиши $U_{kном} < \frac{U_k}{\sqrt{3}}$, бўлса, у ҳолда бир нечта конденсаторлар кетма-кет уланиши лозим. Кетма-кет уланувчи конденсаторлар сони қуйидаги ифода бўйича топилади:

$$n = \frac{U_k}{\sqrt{3} U_{kном}}.$$

Конденсаторнинг паспортида берилувчи номинал қуввати Q_k бўйича номинал токни аниқлаш мумкин:

$$I_{kном} = \frac{Q_k}{U_{kном}}.$$

Агар $I_{kном} < I_k$ бўлса, конденсаторда ўта кучланиш юз беришининг олдини олиш учун m та конденсатор параллел уланиши лозим.

Бунда

$$m = \frac{I_k}{I_{kном}}.$$

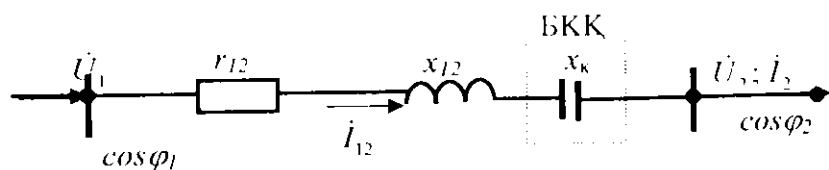
БҚҚ сифим қаршилигини ЭУЛ индуктив қаршилигига нисбатан фоишлардаги қиймати компенсациялаш фоиши деб аталади ва у қуйидагича топилади:

$$C' = \frac{x_k}{x_{l2}} \cdot 100\%.$$

Амалда ЭУЛ реактив қаршилигининг қисман компенсациялаш қўлланилади (яъни $C' < 100\%$ бўлади). Юкламаларни бевосита таъминлайдиган тақсимловчи тармоқларда ўта кучланиш вужудга келиши мумкинлигини бартараф этиш мақсадида, одатда, тўла ёки ортиқча компенсациялаш ($C' \geq 100\%$) қўлланилмайди.

БҚҚни қўллаш тармоқда кучланиш ҳолатини яхшилаш имконини беради. Бирок, кучланишнинг ортиши БҚҚ орқали ўтувчи токнинг қиймати ва фазасига боғлиқдир. Ушбу сабабларга кўра БҚҚ ёрдамида ростлаш имкониятлари чекланган. БҚҚни ўта юкланган радиал ЭУЛларда кучланиш оғишини камайтириш учун қўллаш энг самаралидир.

Таъминловчи тармоқларда БҚҚлардан фойдаланиш мураккаб ва қимматдир. Бундай тармоқларда қисқа тугашув даврида ўта кучланишдан химояланиш учун махсус тадбирларни қўллаш лозим. БҚҚ нафақат кучланишни ростлаш учун, балки ЭУЛнинг ўтказувчанлик қобилиятини ошириш мақсадида ҳам қўлланилади.

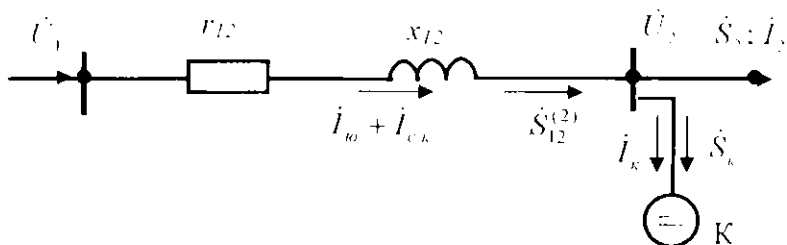


5.6-рasm. Кучланишнинг бўйлама компенсациялаш орқали ростлаш

5.5. Кучланишнинг реактив қувват оқимини ўзгартириб ростлаш

(5.6) формуладан кўринадики, кучланиш исрофи тармоқдаги актив ва реактив қувват оқимларига боғлиқ. ЭУЛ орқали оқувчи актив қувват исғеъмолчилигининг қуввати билан белгиланади. Шу сабабли кучланишнинг ростлаш учун актив қувват

оқимини ўзгартириш мумкин эмас. Таъминловчи тармоқларда реактив қаршилик актив қаршиликка нисбатан катта бўлганини учун қувват оқимларини ўзгартириб ростида қучланиш перофига $Q_{12}^{(2)}x_{12}$ қучли таъсир кўрсатади. Юқорида тармоқнинг реактив қаршилигини ўзгартириш орқали ушбу кўнайтмани ўзгартириш ва шу тариқа қучланишнинг ростида усулини кўриб ўтдик. Бу кўнайтмани иккинчи кўнайтувчи – тармоқдаги реактив қувват оқимини ўзгартириш (компенсациялаш) орқали ҳам ўзгартириш мумкин. Ушбу усулнинг маъноси билан схемаси 5.7-расмда келтирилган электр тармоқда қучланишнинг ростида мисолида танинамиз.



5.7-расм. Қучланишнинг реактив қувватни компенсациялаш орқали ростида

Реактив қувват компенсатори улангандан олдин ЭУЛ охиридаги қучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_1 r_{12} + Q_{12}^{(2)} x_{12}}{U_2} = U_1 - \frac{P_2 r_{12} + Q_2 x_{12}}{U_2} \quad (5.8)$$

Фараз қилайлик, U_2 рухсат этилганидан кичик. ЭУЛ охирига компенсатор улангандан сўнг бу қучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_2 r_{12} + (Q_2 - Q_k) x_{12}}{U_2} \quad (5.9)$$

Компенсаторнинг қучланишнинг рухсат этилган қийматини таъминлайдиган қувватини топамиз. Бунинг учун (5.9) формулада линия охиридаги қучланиш унинг хоҳланган қийматига тенглашган (яъни $U_2 = U_{\text{ном}}$) деб ҳисоблаймиз ва (5.9) даги U_2 ўрнига унинг (5.8) дан олинган ифодасини қўямиз. Натижада компенсатор қуввати учун қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$Q_k = \frac{(U_{2\text{ном}} - U_2)[U_{2\text{ном}}U_2 - (P_2r_{12} + Q_2x_{12})]}{U_2x_{12}}$$

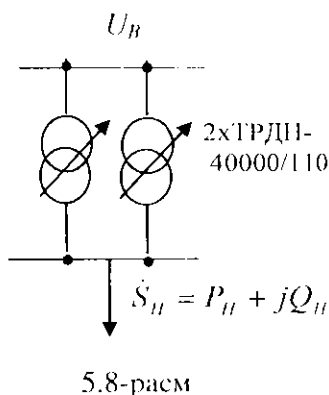
Агар $1/U_{2\text{ном}} \approx 1/U_2$ деб қабул қилсак, бу ифода янада соддалашади:

$$Q_k = \frac{U_{2\text{ном}} - U_2}{x_{12}} \cdot U_{2\text{ном}}. \quad (5.10)$$

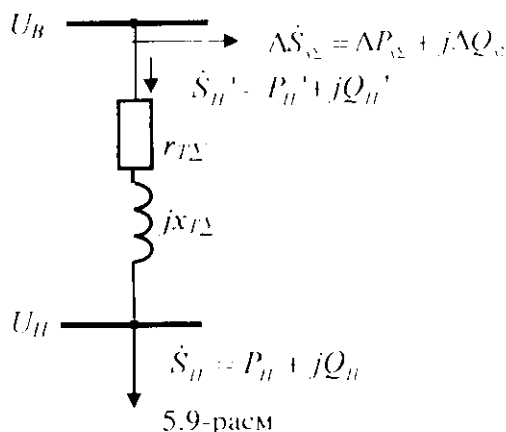
Амалий ҳисоблашларда Q_k (5.10) формула бўйича топилади.

5.6. Масалалар ечиш намуналари

5.1-масала. Кучланишни пасайтирувчи подстанцияда ростлаш диапазони $\pm 9\%$ бўлган ЮОР қурилмасига эга иккита ТРДН-40000/110 типдаги икки чулғамли трансформаторлар ўрнатилган (5.8-расм). Иккита параллел уланган трансформаторларнинг эквивалент қаршиликлари қуйидагича: $r_{T\Sigma} = 0,7 \text{ Ом}$, $x_{T\Sigma} = 17,35 \text{ Ом}$.



5.8-расм



5.9-расм

Максимал, минимал ва юклама максимал бўлганда авариядан кейинги ҳолатларида подстанциянинг юқори кучланиш шинасидаги кучланиш қийматлари қуйидагича: $U_{\text{макс}} = 112,5 \text{ кВ}$, $U_{\text{мин}} = 113,7 \text{ кВ}$, $U_{\text{ав/к}} = 102 \text{ кВ}$. Ушбу ҳолатларда юкламанинг қувватлари қуйидаги миқдорни ташкил этади (5.9-расм):

$$P_{\text{макс}} = P_{\text{ав/к}} = 64,91 \text{ МВт}; \quad Q_{\text{макс}} = Q_{\text{ав/к}} = 28,68 \text{ МВАР};$$

$$P_{\text{мин}} = 22,47 \text{ МВт}; \quad Q_{\text{мин}} = 8,96 \text{ МВАР}.$$

Кучланишнинг қарама-қарши ростлаш шартларига мос равишда қуйи томонда кучланишнинг ростлаш учун зарур бўлган ростловчи шохобчани танили.

Ечили. Трансформаторларга кириш жойидаги қувват оқимларини аниқлаймиз (5.9-расм):

$$P_{\text{макс}}' = P_{\text{макс}}' - P_{\text{макс}} + \Delta P_{I, \text{макс}} = P_{\text{макс}} + \frac{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_{T\Sigma} =$$

$$= 64,91 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 0,7 = 65,2 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{макс}}' = Q_{\text{макс}}' - Q_{\text{макс}} + \Delta Q_{I, \text{макс}} = Q_{\text{макс}} + \frac{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_{T\Sigma} =$$

$$= 28,68 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 17,35 = 35,9 \text{ МВАР};$$

$$P_{\text{мин}}' = P_{\text{мин}}' + \Delta P_{I, \text{мин}} = P_{\text{мин}} + \frac{P_{\text{мин}}^2 + Q_{\text{мин}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_{T\Sigma} =$$

$$= 22,47 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 0,7 = 22,5 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{мин}}' = Q_{\text{мин}}' + \Delta Q_{I, \text{мин}} = Q_{\text{мин}} + \frac{P_{\text{мин}}^2 + Q_{\text{мин}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_{T\Sigma} =$$

$$= 8,96 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 17,35 = 9,8 \text{ МВАР};$$

Максимал юклама ҳолатида қуйи томондаги кучланишнинг юқори томонга келтирилган қийматини аниқлаймиз:

$$U_{\text{к. макс}}' = \sqrt{\left(U_{\text{н. макс}} - \frac{P_I' r_{T\Sigma} + Q_I' x_{T\Sigma}}{U_{\text{н. макс}}} \right)^2 + \left(\frac{P_I' x_{T\Sigma} - Q_I' r_{T\Sigma}}{U_{\text{н. макс}}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(112,5 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{112,5} \right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{112,5} \right)^2} =$$

$$107,01 \text{ кВ}.$$

Қуйи томондаги қучланишнинг хоҳланган қийматини қарама-қарши ростлан шартларига мувофиқ $U_{\kappa \text{ макс}}^{*oxy} = 1,05U_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВ}$ қабул қилиб, уни таъминлаш учун лозим бўлган хоҳланган шохобчани танлаймиз:

$$U_{\text{шох макс}}^{*oxy} = \frac{U_{\kappa \text{ макс}}^{*oxy} \cdot U_{\text{ном}}}{U_{\kappa \text{ макс}}^{oxy}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{10,5} = 107,01 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{шох}}^{*oxy} = \frac{U_{\text{шох макс}}^{*oxy} - U_{\text{ю ном}}}{\Delta U_{\text{рост}}^0} = \frac{107,01 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 3,9;$$

шохобча номери $n = 4$;

$$U_{\text{макс шох ст}}^{*oxy} = U_{\text{ю ном}} + n \cdot 0,0178 \cdot U_{\text{ю ном}} = 115 + 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 106,81 \text{ кВ}.$$

Ушбу шохобча танланганда қуйи томондаги қучланишнинг ҳақиқий қийматини хоҳланган қийматга мос қилишни текшираемиз:

$$U_{\kappa \text{ макс}}^{*oxy} = \frac{U_{\kappa \text{ макс}}^{*oxy} \cdot U_{\kappa \text{ ст}}}{U_{\text{макс шох ст}}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{106,81} = 10,52 \text{ кВ} \approx 10,5 \text{ кВ}.$$

Минимал юклама ҳолати учун ҳам ҳисоблашни шу тарзда амалга ошираемиз:

$$U_{\kappa \text{ мин}}^{*oxy} = \sqrt{\left(U_{\text{ю мин}} - \frac{P_{\text{мин}} \cdot r_{\text{L}} + Q_{\text{мин}} \cdot x_{\text{L}}}{U_{\text{ю мин}}} \right)^2 + \left(\frac{P_{\text{мин}} \cdot x_{\text{L}} - Q_{\text{мин}} \cdot r_{\text{L}}}{U_{\text{ю мин}}} \right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(113,7 - \frac{22,5 \cdot 0,7 + 9,8 \cdot 17,35}{113,7} \right)^2 + \left(\frac{22,5 \cdot 17,35 - 9,8 \cdot 0,7}{113,7} \right)^2} =$$

$$112,12 \text{ кВ}.$$

Қучланишнинг қарама-қарши ростлан шартларига мувофиқ ушбу ҳолат учун қуйи томондаги қучланишнинг хоҳланган қийматини $U_{\kappa \text{ мин}}^{*oxy} = 1,0 \cdot U_{\kappa \text{ ном}} = 10,0 \text{ кВ}$ қабул қиламиз.

У ҳолати,

$$U_{\text{мин.шоч.ст.}} = \frac{U_{\text{к.мин.}} + U_{\text{к.ном.}}}{U_{\text{к.мин.}}} \cdot \frac{112,12 \cdot 10,5}{10} = 117,73 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{шоч.}} = \frac{U_{\text{шоч.мин.}} - U_{\text{к.ном.}}}{\Delta U_{\text{ростл}}} = \frac{117,73 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 1,33; \quad n = 1,$$

$$U_{\text{мин.шоч.ст.}} = U_{\text{к.ном.}} + n \cdot 0,0178 \cdot U_{\text{к.ном.}} = 115 + 1 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 117,05 \text{ кВ}.$$

Текшириш:

$$U_{\text{к.шоч.}} = \frac{U_{\text{к.мин.}} + U_{\text{к.ном.}}}{U_{\text{мин.шоч.ст.}}} \cdot \frac{112,12 \cdot 10,5}{117,05} = 10,06 \text{ кВ} \approx 10 \text{ кВ}.$$

Авариядан кейинги ҳолат учун ҳисоблашларни амалга оширамиз:

$$U_{\text{к.шоч.к.}} = \sqrt{\left(102 \cdot \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{102}\right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{102}\right)^2} = 96,06 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{мин.шоч.к.}} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{10,5} = 96,06 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{шоч.}} = \frac{96,06 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 9,25; \quad n = 9.$$

$$U_{\text{к.шоч.к.шоч.ст.}} = U_{\text{к.ном.}} + n \cdot 0,0178 \cdot U_{\text{к.ном.}} = 115 + 9 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 96,58 \text{ кВ}.$$

Текшириш:

$$U_{\text{к.шоч.к.}} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{96,58} = 10,44 \text{ кВ} \approx 10,5 \text{ кВ}.$$

5.2-масала. Пасайтирувчи подстанцияда иккита ТДТН-40000/110 типдаги уч чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ўрнатиш (5.10-расм). 35 кВ кучланишли томонида кучланишни ростлаш учун трансформаторлар линияга чиқиш жойларида ростлаш диапазони $\pm 2 \times 2,5\%$ бўлган КАУ қурилмалари билан таъминланган. 10 кВ кучланишли қуйи томонида кучланишни ростлаш учун трансформаторларнинг юқори томонида чиқиш жойларида ўрнатишан ростлаш диапазони $\pm 9 \times 1,78\%$ бўлган ЮОР қурилмалари хизмат қилади.

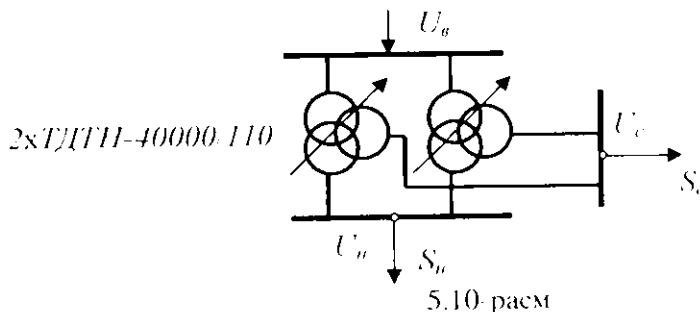
Максимал ва минимал юклама ҳолатларида подстанциянинг ўрта ва қуйи томонларидаги юкламалар қуйидагича:

$$\dot{S}_{c, \max} = 25 + j10 \text{ MVA}; \quad \dot{S}_{n, \max} = 15 + j8 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{c, \min} = 14 + j7 \text{ MVA}; \quad \dot{S}_{n, \min} = 10 + j6 \text{ MVA}$$

110 кВ кучланиш тармоқнинг максимал ва минимал юклама ҳолатларини ҳисоблаш натижасида подстанциянинг юқори томонида қуйидаги кучланишлар аниқланган: $U_{n, \max} = 112 \text{ кВ}$; $U_{n, \min} = 114 \text{ кВ}$.

Подстанциянинг ўрта ва қуйи томонларида кучланишни қарама-қарини ростлаш шартларига мувофиқ ростлаш учун мос ростловчи шохобчаларни таъинлаш.



Ечилиш. Трансформаторнинг каталог параметрлари бўйича эквивалент алмаштириш схемасининг ҳисоб параметрларини топамиз (5.11-расм).

$$\Delta P_{\Sigma} = 0,1 \text{ МВт}, \quad \Delta Q_{\Sigma} = 0,72 \text{ МВАР};$$

$$r_{n\Sigma} = r_{c\Sigma} = r_{n\Delta} = 0,47 \text{ Ом}; \quad x_{n\Sigma} = 17,7 \text{ Ом}; \quad x_{c\Sigma} = 0; \quad x_{n\Delta} = 10,3 \text{ Ом}.$$

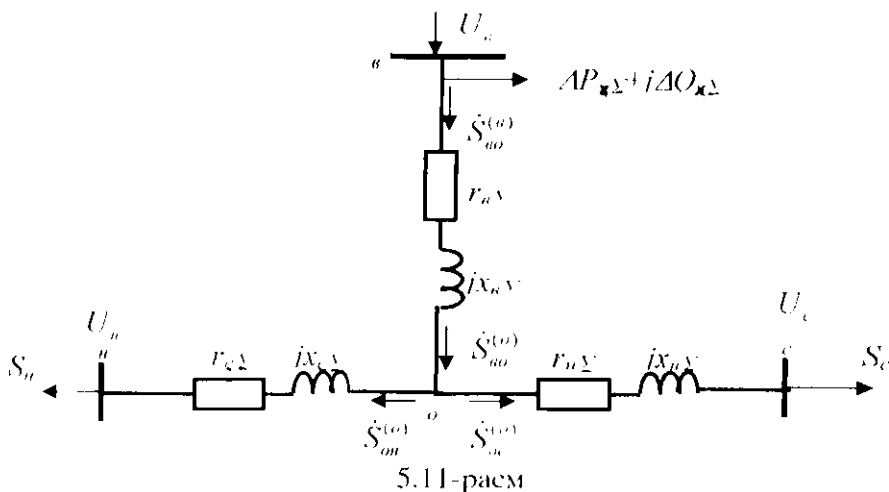
Электр тармоқнинг максимал юклама ҳолатини икки босқичли усул ёрдамида ҳисоблаш асосида ўрта ва қуйи томондаги кучланишларнинг юқори кучланиш даражасига келтирилган қийматларини топамиз.

1-босқич. Ўрта кучланиш чулғамларида қувватлар исрофи:

$$\Delta \dot{S}_{c, \max} = \frac{P_{c, \max}^2 + Q_{c, \max}^2}{U_{n, \min}^2} \cdot (r_{c\Sigma} + jx_{c\Sigma}) = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,47 = 0,028 \text{ МВт}.$$

o-c шохобчанинг бошланишидаги қувватлар оқими:

$$\dot{S}_{nc}^{(o)} = \dot{S}_{c, \max} + \Delta \dot{S}_{c, \max} = 25 + j10 + 0,028 = 25,028 + j10 \text{ МВА}.$$



Куйи кучланиш чулғамларидаги қувватлар исрофи ва o - n шохобчанинг бошланғичидаги қувватлар оқимини ҳам шу тарзда топамиз:

$$\Delta \dot{S}_{n \text{ макс}} = \frac{P_{n \text{ макс}}^2 + Q_{n \text{ макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot (r_{n\Sigma} + jx_{n\Sigma}) = \frac{15^2 + 8^2}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = 0,011 + j0,232 \text{ MVA};$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{on}^{(o)} &= \dot{S}_{on} + \Delta \dot{S}_{n \text{ макс}} = 15 + j8 + 0,011 + j0,232 = \\ &= 15,011 + j8,232 \text{ MVA}. \end{aligned}$$

ω - o шохобчанинг охиридаги қувватлар оқими:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{on}^{(o)} &= \dot{S}_{on}^{(o)} + \dot{S}_{on}^{(o)} = 25,028 + j10 + 15,011 + j8,232 = \\ &= 40,039 + j18,232 \text{ MVA}. \end{aligned}$$

Юқори кучланиш чулғамларидаги қувватлар исрофи:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_{o \text{ макс}} &= \frac{P_{o \text{ макс}}^2 + Q_{o \text{ макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot (r_{o\Sigma} + jx_{o\Sigma}) = \\ &= \frac{40,039^2 + 18,232^2}{110^2} \cdot (0,47 + j17,7) = 0,075 + j2,831 \text{ MVA}. \end{aligned}$$

в-о шохобчанини бошланғичидаги қувватлар оқими:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{ac}^{(v)} &= \dot{S}_{ac}^{(i)} + \Delta \dot{S}_{ac} = 40,039 + j18,232 + 0,075 + j2,831 = \\ &= 40,114 + j21,063 \text{ МВА};\end{aligned}$$

2-босқич. Берилган кучланиш $U_{a, \max}$ ва тошелган қувватлар оқимлари бўйича алоҳида чулғамларда кучланиш перофлари ҳамда ўрта ва қуйи томонларидаги кучланишларнинг юқори кучланиш даражасига келтирилган қийматларини топамиз:

$$\begin{aligned}\Delta U_a = \Delta U_{ao} &= \frac{P_{ac}^{(v)} \cdot r_{a\sum} + Q_{ac}^{(v)} \cdot x_{a\sum}}{U_{a, \max}} = \\ &= \frac{40,114 \cdot 0,47 + 21,063 \cdot 17,7}{112} = 3,5 \text{ кВ};\end{aligned}$$

$$U_{a, \max} - U_{a, \max} = \Delta U_a = 112 - 3,5 = 108,5 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_c = \Delta U_{ac} = \frac{P_{ac}^{(v)} \cdot r_{c\sum} + Q_{ac}^{(v)} \cdot x_{c\sum}}{U_{a, \max}} = \frac{25,028 \cdot 0,47}{108,5} = 0,11 \text{ кВ};$$

$$U_{c, \max} - U_{a, \max} = \Delta U_c = 108,5 - 0,11 = 108,39 \text{ кВ};$$

$$\begin{aligned}\Delta U_n = \Delta U_{on} &= \frac{P_{on}^{(v)} \cdot r_{n\sum} + Q_{on}^{(v)} \cdot x_{n\sum}}{U_{a, \max}} = \\ &= \frac{15,011 \cdot 0,47 + 8,232 \cdot 10,3}{108,5} = 0,85 \text{ кВ};\end{aligned}$$

$$U_{n, \max} - U_{a, \max} = \Delta U_n = 108,5 - 0,85 = 107,65 \text{ кВ};$$

Электр тармоқнинг минимал юклама ҳолатини ҳам шу тарзда ҳисоблаб, ўрта ва қуйи томондаги кучланишларнинг юқори кучланиш даражасига келтирилган қийматларини топамиз:

1-босқич.

$$\Delta \dot{S}_{c, \min} = \frac{P_{c, \min}^2 + Q_{c, \min}^2}{U_{c, \min}^2} \cdot (r_{c\sum} + jx_{c\sum}) = \frac{14^2 + 7^2}{110^2} \cdot 0,47 = 0,01 \text{ МВМ}.$$

$$\dot{S}_{ac}^{(v)} = \dot{S}_{c, \min} + \Delta \dot{S}_{c, \min} = 14 + j7 + 0,01 = 14,01 + j7 \text{ МВА}.$$

$$\Delta \dot{S}_{u, \text{min}} = \frac{P_{u, \text{min}}^{(*)} + Q_{u, \text{min}}^{(*)}}{U_{u, \text{min}}^{(*)}} \cdot (r_{u, \Sigma} + jx_{u, \Sigma}) =$$

$$= \frac{10^2 + 6^2}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = 0,005 + j0,116 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{u, \text{min}}^{(*)} = \dot{S}_{u, \text{min}} + \Delta \dot{S}_{u, \text{min}} = 10 + j6 + 0,005 + j0,116 = 10,005 + j6,116 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{u, \Sigma}^{(*)} = \dot{S}_{u, \Sigma}^{(*)} + \dot{S}_{u, \text{min}}^{(*)} = 14,01 + j7 + 10,005 + j6,116 = 24,015 + j13,116 \text{ MVA};$$

$$\Delta \dot{S}_{u, \Sigma} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(*)} + Q_{u, \Sigma}^{(*)}}{U_{u, \Sigma}^{(*)}} \cdot (r_{u, \Sigma} + jx_{u, \Sigma}) = \frac{24,015^2 + 13,116^2}{110^2} \cdot (0,47 + j17,7) =$$

$$= 0,029 + j1,096 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{u, \Sigma}^{(*)} = \dot{S}_{u, \Sigma}^{(*)} + \Delta \dot{S}_{u, \Sigma} = 24,015 + j13,116 + 0,029 + j1,096 =$$

$$= 24,044 + j13,145 \text{ MVA};$$

2-боққил

$$\Delta U_{u, \Sigma} = \Delta U_{u, \Sigma} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(*)} \cdot r_{u, \Sigma} + Q_{u, \Sigma}^{(*)} \cdot x_{u, \Sigma}}{U_{u, \Sigma}^{(*)}} =$$

$$= \frac{24,044 \cdot 0,47 + 13,145 \cdot 17,7}{114} = 2,14 \text{ кВ};$$

$$U_{u, \Sigma, \text{min}} = U_{u, \text{min}} - \Delta U_{u, \Sigma} = 114 - 2,14 = 111,86 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{u, \Sigma} = \Delta U_{u, \Sigma} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(*)} \cdot r_{u, \Sigma} + Q_{u, \Sigma}^{(*)} \cdot x_{u, \Sigma}}{U_{u, \Sigma, \text{min}}} = \frac{14,01 \cdot 0,47}{111,86} = 0,06 \text{ кВ};$$

$$U_{u, \Sigma, \text{min}}' = U_{u, \Sigma, \text{min}} - \Delta U_{u, \Sigma} = 111,86 - 0,06 = 111,8 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{u, \Sigma} = \Delta U_{u, \Sigma} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(*)} \cdot r_{u, \Sigma} + Q_{u, \Sigma}^{(*)} \cdot x_{u, \Sigma}}{U_{u, \Sigma, \text{min}}'} = \frac{10,005 \cdot 0,47 + 6,116 \cdot 10,3}{111,86} = 0,61 \text{ кВ};$$

$$U_{u, \Sigma, \text{min}}' = U_{u, \Sigma, \text{min}} - \Delta U_{u, \Sigma} = 111,86 - 0,61 = 111,25 \text{ кВ};$$

Максимал юклама ҳолатида қўйи томонда кучланишнинг хоҳланган қиймати $U_{u, \text{max}}^{* \text{choz}} = 1,05 \cdot U_{u, \text{min}} = 10,5 \text{ кВ}$ ни таъминлаш учун ЮОР қуритмасининг мос ростловчи шохобчасини танлаймиз:

$$U_{\text{шох.макс}}^{\text{зох}} = \frac{U_{\text{н.макс}} \cdot U_{\text{шт}}}{U_{\text{н.мин}}^{\text{зох}}} = \frac{107,65 \cdot 10,5}{10,5} = 107,65 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{шох.макс}}^{\text{зох}} = \frac{U_{\text{шох.макс}}^{\text{зох}} - U_{\text{вл}}}{\Delta U_{\text{рост}}^0} = \frac{107,65 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -3,59.$$

$n_{\text{шох.макс}} = -4$ қабул қиламиз.

$$U_{\text{шох.макс.ст}} = U_{\text{вл}} - n_{\text{шох.макс}} \cdot 0,0178 \cdot U_{\text{вл}} = 115 - 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 106,812 \text{ кВ}.$$

Текшириш:

$$U_{\text{н.макс}}^{\text{зох}} = \frac{U_{\text{н.макс}} \cdot U_{\text{шт}}}{U_{\text{шох.макс.ст}}} = \frac{107,65 \cdot 10,5}{106,812} = 10,58 \text{ кВ}.$$

Минимал юклама ҳолатида қўйн томонида қучланишнинг хоҳланган қиймати $U_{\text{н.мин}}^{\text{зох}} = 1,0 \cdot U_{\text{шох}} = 10 \text{ кВ}$ ни таъминлаш учун ЮОР қурилмасининг мос ростловчи шохобчасини ҳам шу тарзда танлаймиз:

$$U_{\text{н.мин}}^{\text{зох}} = 1,0 \cdot U_{\text{шох}} = 10 \text{ кВ}.$$

$$U_{\text{шох.мин}}^{\text{зох}} = \frac{U_{\text{н.мин}} \cdot U_{\text{шт}}}{U_{\text{н.мин}}^{\text{зох}}} = \frac{111,25 \cdot 10,5}{10} = 116,81 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{шох.мин}}^{\text{зох}} = \frac{U_{\text{шох.мин}}^{\text{зох}} - U_{\text{вл}}}{\Delta U_{\text{рост}}^0} = \frac{116,81 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 0,88.$$

$n_{\text{шох.мин}} = 1$ танлаймиз.

$$U_{\text{шох.мин.ст}} = U_{\text{вл}} - n_{\text{шох.мин}} \cdot 0,0178 \cdot U_{\text{вл}} = 115 - 0,0178 \cdot 115 = 117,047 \text{ кВ}.$$

Текшириш:

$$U_{\text{н.мин}}^{\text{зох}} = \frac{U_{\text{н.мин}} \cdot U_{\text{шт}}}{U_{\text{шох.мин.ст}}} = \frac{111,25 \cdot 10,5}{117,047} = 9,98 \text{ кВ}.$$

Максимал ва минимал юклама ҳолатлари учун ҚАУ қурилмасининг ўртача ростловчи шохобчасини танлаймиз:

$$U_{\text{с}}^{\text{зох}} = 1,1 \cdot U_{\text{с.ном}} = 1,1 \cdot 35 = 38,5 \text{ кВ};$$

$$U_{c, max}^{oxy} = \frac{(U_{c, max, max, cm} + U_{c, max, min, cm}) \cdot U_{c, oxy}}{U_{c, max}' + U_{c, min}'}$$

$$\frac{(106,812 + 117,047) \cdot 38,5}{(108,39 + 111,8)} = 39,142 \text{ кВ};$$

$$n_{max} = \frac{U_{c, max}^{oxy} - U_{c, n}}{\Delta U_{рост}} = \frac{39,142 - 38,5}{0,025 \cdot 38,5} = 0,67.$$

$n_{max} = 1$ қабул қиламиз.

$$U_{c, max, cm} = U_{c, n} + n_{max} \cdot 0,025 \cdot U_{c, n} = 38,5 + 0,025 \cdot 38,5 = 39,462 \text{ кВ}.$$

Текшириш:

$$U_{c, max}^{oxy} = \frac{U_{c, max}' \cdot U_{c, max, cm}}{U_{c, min}} = \frac{108,39 \cdot 39,462}{106,812} = 40,04 \text{ кВ}.$$

$$U_{c, min}^{oxy} = \frac{U_{c, min}' \cdot U_{c, max, cm}}{U_{c, max, min, cm}} = \frac{111,8 \cdot 39,462}{117,047} = 37,69 \text{ кВ}.$$

5.3-масала. Пасайтирувчи подстанцияда иккита АТДЦТН 125000/220/110 типдаги автотрансформаторлар жойлашган. Ўрта томонда кучланишни ростлаш учун ҳар бир автотрансформатордан чиқини жойларида ростлаш диапазони $\pm 6 \times 2\%$ бўлган ЮОР қурилмаси ўрнатилган. Қуйи томонда кучланишни ростлаш учун қуйи чулғамларига кетма-кет тарзда ростлаш диапазони $\pm 10 \times 1,5\%$ бўлган линия ростлагич трансформаторлари уланган. Электр тармоқнинг максимал, минимал ва 220 кВ кучланишли тармоқда юз берган авариядан кейинги ҳолатларини ҳисоблаш натижасида ўрта ва қуйи томонидан кучланишларнинг юқори томонга келтирилган қийматлари қуйидагиларга тенг: $U_{c, max}' = 225,4 \text{ кВ}$; $U_{c, max}' = 220,7 \text{ кВ}$; $U_{c, min}' = 221,5 \text{ кВ}$; $U_{c, min}' = 219,3 \text{ кВ}$; $U_{c, av/k}' = 200,7 \text{ кВ}$; $U_{c, av/k}' = 195,8 \text{ кВ}$.

Подстанциянинг ўрта ва қуйи томонларида кучланишни ростлаш учун трансформаторларнинг ростловчи шохобчаларини таъинлаш.

Ғыш. Максималь юклама ҳолатида ўрта томондаги кучланишнинг ҳоҳланган қийматини $U_{\chi \text{ макс}}^{\text{воу}} = 1,1 \cdot U_{\text{ном}} = 121 \text{ кВ}$ қабул қилиб, ЮОРнинг мос ростловчи шохобчасини аниқлаймиз:

$$U_{\chi \text{ шох макс}}^{\text{воу}} = \frac{U_{\text{воу}} U_{\chi \text{ макс}}^{\text{воу}}}{U_{\chi \text{ макс}}} = \frac{230 \cdot 121}{225,4} = 123,46 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{шох макс}}^{\text{воу}} = \frac{U_{\chi \text{ шох макс}}^{\text{воу}} - U_{\chi \text{ ном}}}{\Delta U_{\text{ростл}}} = \frac{123,46 - 121}{0,02 \cdot 121} = 1,02.$$

$n_{\text{шох макс}} = 1$ қабул қиламиз.

Демак, стандарт шохобча кучланиши

$$U_{\chi \text{ шох ст}} = U_{\chi \text{ ном}} + n_{\text{шох макс}} \cdot 0,02 \cdot U_{\chi \text{ ном}} = 121 + 0,02 \cdot 121 = 123,42 \text{ кВ}$$

Ўрта томондаги кучланишнинг ҳақиқий қийматини текширамыз:

$$U_{\chi \text{ макс}}^{\text{воу}} = \frac{U_{\chi \text{ макс}} \cdot U_{\chi \text{ шох ст}}}{U_{\chi \text{ ном}}} = \frac{225,4 \cdot 123,42}{230} = 120,95 \text{ кВ}.$$

Пайдо бўлган қиймат ҳоҳланган қийматга руҳсат этилган даражада жуда яқин.

Максималь юклама ҳолатида қуйи томонда кучланишнинг қарама-қарши ростлов шартидан келиб чиқиб, $U_{\chi \text{ макс}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВ}$ кучланиш тутиб турилиши шарт. Бундай кучланишнинг тутиб туриш учун лозим бўлган қўшимча элюкнинг қийматини қуйидаги шартдан топамиз:

$$U_{\chi \text{ макс}}^{\text{воу}} = 10,5 = \frac{U_{\chi \text{ макс}} \cdot U_{\chi \text{ ном}}}{U_{\text{ном}}} + \Delta e_{\text{макс}}^{\text{воу}}.$$

Демак,

$$\Delta e_{\text{макс}}^{\text{воу}} = \frac{230 \cdot 10,5 - 220,7 \cdot 11}{220,7} = 0,06 \text{ кВ}.$$

Бунга мос равишда

$$n_{\text{макс}}^{\text{воу}} = \frac{0,06}{0,015 \cdot 11} = -0,36$$

бўлганини учун $n_{\text{макс}} = 0$ танлаймиз.

Текшириш:

$$U_{\kappa_{\text{max}}}^{xy} = \frac{U_{\kappa_{\text{max}}} \cdot (U_{\kappa_{\text{от}}} + 0,015 \cdot n_{\text{max}} \cdot U_{\kappa_{\text{от}}})}{U_{\kappa_{\text{от}}}} = \frac{220,7 \cdot 11}{230}$$

$$= 10,55 \text{ кВ} \approx 10,5 \text{ кВ}.$$

Шу каби ҳисобланларни минимал юклама ва авариядан кейинги ҳолатлар учун ҳам амалга ошираемиз.

Ўрта томонда кучланишни ростлаш:

$$U_{\text{орта}}^{xy} = 115 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{орта, макс}}^{xy} = \frac{115 \cdot 230}{221,5} = 119,41 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{орта, мин}}^{xy} = \frac{119,41 - 121}{0,02 \cdot 121} = -0,65; \quad n_{\text{орта, макс}}^{xy} = -1;$$

$$U_{\kappa_{\text{орта, мин}}}^{xy} = 121 - 0,02 \cdot 121 = 118,58 \text{ кВ};$$

$$U_{\kappa_{\text{орта}}}^{xy} = \frac{221,5 \cdot 118,58}{230} = 114,2 \text{ кВ} \approx 115 \text{ кВ}.$$

Қуйи томонда кучланишни ростлаш:

$$U_{\kappa_{\text{уйи}}}^{xy} = 1,0 U_{\text{орта}} = 10 \text{ кВ},$$

$$\Delta U_{\kappa_{\text{уйи}}}^{xy} = \frac{U_{\text{орта}} U_{\kappa_{\text{уйи}}}^{xy} - U_{\kappa_{\text{уйи}}} \cdot U_{\kappa_{\text{от}}}}{U_{\kappa_{\text{уйи}}}} = \frac{230 \cdot 10 - 219,3 \cdot 11}{219,3} = -0,51 \text{ кВ};$$

$$n_{\text{уйи}}^{xy} = \frac{0,51}{0,015 \cdot 11} = -3,1; \quad n_{\text{уйи}}^{xy} = -3.$$

$$U_{\kappa_{\text{уйи}}}^{xy} = \frac{219,3 \cdot (11 - 3 \cdot 0,015 \cdot 11)}{230} = 10,02 \text{ кВ} \approx 10 \text{ кВ}.$$

220 кВ кучланишли тармоқда юз берган авариядан кейинги ҳолатда 110 кВ кучланишли тармоқнинг ҳолатини ўзгартирмастикка ҳаракат қиламиз, ва шу сабабли ўрта томондаги хоҳлашган кучланишни $U_{\kappa_{\text{орта, к}}}^{xy} = 1,1 U_{\text{орта}} = 121 \text{ кВ}$ қабул қиламиз.

Бунда

$$U_{\text{орта, к}}^{xy} = \frac{121 \cdot 230}{200,7} = 138,66 \text{ кВ}; \quad n_{\text{орта, к}}^{xy} = \frac{138,66 - 121}{0,02 \cdot 121} = 7,3$$

бўланлиги учун $n=6$ танлаймиз.

Демак,

$$U_{\text{сум}, \text{см}} = 121 + 6 \cdot 0,02 \cdot 121 = 135,52 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{сум}, \text{к}} = \frac{200,7 \cdot 135,52}{230} = 118,25 \text{ кВ.}$$

$$\text{Куйи томонида } U_{\text{н}}^{\text{ном}} = 1,05 U_{\text{сум}} = 10,5 \text{ кВ.}$$

$$\Delta e_{\text{ин}, \text{к}}^{\text{ном}} = \frac{230 \cdot 10,5 - 195,8 \cdot 11}{195,8} = 1,33 \text{ кВ;}$$

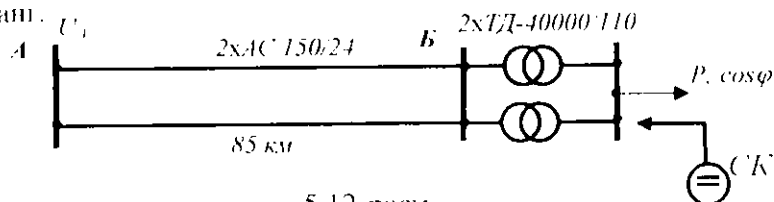
$$n_{\text{ин}, \text{к}}^{\text{ном}} = \frac{1,33}{0,015 \cdot 11} = 8,06; \quad n_{\text{ин}, \text{к}} = 8.$$

Текшириш:

$$U_{\text{сум}, \text{к}}^{\text{ном}} = \frac{195,8 \cdot (11 + 8 \cdot 0,015 \cdot 11)}{230} = 10,49 \text{ кВ} \approx 10,5 \text{ кВ.}$$

5.4-масала. Пасайтирувчи *Б* подстанция темир-бетон таянчларда жойлашган *АС* 150/24 маркали ўтказгичдан тайёрланган 110 кВ қуёлиниши 85 км узунликдаги иккита параллел линиялар орқали таъминланади (5.12-расм). *Б* подстанцияда *ПБВ-110 ± 2 × 2,5%* қурилмасига бўлган иккита ТД-40000/110 типдаги икки қулғали трансформаторлар жойлашган. *А* подстанциясининг таъминловчи шинасидаги максимал ва минимал юклама ҳолатларидаги қуёлинишлар: $U_{\text{Амакс}} = 117 \text{ кВ}$; $U_{\text{Амин}} = 115 \text{ кВ}$. Актив қувват коэффиценти $\cos \varphi = 0,85$ бўлиб, максимал ва минимал юкламалар $P_{\text{макс}} = 45 \text{ МВт}$, $P_{\text{мин}} = 22 \text{ МВт}$. Ҳолат ўзгарганда электр узатманинг схемаси ўзгармайди.

Подстанцияда қуёлинишни қарама-қарши ростлашни таъминловчи синхрон компенсаторнинг минимал қувватини аниқлаш.



Ечиш. Электр тармоқнинг алмаштириш схемасини қурамиз (5.13-расм) ва унинг параметрларини топамиз.

Линия АВ — ўтказкич АС150/24, $r_0=0,198$ Ом/км, $x_0=0,42$ Ом/км, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6}$ СМ/км;

$$r_{AB} = \frac{0,198 \cdot 85}{2} = 8,42 \text{ Ом},$$

$$x_{AB} = \frac{0,42 \cdot 85}{2} = 17,85 \text{ Ом},$$

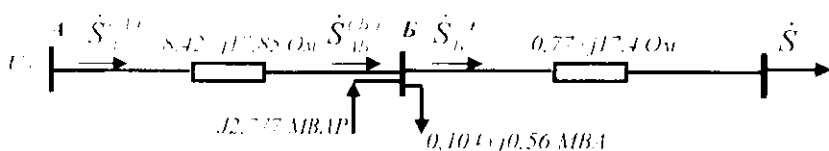
$$B_{AB} = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 85 = 4,59 \cdot 10^{-4} \text{ СМ},$$

$$\frac{Q_{AB}}{2} = 110^2 \cdot \frac{4,59 \cdot 10^{-4}}{2} = 2,777 \text{ Мвар}.$$

В подстанциянинг трансформаторлари — трансформаторнинг каталог маълумотлари бўйича подстанциядаги иккита трансформаторнинг эквивалент азмаштириш схемаси параметрларини ҳисоблаймиз:

$$\Delta \dot{S}_\tau = \Delta P_\tau + j \Delta Q_\tau = 0,104 + j0,56 \text{ МВА},$$

$$r_\tau = 0,77 \text{ Ом}, \quad x_\tau = 17,4 \text{ Ом}.$$



5.13-расм

Электр тармоқнинг максимал ва минимал юклама ҳолатларини ҳисоблаш асосида подстанциянинг қуйи томонидаги қулавишларнинг юқори томонига келтирилган қийматлари — $U_{н,макс}$, $U_{н,мин}$ — ларини топиамиз.

Максимал юклама ҳолати:

$$\begin{aligned} \dot{S}_B' &= \dot{S}_{мин} + \Delta \dot{S}_\tau = 45 + j45 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,85^2}}{0,85} + \\ &+ \frac{45^2}{110^2 \cdot 0,85} \cdot (0,77 + j17,4) = 45,178 + j31,918 \text{ МВА}, \\ \dot{S}_{AB}' &= 45,178 + j31,918 + 0,104 + j0,56 = j2,777 = \\ &= 45,282 + j29,701 \text{ МВА}, \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{U_0}^{(A)} = 45,282 + j29,701 + \frac{45,282^2 + 29,701^2}{110^2} \cdot (8,42 + j17,85) =$$

$$= 47,322 + j34,027 \text{ MVA.}$$

$$U_b = 117 - \frac{47,322 \cdot 8,42 + 34,027 \cdot 17,85}{117} = 108,4 \text{ кВ.}$$

$$U_{\text{к.мин}}' = 108,4 - \frac{45,178 \cdot 0,77 + 31,918 \cdot 17,4}{108,4} = 102,96 \text{ кВ.}$$

Минимал юклама ҳолати:

$$\dot{S}_{L_1}' = \dot{S}_{\text{мин}} + \Delta \dot{S}_{L_1} = 22 + j22 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,85^2}{0,85^2}} +$$

$$+ \frac{22^2}{110^2 \cdot 0,85^2} \cdot (0,77 + j17,4) = 22,043 + j14,597 \text{ MVA.}$$

$$\dot{S}_{U_0}^{(b)} = 22,043 + j14,597 + 0,104 + j0,56 - j2,777 + 22,147 + j12,38 \text{ MVA.}$$

$$\dot{S}_{U_0}^{(A)} = 22,147 + j12,38 + \frac{22,147^2 + 12,38^2}{110^2} \cdot (8,42 + j17,85) =$$

$$= 22,595 + j13,33 \text{ MVA.}$$

$$U_E = 115 - \frac{22,595 \cdot 8,42 + 13,33 \cdot 17,85}{115} = 111,05 \text{ кВ.}$$

$$U_{\text{к.мин}}' = 111,05 - \frac{22,043 \cdot 0,77 + 14,597 \cdot 17,4}{111,05} = 108,57 \text{ кВ.}$$

Кучланишни берилган ораликда ростлаб туриш мақсадида трансформаторнинг синхрон компенсаторни ишлаш шартлари бўйича оптимал трансформациялаш коэффициентини аниқлаш учун қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

$$U_{\text{шох}} = \frac{(U_{\text{к. макс.}}' + U_{\text{к. мин.}}') \cdot U_{\text{ли}}}{(U_{\text{к. макс. шох}} + U_{\text{к. мин. шох}})} = \frac{(102,96 + 106,57) \cdot 10,5}{(10,5 + 10)} = 107,32 \text{ кВ,}$$

$$n = \frac{107,32 - 121}{0,025 \cdot 121} = -4,52.$$

$n_{\text{см}} = -2$ ва унга мос келувчи стандарт шохобча $U_{\text{шох см}} = 121 - 2 \cdot 0,025 \cdot 121 = 114,95 \text{ кВ}$ ни танлаймиз. Бунда қуйи кучланиш шинасидаги кучланишлар қуйидагича бўлади:

максимал юклама ҳолатида

$$U_{\kappa, \max, \text{снх}} = \frac{102,96 \cdot 10,5}{114,95} = 9,4 \text{ кВ};$$

минимал юклама ҳолатида

$$U_{\kappa, \min, \text{снх}} = \frac{108,57 \cdot 10,5}{114,95} = 9,92 \text{ кВ}.$$

Синхрон компенсатор ёрдамида ростланиши лозим бўлган қувватини оғиллини аниқлаймиз:

максимал юклама ҳолатида

$$\Delta U_{\kappa, \max} = 10,5 - 9,4 = 1,1 \text{ кВ};$$

минимал юклама ҳолатида

$$\Delta U_{\kappa, \min} = 10 - 9,92 = 0,08 \text{ кВ}.$$

Максимал юклама ҳолатида синхрон компенсаторнинг лозим бўлган қувватини қуйидаги шартдан фойдаланиб топамиз:

$$\frac{U_{\text{нов.снх}}}{U_{\kappa}} \cdot \Delta U_{\kappa, \max} = \frac{Q_{\kappa, \max}}{U_{\kappa, \max, \text{снх}}} \cdot (x_{\Delta B} + x_I)$$

$$Q_{\kappa, \max} = \frac{1,1 \cdot 10,5}{35,25} \left(\frac{114,95}{10,5} \right)^2 = 39,27 \text{ Мвар}.$$

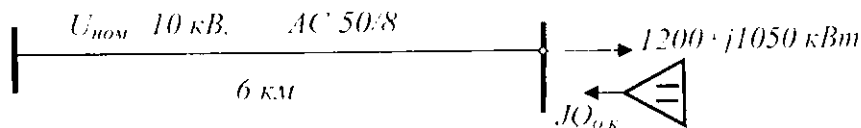
Минимал юклама ҳолати учун ҳам синхрон компенсаторнинг лозим бўлган қувватини шу каби ҳисоблаймиз:

$$Q_{\kappa, \min} = \frac{0,08 \cdot 10}{35,25} \left(\frac{114,95}{10,5} \right)^2 = 2,72 \text{ Мвар}.$$

Максимал юклама ҳолати бўйича КС 50000-1 типдаги синхрон компенсатор танлаймиз.

5.5-масала. Бош пасайтирувчи подстанциядан 5 км масофада жойлашган подстанция ЛС 50/8 маркали ўтказкичдан тайёрланган ёқоч таянчлардаги ҳаво линияси орқали таъминланади. Ўтказкичлар томон 1750 мм бўлган тенг томонли учбурчакнинг учларида жойлашган. Линиядан узатилувчи қувват $1200 + j1050 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ (5.14-расм).

Линияда қувлатиш исрофини 5% гача камайтириш учун юкламага параллел ҳолда ураниши лозим бўлган конденсаторлар батареясининг қувватини топиш.



5.14-расм

Ечиш. Қўлланма жадвалдан АС 50/8 маркали ўтказгичдан тайёрланиб, фаза ўтказгичлари орасидаги ўргача геометрик масофа $D_{\text{вр}} = 1750$ мм бўлган 10 кВ кучланишли линиянинг солиштира қаршилиқларини аниқлаймиз:

$$r_0 = 0,603 \text{ Ом/км}, x_0 = 0,388 \text{ Ом/км}.$$

1. Линияда кучланиш исрофининг конденсаторлар батареясини ўрнатишдан олдинги қиймати:

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U_{\text{ном}}} = \frac{1200 \cdot 0,603 \cdot 5 + 1050 \cdot 0,388 \cdot 5}{10} = 565,5 \text{ В} > \Delta U_{\text{рв}} = 500 \text{ В},$$

2. Конденсаторлар батареясини ўрнатиш натижасида линиядаги кучланиш исрофи $U_{\text{рв}} = 500$ В ни ташкил этиши лозим. Демак,

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + (Q - Q_{0,к})x_0}{U} = \Delta U_{\text{рв}},$$

Бу муносабатдан конденсаторлар батареясининг қувватини топамиз:

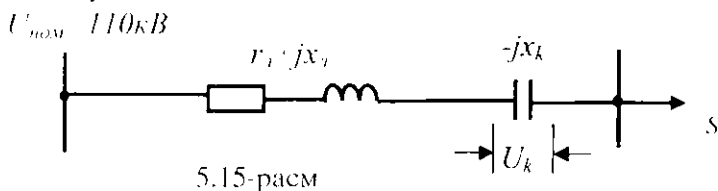
$$Q_{0,к} = \frac{U(\Delta U - \Delta U_{\text{рв}})}{x_0} = \frac{(565,5 - 500) \cdot 10}{5 \cdot 0,388} = 337,6 \text{ кВАР}.$$

Номинал қуввати 400 кВАР бўлган конденсаторлар батареясини танлаймиз.

5.6-масала. Пасайтирувчи подстанция таъминлаш маркази билан узунлиги 20 км бўлган 35 кВ кучланишли АС 95/15 маркали ўтказгичдан тайёрланган бир занжирли линия орқали боғланган. Подстанциянинг ҳисобий максимал юкмаси $S_2 = 12 + 6$ МВА. Истеъмолчиларнинг ишлаш шартлари бўйича бу юкмада линиядаги кучланиш исрофи 7% дан ортиқ бўлмаслиги шарт. Кучланиш исрофини камайтириш учун линиянинг ҳар бир фазасига кетма-кет тарзда 40 квар қувватли 0,66 кВ кучланишли бир фазали стандарт конденсаторлардан (КС2А-0,66-40) иборат

булган конденсаторлар батареясини улаш кўзда тутилган (5.15-расм).

Конденсаторлар батареясида талаб этилган конденсаторлар сон, батареянинг номинал кучланиши ва ўрнатилган куввати аниқланг.



Ечиш. Кўрилатган ҳаво линияси алмаштириш схемасининг солиштирма ва ҳисоб параметрларини аниқлаймиз:

$$r_0 = 0,314 \text{ Ом/км}; \quad r_l = r_0 l = 0,314 * 20 = 6,28 \text{ Ом};$$

$$x_0 = 0,42 \text{ Ом/км}; \quad x_l = x_0 l = 0,42 * 20 = 8,4 \text{ Ом}.$$

Конденсаторларсиз линиядаги кучланиш исрофини топамиз:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_l + Q \cdot x_l}{U_{ном}} = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot 8,4}{35} = \frac{125,76}{35} = 3,6 \text{ кВ}.$$

Масаланинг шарт бўйича рұхсат этилган кучланиш исрофи:

$$\Delta U_{пр} = \frac{7}{100} \cdot 35 = 2,35 \text{ кВ}.$$

Линияда кучланиш исрофини 2,35 кВ гача қамайтирувчи конденсаторларнинг қаршиланиш куйидаги тенгламадан топамиз:

$$2,35 = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - x_k)}{35},$$

$$x_k = 7,22 \text{ Ом}.$$

Берилган ҳисобий юкламада линия токи:

$$I_l = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} U_{ном}} = \frac{\sqrt{12^2 + 6^2}}{\sqrt{3} \cdot 35} \cdot 10^3 = 221 \text{ А}.$$

КС2А-0,66-40 типдаги конденсаторнинг номинал токи

$$I_{к ном} = \frac{S_{к ном}}{U_{к ном}} = \frac{40000}{660} = 60,6 \text{ А},$$

Бундан ҳар бир фазада параллел ҳолда уланувчи конденсаторли шохобчаларнинг сони $m=221/60,6=3,6$ дан катта бўлиши лозимлиги келиб чиқади.

Демак, уларнинг сонини 4 та қабул қиламиз.

КС2А-0,66-40 типдаги конденсаторнинг қаршилiligини аниқлаймиз:

$$x_{k,ном} = \frac{U_{k,ном}}{I_{k,ном}} = \frac{660}{60,6} = 10,9 \text{ Ом.}$$

Ҳар бир конденсаторли шохобчада кетма-кет уланувчи конденсаторлар сони n ни шохобчалар сони ва битта конденсаторнинг қаршилiligи бўйича тоғамиз:

$$\frac{10,9n}{4} = 7,22. \quad \text{демак} \quad n = \frac{4 \cdot 7,22}{10,9} = 2,6.$$

$n=3$ та этиб танлаймиз.

Шундай қилиб, линиянинг учта фазасидан конденсаторларнинг умумий сони

$$n_2 = 3 \cdot 4 \cdot 3 = 36 \text{ та};$$

конденсаторлар батареясининг ўрнатилган қуввати

$$Q_{б.к.ном} = 36 \cdot 40 \cdot 10^3 = 1,44 \text{ МВАР};$$

конденсаторлар батареясининг номинал кучланиши

$$U_{б.к.ном} = 0,66 \cdot 3 = 1,98 \text{ кВ};$$

конденсаторлар батареясининг номинал токи

$$I_{б.к.ном} = 60,6 \cdot 4 = 242,4 \text{ А.}$$

Конденсаторлар батареясининг умумий қаршилiligи:

$$x_k = (10,9 \cdot 3) / 4 = 8,175 \text{ Ом.}$$

Бунда линиядаги кучланиш исрофи

$$\Delta U = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - 8,175)}{35} = 2,19 \text{ кВ,}$$

бўлиб, у максимал руҳсат этилган қийматдан кичикдир.

5.7. Мустақил ечиш учун масалалар

1. Кучланишни пасайтирувчи подстанцияда ростлаш диапазони $\pm 8\%$ бўлган ЮОР қурилмасига эга иккита ТРДЦН-63000/220 типдаги икки чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ишлайди. Электр тармоқнинг максимал ва минимал юкломали ҳолатларини ҳисоблаб натижасида подстанциянинг

юқори шинасидаги кучланишнинг аниқланган қийматлари мос ҳолда $U_{\max}=222$ кВ ва $U_{\min}=223$ кВ. Ушбу ҳолатлар учун подстанциянинг юкламаси $S_{\max}=70+j30$ МВА ва $S_{\min}=30+j10$ МВА.

Подстанциянинг қуйи томонидаги кучланишни қарама-қарши ростлаш шартларига мувофиқ ростлаш учун мос ростловчи шохобчаларни аниқланг.

2. Кучланишни пасайтирувчи подстанцияда иккита ТДГН-63000/110 типдаги уч чулғамли трансформаторлар параллел ишлайди. Подстанциянинг ўрта томонида кучланишни ростлаш учун трансформаторлар ушбу томонга чиқиш жойларида ростлаш диапазони $\pm 2 \times 2,5\%$ бўлган ҚАУ қурилмаси билан жиҳозланган. Қуйи томонида кучланишни ростлаш учун трансформаторларнинг юқори чулғамидан чиқиш жойларига ўрнатилиб, ростлаш диапазони $\pm 9 \times 1,78\%$ бўлган ЮОР қурилмаси хизмат қилади. Чулғамларнинг номинал қувватлари нисбати: $100\%/100\%/100\%$.

Ўрта ва қуйи кучланиш томонларидаги юкламалар қуйидагича:

$$\dot{S}_{\lambda, \max} = 45 + j22 \text{ МВА}; \quad \dot{S}_{\lambda, \min} = 40 + j18 \text{ МВА};$$

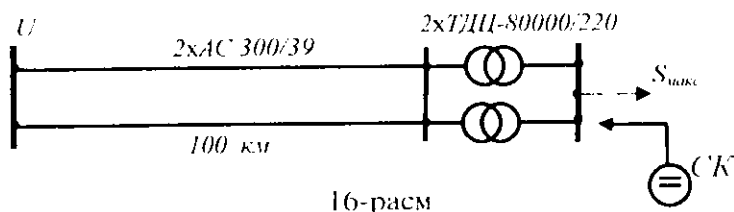
$$\dot{S}_{\lambda, \min} = 22 + j10 \text{ МВА}; \quad \dot{S}_{\lambda, \max} = 19 + j9 \text{ МВА}$$

220 кВ кучланишли тармоқнинг максимал ва минимал ҳолатларини ҳисоблаш натижасида подстанциянинг юқори шинасида аниқланган кучланишлар $U_{\lambda, \max} = 224$ кВ ва $U_{\lambda, \min} = 226$ кВ.

Подстанциянинг ўрта ва қуйи томонларида кучланишни ростлаш.

3. Кучланишни пасайтирувчи подстанция АС300/39 маркали ўтказгичдан тайёрланган 220 кВ кучланишли 100 км узунликдаги икки занжирли линия орқали таъминланади (5.16-расм). Подстанцияда иккита ТДЦ-80000/220 типдаги икки чулғамли трансформаторлар параллел ишлайди. Улар ростлаш диапазони $\pm 2 \times 2,5\%$ бўлган ҚАУ қурилмасиги эга. Линия бошланишидаги таъминловчи подстанция шинасидаги кучланишлар максимал ва минимал юклама ҳолатларида $U_{\max}=222$ кВ ва $U_{\min}=224$ кВ. Подстанциядаги максимал ва минимал юкламалар қуйидагича: $S_{\max}=90+j40$ МВА ва $S_{\min}=50+j20$ МВА.

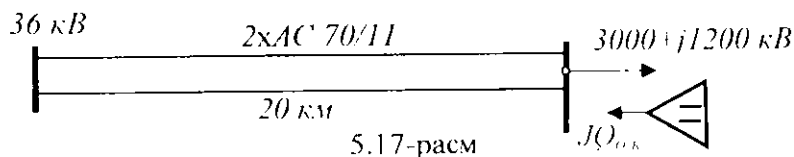
Подстанциянинг қуйи томонида кучланишни қарама-қарши ростлашни таъминловчи синхрон компенсаторнинг минимал қувватини аниқланг.



16-расм

4. Кучланишни пасайтирувчи асосий подстанциядан 40 км масофада жойланган подстанция АС70/11 маркали ўтказгичдан тайёрланган 35 кВ кучланишли икки занжирли ҳаво линияси орқали таъминланади. Линия орқали истеъмолчига узатиловчи қувват $3200 + j1700$ кВ·А (5.17-расм).

Агар таъминлаш пунктидаги кучланиш 36 кВ бўлса, у ҳолда истеъмолчи пунктида 35 кВ кучланишни таъминлаш учун юкламага параллел тарзда уланиши лозим бўлган конденсатор батареясининг қувватини аниқланг.



5.17-расм

5. Кучланишни пасайтирувчи асосий подстанциядан 10 км масофада жойланган подстанция АС50/8 маркали ўтказгичдан тайёрланган 6 кВ кучланишли ҳаво линияси орқали таъминланади. Линия орқали истеъмолчига узатиловчи қувват $500 + j200$ кВ·А.

Электр тармоқда кучланиш исрофини 5% гача камайтириш учун истеъмолчига параллел тарзда уланиши лозим бўлган конденсатор батареясининг қувватини аниқланг.

6. Кучланишни пасайтирувчи подстанция таъминлаш марказидан АС70/11 маркали ўтказгичдан тайёрланган 15 км узунликдаги линия орқали таъминланади. Линияда кучланиш исрофи 5% дан ошмаслигини таъминлаш учун тармоққа кетма-кет тарзда номинал қуввати 40 кВАР бўлган 0,66 кВ номинал кучланишли КС2А-0,66-40 типдаги конденсаторлардан йиғилган конденсатор батареясини улаш назарда тутилган.

Конденсатор батареясидаги конденсаторлар сон, батареянинг умумий қуввати ва ундаги қучланиш иерофини аниқланг.

7. Қучланишни пасайтирувчи подстанция таъминлаш маркази билан АС185/29 маркали ўтказгичдан тайёрланган 15 км узунликдаги 35 кВ қучланишда ҳаво линияси орқали туташган. Подстанциянинг макенмал ҳисобий юкламаси 15+j7 МВА ни ташкил этади. Юкламанинг ишлаш шартларидан келиб чиққан ҳолда ушбу линияда қучланишнинг иерофи 5% дан ошмаслиги лозим. Қучланиш иерофи юқоридаги руҳсат этилган қийматдан ошган тақдирда ҳар бир фазага кетма-кет тарзда қуввати 40 кВАР, номинал қучланиши 0,66 кВ бўлган КС2А-0,66-40 типдаги бир фазали трансформаторларни улаш назарда тутилган.

Конденсатор батареясининг конденсаторлари сон, батареянинг номинал қучланиши ва қувватини аниқланг.

6. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

6.1 Электр тармоқларида энергия исрофларини юклама графиги ва макенмал иерофлар вақти бўйича ҳисоблаш

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

$$\Delta W = \Delta P t. \quad (6.1)$$

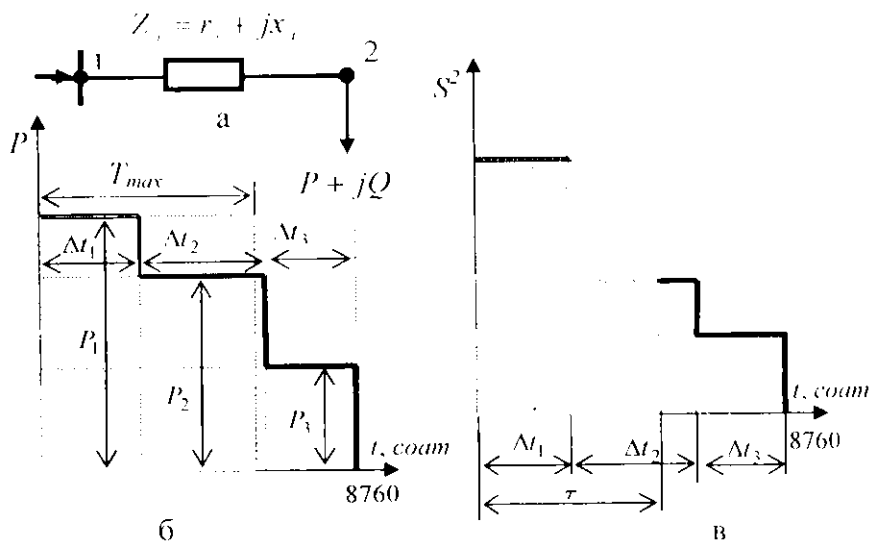
Юкламаси йил давомида ўзгариб турувчи электр тармоғида йиллик энергия иерофини турли усуллар ёрдамида ҳисоблаш мумкин. Мавжуд барча усулларни уларда фойдаланилувчи математик моделга боғлиқ равишда иккита катта гуруҳга бўлиш мумкин. Булар - аниқ ва ахтимолий-статистик усуллардир.

Электр энергия иерофини ҳисоблашнинг энг аниқ усули бу шохобчаларнинг юклама графиклари бўйича ҳисоблашга асосланган. Бунда ҳисоблаш юклама графигининг ҳар бир нуқтаси учун қувват иерофларини аниқлаш ва уларнинг йиғиндисини топишни кўзда тутлади. Бу усул баъзан график интегралациялаш усули деб ҳам юритилади.

Юклама графиклари суткалик ва йиллик бўлиши мумкин.

Суткалик графиклар юклама қувватларини сутка давомида, йиллик графиклар эса йил давомида ўзгаришини ифода тайди. Йиллик график баҳорги-ёзги ва кузги-кишкки 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 оординатаси максимал юкламага тенг қилиб қабул қилинади. Суткалик графиклар бўйича турли типдаги суткалар сонини ҳисобга олиб (шанба, якшанба, душанба, иш куни) юкламанинг ҳар бир қиймати учун бир йил давомидаги соатлар сонни аниқланади. Аввало, юклама максимал бўлган вақт давомийлиги, сўنгра юклама қувватининг бошқа қийматлари учун (камайиб бориш тартибида) вақт давомийликлари аниқланади.

$$\Delta P_i = \frac{S_{i-1}^2}{U_{i-1}^2} r_i, \quad (6.2)$$



6.1-расм. Электр энергия исрофини юклама графити ва максимал исрофлар вақти бўйича аниқлаш

а) ЭУЛнинг схемаси; б) уч поғонали юклама графиклари; в) уч поғонали S^2 графити

Йилдик юклама графиги бўйича йиллик энергия исрофини аниқлаш мумкин. Бунинг учун ҳар бир ҳолат учун қувват ва энергия исрофлари аниқланиб, улар қўшилади. Мисол тариқасида схемаси 6.1,а-расмда келтирилган электр тармоқининг уч поғонали юклама графигини (6.1,б-расм) оламиз. Юклама P_1 бўлган ҳолатда ЭУЛдаги қувват исрофи қуйидагича ҳисобланади:

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 \Delta t_1. \quad (6.3)$$

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

$$\Delta P_2 = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_2, \quad (6.4)$$

$$\Delta W_2 = \Delta P_2 \Delta t_2; \quad (6.5)$$

юклама P_3 бўлган ҳолат учун

$$\Delta P_3 = \frac{S_3^2}{U_3^2} r_3, \quad (6.6)$$

$$\Delta W_3 = \Delta P_3 \Delta t_3. \quad (6.7)$$

Юқориданлардан келиб чиқиб, N та поғонага эга бўлган кўп поғонали юклама графигининг i -поғонаси учун қувват ва энергия исрофлари қуйидаги формулалар бўйича аниқланади:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} r_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (6.8)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i. \quad (6.9)$$

Бу ерда Δt_i -юклама графигининг i -поғонаси давомийлиги.

Δt_i вақт давомида икки чулғамли трансформатордаги қувват ва энергия исрофлари қуйидагича ҳисобланади:

$$\Delta P_i = \Delta P_k \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_c; \quad (6.10)$$

$$\Delta W_i = \left[\Delta P_k \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_i \right] \Delta t_i. \quad (6.11)$$

Бу ерда $\Delta P_k, \Delta P_i$ - мос равнишда трансформаторнинг қисқа туташув ҳолатида чулғамларида (мисиди) ва салт ишлан ҳолатида ўзатида (пўлатида) исроф бўлувчи актив қувватлар; S_{2i} - трансформаторнинг иккиламчи томонида графикнинг i - поғонаси юкламаси; $S_{ном}$ - трансформаторнинг номинал қуввати.

k та бир хил трансформаторлар параллел ишлаганда N та поғонали юклама графигининг i -поғонасида исроф бўлувчи қувват ва йиллик энергия исрофи мос равнишда қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланади:

$$\Delta P_i = \frac{1}{k} \Delta P_k \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + k \Delta P_i; \quad (6.12)$$

$$\Delta W = \left[\Delta P_k \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_i \right] \Delta t_i. \quad (6.13)$$

Исрофларни юклама графиги бўйича аниқлаш усулининг афзаллиги – катта аниқликдир. Аммо электр тармоқнинг барча шохобчаларини юкламалари ҳақида маълумотлар етарли бўлмаганда ушбу усулни қўллаб бўлмайди.

Исрофларни аниқлашнинг энг содда усулидан бири *максимал исрофлар вақти* дан фойдаланишга асосланган. Бу усулга мувофиқ, тармоқнинг барча ҳолатлари ичидан қувват исрофи энг катта бўлган ҳолати аниқланади. Бу ҳолатни ҳисоблаб, унга мос келувчи максимал қувват исрофи $\Delta P_{\max}$ топилади. Йил давомидаги энергия исрофи максимал қувват исрофининг максимал исрофлар вақти τ га кўпайтириб топилади:

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \tau. \quad (6.14)$$

Максимал исрофлар вақти шундай вақтни, агар бу вақт давомида ўзгармас максимал юклама билан ишланганда исроф бўлувчи энергия йил давомида юклама графиги бўйича ишланганда исроф бўлувчи энергияга тенг бўлади, яъни,

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_n \Delta t_n = \Delta P_{\max} \tau, \quad (6.15)$$

бу сурда N -юклама графиги поғоналари сони.

Электр энергия ырофи ва ыссымолчи томонидан кабул қилинган электр энергия орасида қуйидаги тартибда боғланишни ўрнатиш мумкин.

Ыссымолчи томонидан кабул қилинган энергия:

$$W = P_1 \Delta t_1 + P_2 \Delta t_2 + \dots + P_N \Delta t_N = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i = P_{\max} T_{\max}, \quad (6.16)$$

бу сурда $P_{\max}$ -юкламанинг максимал қуввати.

Максимал юклама вакти $T_{\max}$ шуидай вақтқи, бу вақт давомида максимал юклама билан ишловчи ыссымолчи тармоқдан олан энергияси бир йил давомида у юклама графиги бўйича ишлаб тармоқдан олан энергияга тенг бўлади, яъни

$$P_{\max} T_{\max} = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i, \quad T_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i}{P_{\max}}. \quad (6.17)$$

$S_i^2 = f(t)$ графигини курамиз (6.1,в-расм). Фараз қилайлиқ, юклама графигининг i -поғонасида қувват ырофининг тахминий қиймати номинал қувватини бўйича топилади, яъни (6.8) нинг ўрнига қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

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

Агар $r_i / U_{\text{ном}}^2 = \text{const}$ эканлигини эътиборга олсак, Δt_i вақт давомида ыроф бўлувчи энергия маълум масштабда $S_i^2 \Delta t_i$ га, яъни томонлари Δt_i ва S_i^2 га тенг бўлган тўғри тўртбурчакнинг юзасига тенг бўлади. Демак, қўрилаётган ҳолатда электр энергия ырофи маълум масштабда 6.1,в-расмдаги ажратиб кўрсатилган фиғуранинг юзасига тенгдир.

τ учун юқорида келтирилган таърифга мувофиқ

$$S_{\max}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i, \quad \tau = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i}{S_{\max}^2}. \quad (6.18)$$

Пик қўринишидаги юклама графиглари учун τ нинг қиймати қуйидаги эмперик формула бўйича топилиши мумкин:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right) \cdot 8760. \quad (6.19)$$

(6.19) формуладан йил учун максимал нерофлар вақтини топишда (яъни $T = 8760$ *сoт*т бўлганда) фойдаланиш мумкин. Бунга нисбатан кичик вақт давоми учун ҳисоблаш аниқлигини ошириш мақсадида (6.19) ўрнига қуйидаги ифодадан фойдаланиш мақсадга мувофиқ:

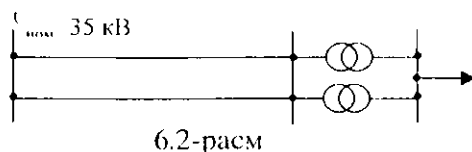
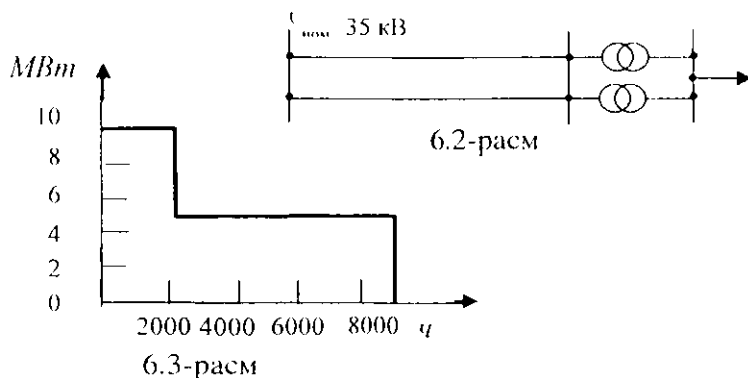
$$\tau = 2T_{\max} - T + \frac{T - T_{\max}}{1 + \frac{T_{\max}}{T} - \frac{2P_{\min}}{P_{\max}}} \cdot \left(1 - \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right). \quad (6.20)$$

Шунингдек τ ни аниқлашда кўпинча турли характердаги юклама графиклари учун ҳисоблаш йўли билан аниқланган $\tau = f(T_{\max} \cdot \cos \varphi)$ типик боғланишлардан ҳам фойдаланиш мумкин.

6.2. Масалалар ечиш намуналари

6.1-масала. 6.2-расмда келтирилган 35 *кВ* қучланишли электр узатмада йиллик энергия нерофини берилган юклама графиги (6.3-расм) ва максимал нерофлар вақти τ бўйича ҳисобланг.

Электр узатиш линиясининг узунлиги 15 *км*, солиштирма параметрлари $r_0 = 0,28$ *Ом/км*, $x_0 = 0,43$ *Ом/км*. Хар бир трансформаторнинг номиниал қуввати 6300 *кВ·А* ($AP_n = 9,2$ *кВт*, $AP_n = 46,5$ *кВт*). $\cos \varphi = 0,9$.



Ечиш. Юклама максимал бўлган ҳолатдаги қувватлар исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta P_1 = 0,5 \cdot \Delta P_s \cdot \left(\frac{P_{\max}}{S_{\max} \cos} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_s = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left(\frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_1 = \frac{S_{\max}^2}{U_i^2} \cdot r_1 \cdot \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 + \Delta P_1 = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = \frac{\Delta P_2}{P_n} = \frac{301,57 \cdot 100}{10000} = 3\%.$$

Бу ерда $\Delta P_1, \Delta P_1$ - трансформаторлар ва линиялардаги актив қувват исрофлари; $\Delta P_2, \Delta P_2$ - электр тармоқдаги ҳақиқий ва фойз бирлигидаги умумий актив қувват исрофи.

1) Йиллик энергия исрофини юклама графини бўйича аниқлаймиз:

$$W = (72,17 + 211) \cdot 2000 + 0,5^2 (72,17 + 211) \cdot 6760 + 18,4 \cdot 8760 = 1200 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{соат}.$$

Йил давомида истеъмолчига узатиловчи энергия:

$$W = 10 \cdot 2000 + 5 \cdot 6760 = 53,8 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{соат}.$$

Йиллик энергия исрофининг узатиловчи энергияга нисбатини аниқлаймиз:

$$\Delta W = \frac{1200 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,23\%.$$

Шундай қилиб, ушбу ҳолатда энергия исрофи узатиловчи энергияга нисбатан 2,23% ни ташкил этади.

2) Йиллик энергия исрофини максимал исрофлар вақти τ бўйича аниқлаймиз. Бунда τ нинг қийматини соддалаштирилган формула бўйича топамиз:

$$T_{\text{макс}} = \frac{W}{P_{\text{макс}}} = \frac{53,8 \cdot 10^3}{10} = 5380 \text{ соат};$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{макс}}}{10000} \right) \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5380}{10000} \right) \cdot 8760 = 3840 \text{ соат};$$

$$\Delta W = (71,17 + 211)3840 + 18,4 \cdot 8760 = 1248 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{соат};$$

$$\Delta W = \frac{1248 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,32\%.$$

3) τ нинг қийматини типик эгри чизиклар бўйича ҳам топиш мумкин. Биз кўриб чиқаётган – максимал юкламадан фойдаланиш вақти $T_{\text{макс}}=5380 \text{ соат}$ ва $\cos\varphi=0,9$ бўлган ҳолат учун ушбу эгри чизиклар бўйича $\tau=3650 \text{ соат}$ эканлигини аниқлаймиз (кўлланмадан). У ҳолда йиллик энергия исрофи қуйидаги миқдорни ташкил этади:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 3650 + 18,4 \cdot 8760 = 1195 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$\Delta W = \frac{1195 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,22\%.$$

6.2-масала. 5.2-масалада берилган подстанциянинг ўрта ва қуйи томонидаги истеъмолчилар учун максимал юкламадан фойдаланиш вақтлари мос равишда $T_{\text{у,макс}}=5800 \text{ соат}$ ва $T_{\text{к,макс}}=4500 \text{ соат}$ ни ташкил этади.

Ушбу подстанцияда йиллик энергия исрофини топиш.

Ечиш. 5.2-масалани ечишнинг биринчи босқичидаги каби амалларни бажариб, максимал юклама ҳолатида трансформаторларнинг қуйи, ўрта ва юқори чулғамларидаги қуйидаги исрофларни тонамиз:

$$\Delta P_{\text{к,макс}} = 0,011 \text{ МВт}, \quad \Delta P_{\text{у,макс}} = 0,028 \text{ МВт}, \quad \Delta P_{\text{ю,макс}} = 0,075 \text{ МВт}.$$

Кўрилатган масалада истеъмолчилар учун максимал юкламадан фойдаланиш вақти берилганлиги сабабли йиллик энергия исрофини максимал исрофлар вақтидан фойдаланиб ҳисоблаймиз.

Юқори кучланиш чулғами учун максимал юкламадан фойдаланиш вақтининг қуйидаги формула бўйича ҳисобланувчи қийматидан фойдаланамиз:

$$T_{ю.макс} = \frac{P_{у.макс} T_{у.макс} + P_{г.макс} T_{г.макс}}{P_{у.макс} + P_{г.макс}} = \frac{25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500}{25 + 15} = 5312,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Юқори ўрта ва қуйи чулғамлар учун максимал ыерофлар вақтини ҳисоблаймиз:

$$\tau_{ю} = \left(0,124 + \frac{T_{ю.макс}}{10000} \right) \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5312,5}{10000} \right) \cdot 8760 = 3761 \text{ } соат,$$

$$\tau_{г} = \left(0,124 + \frac{T_{г.макс}}{10000} \right) \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5800}{10000} \right) \cdot 8760 = 4312 \text{ } соат,$$

$$\tau_{а} = \left(0,124 + \frac{T_{а.макс}}{10000} \right) \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right) \cdot 8760 = 2886 \text{ } соат$$

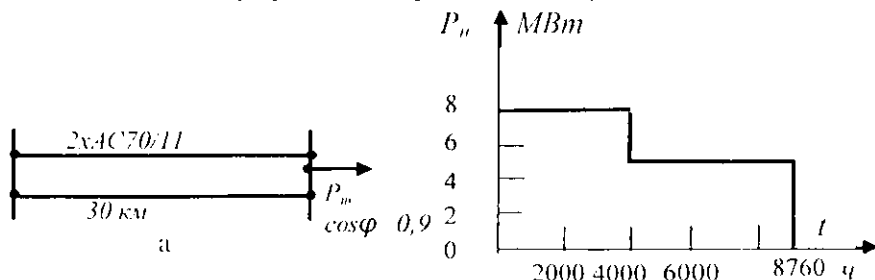
Подстанцияда йиллик энергия ыерофи ва унинг йил давомида узатишувчи энергияга нисбати:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 8760 \Delta P_{г} + \Delta P_{ю.макс} \tau_{ю} + \Delta P_{у.макс} \tau_{у} + \Delta P_{а.макс} \tau_{а} = \\ &= 8760 \cdot 0,1 + 0,075 \cdot 3761 + 0,028 \cdot 4312 + 0,011 \cdot 2886 = \\ &= 1310,56 \text{ } МВт \cdot соат = 1310560 \text{ } кВт \cdot соат, \end{aligned}$$

$$\Delta W = \frac{1310560 \cdot 100}{(25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500) \cdot 10^3} = 0,62\%.$$

6.3. Мустақил ечим учун масалалар

1. АС70/11 маркали ўтказгичдан тайёрланган 30 км узунликдаги 35 кВ номинал кучланишли икки занжирли линиядан таъминланувчи истеъмолчининг (6.4,а-расм) давомийлик бўйича йиллик юклама графиги 6.4,б-расмда келтирилган.



6.4- расм

б

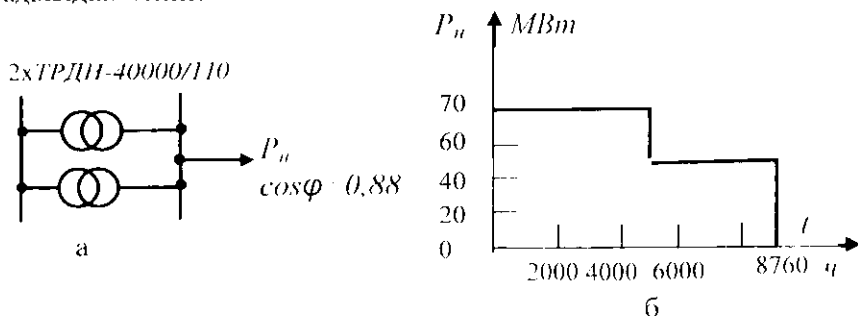
Истеъмолчининг максимал юкламадан фойдаланиш вақти, линияда йиллик энергия исрофи ва максимал исрофлар вақтини тошинг.

Линиянинг 1 км узунлиги учун ҳисоб параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

2. Подстанцияда иккита ТРДН-40000/110 типдаги трансформаторлар параллел ҳолда ишлаб (6.5,а-расм), давомийлик бўйича йиллик юклама графиги 6.5,б-расмда тасвирланган истеъмолчини таъминлайди.

Трансформаторларда исроф бўлувчи йиллик энергия исрофи ва максимал исрофлар вақтини тошинг.

Трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

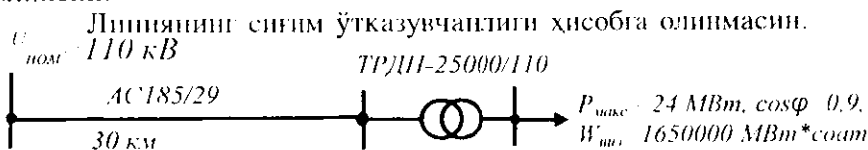


6.5-расм

3. Схемаси 6.6-расмда келтирилган электр тармоқдан таъминланувчи истеъмолчининг максимал юкласи 24 MBt бўлиб, у йил давомида $1650000 \text{ MBt} \cdot \text{соат}$ электр энергияни истеъмол қилади.

Электр тармоқда йиллик энергия исрофини тошинг.

Линиянинг солиштира ҳисоб параметрлари ва трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

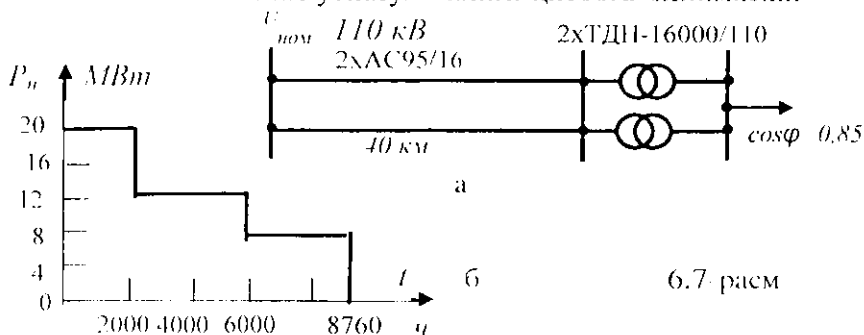


6.6-расм

4. Схемаси 6.7.а-расмда келтирилган электр тармоқдан таъминланувчи истеъмолчининг юклама графиги 6.7.б-расмда тасвирланган.

Бир йил давомида истеъмол қилинувчи ва тармоқда исроф бўлувчи электр энергиялар, максимал юкламадан фойдаланиш вақти ва максимал исрофлар вақтини топиш.

Линиянинг сизим ўтказувчанлиги ҳисобга олинмасин.



6.7. расм

7. ЭЛЕКТР УЗАТИШ ЛИНИЯЛАРИ ЎТКАЗГИЧЛАРИНИНГ КЕСИМ ЮЗАЛАРИНИ ТАНЛАШ

7.1. Ўтказгичнинг кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш

Ўтказгичнинг кесим юзаси ЭУЛнинг муҳим параметридир. ЭУЛ ўтказгичи кесим юзасининг ортиши билан уни қуришдаги харажатлар ва улардан олинадиган четирмалар ортиб боради. Шу билан бир қаторда уларда электр энергия исрофи ва уни қоплаш учун сарф бўлувчи йиллик харажатлар камайиб боради.

ЭУЛ учун ўтказгичнинг келтирилган харажатлар функцияси

$$Z(F) = p_n K + I \quad (7.1)$$

нинг минимал бўлишини таъминлайдиган кесим юзаси иқтисодий кесим юзаси деб аталади ва у F_m кўринишида белгиланади.

ЭУЛ учун келтирилган харажатлар ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқлигини таҳлил қиламиз.

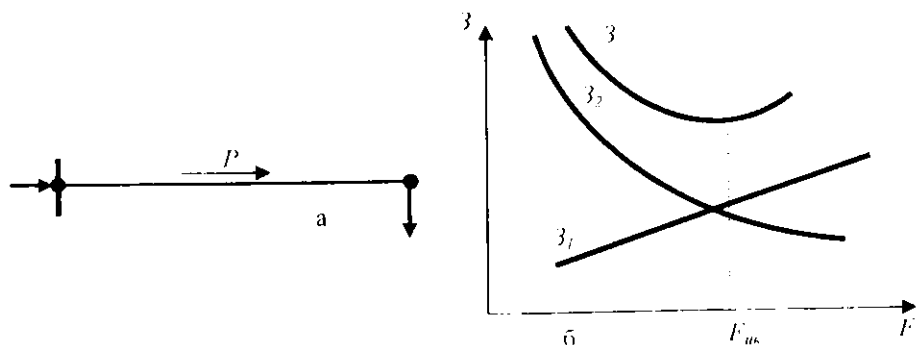
ЭУЛ ни қуриш учун сарф қилинувчи капитал харажатлар унинг узунлигига боғлиқ:

$$K = \kappa_0 l \quad (7.2)$$

Бу ерда l - ЭУКнинг узунлиги, км; κ_0 - ЭУЛ учун солиштирма капитал харажат бўлиб, у ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқ равишда қуйидагича аниқланади:

$$\kappa_0 = a + vF, \quad (7.3)$$

бу ерда a - ЭУЛнинг 1 км узунлиги учун кесим юзасига боғлиқ бўлмаган капитал харажатлар (линияларни қуриш, трассаларни тайёрлаш; боткоқликларни қуриштириш ва ҳ.к. ишлар учун сарф бўлувчи харажатлар); vF - солиштирма капитал харажатнинг ўтказгич кесим юзасига пропорционал бўлган қисми (металл, таянч, арматура ва ҳ.к. лар билан боғлиқ бўлган харажатлар).



7.1-расм. Келтирилган харажатларнинг ЭУЛ ўтказгичлари кесим юзасига боғлиқлиги:

a - бир занжирли ЭУЛ; b - келтирилган харажатлар ва уларни танкил этувчиларининг ўтказгич кесим юзасига боғлиқ равишда ўзгариши

Йиллик фойдаланишдаги қўшимча харажатлар I амортизацион чегирмалар I_a , хизмат кўрсатиш харажатлари I_v ва йил давомида исроф бўлувчи энергияни қоплаш харажатлари I_{bw} ларнинг йиғиндисидан иборатдир:

$$I = I_a + I_v + I_{bw}$$

Амортизация ва хизмат кўрсатиш харажатлари ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқ бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$I_a + I_m = \alpha_s K = \alpha_s (a + vF) l, \quad (7.4)$$

бу ерда α_s - амортизация ва хизмат кўрсатиш харажатлари учун йиллик чегирма.

I_{bw} ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқ ҳолда қуйидагича ифодаланади:

$$H_{\text{н}} = \beta W = \beta P_{\text{max}} \tau = \beta 3 I_{\text{max}}^2 r_{\text{н}} \tau = \frac{3 \beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F} \quad (7.5)$$

Бу ерда I_{max} - ЭУКнинг максимал ишчи токи; ρ - ўтказиш материалларининг солиштирма қаршилиги; β - бирлик электр энергия нерофнинг нархи; τ - максимал нерофлар вақти.

(7.2) ва (7.5) ни (7.1) га қўйсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$3(F) = (a + \alpha F)(p_{\text{н}} + \alpha_{\text{с}}) l + \frac{3 \beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F} = 3_1(F) + 3_2(F). \quad (7.6)$$

7.1-расмда бир занжирли ЭУЛ схемаси (7.1,а-расм) ва у учун келтирилган харажатлар, ҳамда уни таъкил этувчиларининг ўтказиш кесим юзасига боғланиш эгри чизиқлари кўрсатилган (7.1,б-расм).

$3(F)$ функцияни F бўйича минимумлигининг зарурий шартидан фойдаланиб, ўтказишнинг иқтисодий кесим юзаси учун формулани ҳосил қиламиз:

$$\partial 3 / \partial F = (p_{\text{н}} + \alpha_{\text{с}}) l - \frac{3 \beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F^2} = 0,$$

$$F_{\text{иқ}} = I_{\text{max}} \sqrt{\frac{3 \beta \rho \tau}{(p_{\text{н}} + \alpha_{\text{с}}) l}} \quad (7.7)$$

Токнинг иқтисодий зичлиги - ЭУЛда оқувчи максимал токнинг ўтказиш иқтисодий кесим юзасига нисбатидир:

$$j_{\text{иқ}} = \frac{I_{\text{max}}}{F_{\text{иқ}}}. \quad (7.8)$$

(7.7) ва (7.8) дан

$$j_{\text{иқ}} = \sqrt{\frac{(p_{\text{н}} + \alpha_{\text{с}}) l}{3 \beta \rho \tau}} \quad (7.9)$$

келиб чиқади.

Бу ерда (7.9) фақат $j_{\text{иқ}}$ нинг маъносини тушуниш учун келтирилган бўлиб, у $j_{\text{иқ}}$ ни ҳисоблаш учун фойдаланилмайди.

ЭУТКга мувофиқ $j_{\text{иқ}}$ ўтказишнинг тури ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти T_{max} га боғлиқ ҳолда танланади.

Амалда ЭУЛ кесим юзасини таълаш учун аввало кўлланима жадвалдан j_{mk} таъланади, сўнгга иктисодий кесим юзаси куйидагича ҳисобланади:

$$F_{mk} = \frac{I_{max}}{j_{mk}}. \quad (7.10)$$

(7.10) дан аниқланган F_{mk} стандарт кесим юзасига яхлитланади.

Таҳлил шуни кўрсатадики, кесим юзасининг F_{mk} дан оғиши келтирилган харажатларнинг сезиларли ўзгаришига олиб келмайди, чунки $Z=f(F)$ боғланиш аниқ ифодаланган минимумга эга эмас. (7.10) даги I_{max} - нормал ҳолатдаги максимал токдир. j_{mk} ни топишда авариядан кейинги ҳолат токи ҳисобга олинмайди. Чунки бундай ҳолатлар кеска вақт давомида амал қилади.

Токнинг иктисодий зичлиги бўйича таъланган кесим юзалари иссиқлик, руҳсат этилган кучланиш исрофи $M_{p_{max}}$ ва механик мустаҳкамлик бўйича текшириб кўрилади. Агар j_{mk} бўйича таъланган ўтказгичнинг кесим юзаси бошқа шартлар бўйича татаб этилган кесим юзасидан кичик бўлса, бу шартлар билан белгиланган энг катта кесим юзасини таълаш лозим.

Куйидаги тармоқларда кесим юзасини токнинг иктисодий зичлиги бўйича таълаш мумкин эмас: 1 кВ гача кучланишли ва максимал юклама вақти 4000-5000 соат бўлган саноат корхоналарининг 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 ҳаво ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзасининг токнинг иктисодий зичлиги бўйича таълаш тавсия этилмайди. Амалда 35-750 кВ кучланишли ҳаводаги ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзалари ток ва қувватнинг иктисодий интэрваллари бўйича таъланади.

1 кВ ва ундан юқори кучланишдаги кабелли ЭУЛда токнинг иктисодий зичлиги бўйича таъланган кесим юзалари иссиқлик, руҳсат этилган кучланиш, кучланишнинг оғиши ва қеска туташув тоқларида термик чидамлик бўйича текширилади.

j_{mk} бўйича кабелли ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзасини таълашда фақат (7.8) даги каби I_{max} дан эмас, балки ЭУЛдан фойдаланиш жараёнида юклама ўзгаришини ҳисобга олувчи

ҳисобий ток юкламасидан, шунингдек, максимал 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.

7.2. Ҳаво ЭУЛ ўтказгичи кесим юзасини иқтисодий интерваллар бўйича танлаш

Кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш нафақат ЭУЛни 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, $j_{\text{н}}$ учун (7.9) ифода капитал маблағининг ЭУЛ узунлигига тўғри чиқикли боғланишини кўзда тутати. Тўғри чиқикли боғланиш унификацияланган таянчлардан фойдаланувчи ЭУЛларни ялпи қуришга ўтиш билан бузилади. Иккинчидан, $j_{\text{н}}$ учун ифодани ҳосил қилишда келтирилган харажатлар ифодаси (7.6) да кесим юзаси узуксиз деб ҳисобланган. Амалда эса кесим юзаси дискрет равишда ўзгаради ва шу сабабли уни (7.7) шартидан топши маълум хатоликка олиб келади. Учинчидан, (7.6) ифодада максимал ток I_{max} ўзгармас деб ҳисобга олинган. Амалда бундай эмас. Ҳар хил ЭУЛлар учун I_{max} ҳар хилдир ва (7.6) да I_{max} ни ўзгарувчан деб ҳисоблаш лозим. Бундай ҳолда иқтисодий кесим юзаси нафақат 3 нинг F бўйича ҳосиласини нолга тенглик шарти (7.7) дан, балки 3 нинг энг катта ток бўйича ҳосиласининг ҳам нолга тенглик шартидан топилиши лозим.

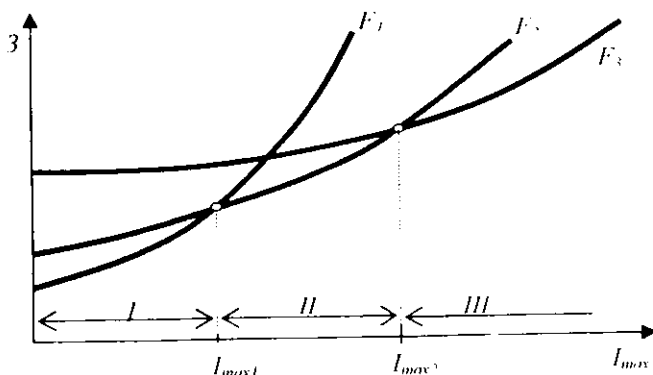
Линия ўтказгичи юзини танлашнинг юқорида кўрсатилган камчиликлардан бартараф бўлган усулларида бири «иқтисодий интерваллар усули» деб юритилади.

Ўтказгич кесим юзасини танлаш учун ток юкламаларининг иқтисодий интерваллари қуйидагича аниқланади. 35-750 кВ ли ҳаво ЭУЛ нинг турли хил стандарт юзали ўтказгичлари учун келтирилган харажатларнинг ЭУЛ токи I_{max} га боғланиш графиклари қурилади. Ҳар бир кесим юзаси учун келтирилган харажатлар аниқланади. (7.6) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Z = (p_n + \alpha_n)K + 3F_{\text{ж.ин}}^2 r_n \tau \beta \quad (7.11)$$

7.2-расмда келтирилган харажатларнинг линия максимал токига боғланишлари кесим юзаси F_1 , F_2 ва F_3 га тенг бўлган ҳолатлар 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_{max1} максимал токни аниқлайди. Агар ЭУЛ токи I_{max1} дан кичик бўлса, у ҳолда энг кичик харажатлар F_1 кесим юзасига тўғри келади, яъни айнан шу кесим юзасини танлаш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир. Агар ток I_{max1} ва I_{max2} оралигида бўлса, иккинчи кесим юза F_2 , I_{max2} дан катта бўлса, учинчи кесим юза F_3 иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ бўлади.



7.2-расм. Иқтисодий интервалларни куриш

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

$$I_s = I_{max} \alpha_i \alpha_m, \quad (7.12)$$

бу ерда I_{max} - 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_{max} ва энергетика системаси максимумига тўғри келиши K_m ни ҳисобга олувчи коэффициент.

110-220 кВ кучланишли ЭУЛ учун α нинг қиймати 1,05 га тенг қилиб, бундан юкори кучланишдаги ЭУЛ учун эса бу коэффициент қиймати жадвалдан олинади.

35-750 кВ кучланишли ЭУЛнинг кесим юзалари учун токнинг иқтисодий интерваллари қўлланма жадвалларда келтирилган. Бундай жадваллар барча стандарт кесим юзалари ва ҳар хил регионлар учун тузилган.

7.3. Таксимловчи электр тармоқларида ЭУЛ ўтказгичининг кесим юзасини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танлашнинг характерли хусусиятлари

Таксимловчи электр тармоқларида рухсат этилган кучланиш исрофи деб унинг шундай қийматига айтиладики, бунда кучланишнинг ростлаш натижасида электр қабул қилишдаги кучланиш оғиши ДавСт да белгиланган техник рухсат этилган қийматлардан ошиб кетмайди. Таксимловчи электр тармоғида рухсат этилган кучланиш исрофи доимо максимал кучланиш исрофидан кичик бўлмаслиги, яъни қуйидаги шарт бажарилиши лозим:

$$U_{max} \leq U_{рух} \quad (7.13)$$

Таъминлаш манбаи кучланиши тахминан ўзгармасдир. Агар $U_{max} \leq U_{рух}$ бўлса, у ҳолда чекка тугундаги кучланиш қиймати рухсат этилмайдиган даражада бўлади. 0,38-20 кВ кучланишли таксимловчи электр тармоқларда ЭУЛ ўтказгичининг кесим юзаси (7.13) нинг бажарилиш шартидан келиб чиқиб танланади. Агар лойиҳалаштиришда ЭУЛ ўтказгичининг кесим юзаси F ни оширсак, актив ва реактив қаршиликлар ҳамда бунга мос равишда, максимал кучланиш исрофи камаяди, чунки

$$\Delta U = \frac{Pr + Qx}{U_n} \quad (7.14)$$

Ўтказгичларнинг солиштирама актив қаршилиги кесим юзасига тескари пропорционал равишда ўзгаради, реактив қаршилиги эса, кесим юзасига заиф боғланган. Таъминловчи электр тармоқларида 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 (7.13) ҳисобга олинмайди. Таксимловчи электр тармоқларида эса $r_0 > x_0$.

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 танлаш (7.13) шартни бажариш зарурлигидан келиб чикиб амалга оширилади.

0,38-20 кВ тақсимловчи электр тармоқларида кесим юзаларини танлашнинг характерли хусусиятлари F ни танлашда иқтисодийлик, рухсат этилган кучланишлар ва ўтказгични қизиши шартларини ҳисобга олиш лозимлиги билан белгиланади. 1 кВ гача кучланишли тармоқларда юқорида кўрсатилган ҳолатлардан ташқари ва 6-20 кВ кучланишли тармоқларда ўтказгичнинг кесим юзаси иқтисодийлик (j_m), рухсат этилган кучланиш AU_{px} ва иссиқлик шартлари бўйича аниқланади.

Шуни белгилаш лозимки, ўтказгичнинг кесим юзасини турли шартлар бўйича аниқлашда бир хил натижани берувчи бир нечта алгоритмлардан фойдаланиш мумкин. Биринчи алгоритм ўтказгич кесим юзасини аввало битта энг асосий шарт, масалан j_m бўйича танлаш ва сўнгра уни бошқа шартлар, масалан иссиқлик ва ҳ.к. шартлар бўйича текширишни назарда тутди. Иккинчи алгоритм эса стандарт кесим юзаларини, аввало, ҳар бир шарт бўйича аниқлаш ва сўнгра улардан энг каттасини танлашни назарда тутди. 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 (7.14) бўйича аниқланувчи рухсат этилган кучланиш ўтказгич кесим юзасини белгилайди. Тармоқ бир нечта участкалардан ташқил топган ҳолат учун кесим юзаларини тўғридан-тўғри AU_{px} бўйича танлаш мумкин эмас. Бундай ҳолларда тармоқ учун F ни танлашда (7.13) 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 (7.13) ва тақсимловчи тармоқларда кесим юзасини танлашда ушбу усулни қўлланиш соҳасини белгилловчи яна бир шартни қапоатлантиради.

Хар бир шарт бажарилган ҳолда кесим юзасини рухсат этилган кучланиш иерофи бўйича танлашни таҳлил қиламиз.

Кесим юзасини ЭУЛнинг барча участкаларида бир хил бўлиши шарти бўйича танлаши ($F_{kj}=const=F$). 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 қўп микдордаги юкламаларга эга бўлган ЭУЛлар учун алоҳида афзаликларга эга.

ЭУЛ тузилиши ва ўтказгичларнинг маркалари аниқланган (кесим юзасидан ташқари). k - тугун қуввати S_k , тугунлар оралиқларидаги масофа l_{kj} , рухсат этилган кучланиш иерофи U_{px} маълум.

ЭУЛда энг катта кучланиш иерофи қуйидагича топилади:

$$U_{pxm} = \sum_{k=1}^m \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_n} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}, \quad (7.15)$$

бу ерда k -ЭУЛ участкасининг бошланишидаги тугун номери; j -ЭУЛ участкасининг охиридаги тугун номери; r_{kj} , x_{kj} -ЭУЛ участкасининг қаршиликлари; P_{kj} , Q_{kj} - ЭУЛ участкасидаги актив ва реактив қувват оқимлари.

ЭУЛда рухсат этилган кучланишнинг иккита ташкил этувчи кўринишида ифодалаймиз:

$$U_{px} = U_{pxa} + U_{pxp} \quad (7.16)$$

бу ерда U_{pxa} - биринчи ташкил этувчи бўлиб, у гўё актив қаршиликдаги рухсат этилган кучланиш иерофидир; U_{pxp} - (7.16) даги иккинчи ташкил этувчи, яъни реактив қаршиликдаги рухсат этилган кучланиш иерофи.

Фараз қилайлик, энг катта кучланиш иерофи рухсат этилган кучланиш иерофига тенг, яъни:

$$U_{px} = U_{pxa} + U_{pxp} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}; \quad (7.17)$$

бундан

$$AU_{px.a} = \frac{\sum_{k=1}^m P_k r_{0k}}{U_n}; \quad AU_{px.p} = \frac{\sum_{k=1}^m Q_k X_{0k}}{U_n}; \quad (7.18)$$

келиб чиқади.

Кесим юзаси ўзгарини билан солиштира реактив қаршилиқ x_0 кам даражада ўзгаради. 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 ҳаво 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;

$$б) \quad AU_{px.p} = \frac{\sum_{k=1}^m Q_k x_0 l_{0k}}{U_n}; \quad \text{хисобланади};$$

в) $AU_{px.a}, AU_{px.p}, AU_{px.p}$ бўйича рухсат этилган кучланишнинг қўндаланг ташкил этувчиси аниқланади.

г) кесим юзаси F аниқланади.

ЭУЛ актив қаршилигидаги рухсат этилган кучланиш исрофи:

$$AU_{px.a} = \frac{\sum_{k=1}^m P_k r_0 l_{0k}}{U_n};$$

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

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

Сўнгги иккита ифодадан

$$AU_{px,a} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kl} I_{kl}}{\gamma F U_n} = \frac{1}{\gamma F} \sum_{k=1}^m \sqrt{3} I_{kl} I_{kl} \cos \varphi_{kl}. \quad (7.19)$$

(7.19) дан кесим юзасини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{\sum_{k=1}^m \sqrt{3} I_{kl} I_{kl} \cos \varphi_{kl}}{\gamma AU_{px,a}}. \quad (7.20)$$

Тошланган кесим юзаси F энг яқин стандарт кесим юзасига яхлитланади ва сўнгра у учун (7.13) шартининг бажарилиши текширилади. Агар бу шарт бажарилмаса, у ҳолда кесим юзасини ошириш лозим.

Кесим юзасини қувват исрофининг минимумлик шarti бўйича танлаш. Шунинг кўрсатиши мумкинки, қувват исрофининг минимумлиги ток зичлигининг ўзгармаслик ҳолатига тўғри келади, яъни бунда ЭУЛнинг барча участкаларида ток зичлиги бир хил бўлади:

$$j_{kl} = \frac{I_{kl}}{F_{kl}} = const;$$

бу ерда j_{kl} - руҳсат этилган қучланиш 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 фарк шундан иборатки, участкаларда кесим юзалари F_{kl} ҳар хил, бироқ ток зичлиги j_{kl} бир хил.

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

а) $\lambda_0 = 0,4$ Ом/км қабул қилинади;

б) (7.18) ва (7.16) ифодадар бўйича $AU_{px,p}$ ва $AU_{px,a}$ ҳисобланади.

в) рухсат этилган кучланиш бўйича токнинг зичлиги j_M топилади ва сўнгра ЭУЛнинг барча участкалари учун кесим юзаси аниқланади. (7.19) ифодадан токнинг зичлиги рухсат этилган кучланиш бўйича қуйидагича аниқланади:

$$j_M = \frac{AU_{pxu}y}{\sqrt{3} \sum_{k=1}^m I_{kj} \cos \varphi_{kj}}$$

Тоңилган ток зичлиги бўйича ҳисобий кесим юзаси қуйидагича осон аниқланади:

$$F_{kj} = \frac{I_{kj}}{j_M}.$$

Ҳисобланган кесим юзаси энг яқин стандартга яхлитланади. ЭУЛ участкаларининг актив ва реактив қаршиликлари r_{kj} , x_{kj} лар аниқланади. (7.14) бўйича энг катта кучланиш исрофи ҳисобланади ва у (7.13) шарт бўйича текшириб кўрилади. Агар бу шарт бажарилмаса, кесим юзаси оширилади.

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

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{AU_{pxu} U_n} \sum_{k=1}^n I_{kj} \sqrt{P_{kj}},$$

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

Қолган участкаларнинг кесим юзатари қуйидаги муносабатлар асосида топилиши мумкин:

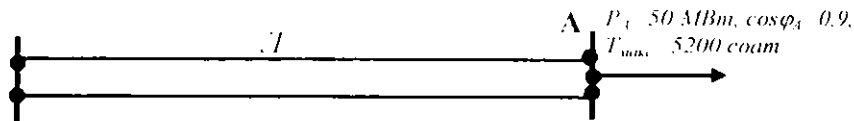
$$\frac{F_{12}^*}{P_{12}} = \frac{F_{23}^*}{P_{23}} = \dots = \frac{F_{(n-2)(n-1)}^*}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F_{(n-1)n}^*}{P_{(n-1)n}}.$$

Таълиқ жараёнининг навбатдаги иши, юқорида кўрилан ҳолатлардагидек, топилган кесим юзаларининг энг яқин стандартларига яхлитлаш, уларни (7.13) шарт бўйича текшириш ва бу шарт бажарилмаган тақдирда таълиқган кесим юзасини оширининг назарда тулади.

7.4. Масалалар ечин намуналари

7.1-масала. 7.3-расмда лойиҳалаштирилаётган 110 кВ қучланишли электр тармоқнинг А юклама подстанциясини таъминлаш схемаси кўрсатилган. Максимал юклама, максимал юкламадан фойдаланиш вақти ва актив қувват коэффициентлари расмда келтирилган.

Л линиясининг ўтказкичлари кесим юзасининг токнинг иқтисодий зичлиги бўйича таълиқ ва уни тожланишга исроф ва атроф-муҳит ҳарорати +15°C бўлганда қизин шартлари бўйича текширинг.



7.3-расм

Ечин. Линиясининг максимал токнинг тонамиз:

$$I_{1, \max} = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{3} U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{50}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0.9} = 0.146 \text{ кА}.$$

Марказий Осиё шаронгида $T_{\max} = 5200 \text{ соат}$ бўлган ҳолат учун токнинг иқтисодий зичлигининг қўлланма жадвали бўйича аниқлаймиз: $j_{\text{ок}} = 1,3 \text{ А/мм}^2$.

Ўтказкичнинг ҳисобий кесим юзасининг тонамиз:

$$F = \frac{I_{\text{ок}}}{j_{\text{ок}}} = \frac{146}{1.3} = 111,92 \text{ мм}^2.$$

Стандарт кесим юзаси $F_{\text{от}} = 120 \text{ мм}^2$ бўлган, яъни АС120 маркази ўтказкич таълиқимиз.

110 кВ кучланишли ҳаво линияси учун тожланишга бўлувчи исрофлар шартлари бўйича энг кичик кесим юзаси 70 мм² бўлганлиги учун танланган кесим юзаси тожланиш шартлари талабларига жавоб беради.

Узоқ вақт давомида рухсат этилган тоқларни ҳавонинг ҳарорати бўйича тўғрилашни ҳисобга олиб қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$I_{pvy} = I_{\kappa ao} k_p$$

бу ерда $I_{\kappa ao}$ - танланган кесим юзасидаги ўтказгич учун ҳавонинг меъёрланган ҳароратида узоқ вақт давомида рухсат этилган ток бўлиб, унинг қиймати қўлланма жадвалдан олинади; k_p - тўғриловчи коэффициент бўлиб, кўрилаётган ҳолат учун у 1.1 га тенг.

Шундай қилиб,

$$I_{pvy} = I_{\kappa ao} k_p = 390 \cdot 1,1 = 432,9 \text{ А.}$$

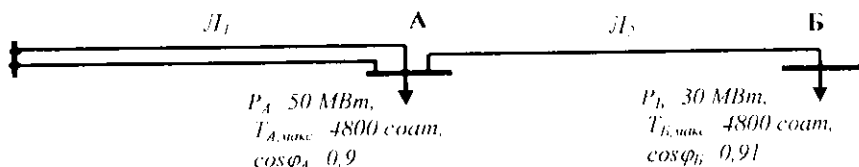
Энг катта ток юкламаси линиянинг битта занжири узилган ҳолда кузатилади:

$$I_{\kappa otk} = 146 \cdot 2 = 292 \text{ А} < I_{pvy}.$$

Демак, танланган ўтказгич авариядан кейинги ҳолатларда қизин шартларини қаноатлантиради.

7.2-масала. 7.4-расмда лойиҳалаштирилаётган 110 кВ кучланишли электр тармоқнинг А ва Б юклама подстанцияларининг таъминланиш схемаси кўрсатилган. Бу подстанциялар учун максимал юклама, максимал юкламадан фойдаланиш вақти ва актив қувват коэффициентлари расмда келтирилган.

L_1 ва L_2 линиялар ўтказгичларининг кесим юзаларини иқтисодий интерваллар бўйича танлаш ва L_1 линиясининг ўтказгичини атроф-муҳит ҳарорати +15°C бўлган ҳолатда қизин шартлари бўйича текширинг.



7.4 -расм

Ечиш. L_1 ва L_2 линияларнинг ҳар бирида оқувчи максимал ток:

$$I_{\text{н2, макс}} = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 79 \text{ A.}$$

$$I_{\text{н1, макс}} = \frac{80 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 210 \text{ A}$$

I_1 ва I_2 линияларнинг ҳар бир занжирининг ҳисобий ток юкламасини куйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$I_n = I_{\text{макс}} \alpha_i \alpha_r,$$

бу ерда α_i ишлатилишнинг ҳар йилида юкламанинг ўзгариб боришини ҳисобга олувчи коэффициент; $110 \dots 220 \text{ кВ}$ кучланишли линиялар учун у 1,05 га тенг деб қабул қилинади;

α_r максимал юкламадан фойдаланиш соатлари сони $T_{\text{макс}}$ ва унинг энергетика тизими максимал юкламаси билан мос келиш коэффициенти k_u .

Биз кўраётган ҳолат учун қўлланма жадваллари бўйича $\alpha_r = 0,8$ эканлигини аниқлаймиз.

У ҳолда

$$I_{\text{н2, н}} = 79 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 66,36 \text{ A};$$

$$I_{\text{н1, н}} = 210 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 176,4 \text{ A.}$$

Пулататюмний ўтказгичлар учун ток юкламаларининг иқтисодий интерваллар жадваллари бўйича куйидагиларни таштаймиз:

L_2 линияси учун $F_{\text{н2}} = 70 \text{ мм}^2$, L_1 линияси учун $F_{\text{н1}} = 150 \text{ мм}^2$.

Танланган ўтказгичларни авариядан кейинги ҳолатлар учун қизини шартлари бўйича текшираимиз.

Узоқ вақт давомида рухсат этилган тоқлар ҳарорат бўйича тўғриловчи коэффициент k_t ни ҳисобга олиб куйидагича аниқланади:

$$I_{\text{рв}} = I_{\text{жад}} k_t.$$

Биз кўраётган ҳолатда $k_t = 1,11$.

У ҳолда

$$I_{\text{рв, н2}} = 265 \cdot 1,11 = 294 \text{ A};$$

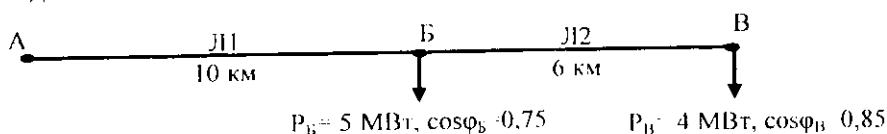
$$I_{\text{рв, н1}} = 450 \cdot 1,11 = 500 \text{ A.}$$

L_1 линиясида энг катта ток юкламаси линиянинг битта занжири узилган ҳолатда кузатилади:

$$I_{\text{жад, н1}} = 210 \cdot 2 = 420 \text{ A} < I_{\text{рв, н1}}.$$

Демак, танланган ўтказгичлар авариядан кейинги ҳолатларда қизини шартлари бўйича талабларга жавоб беради.

7.3-масала. *A* ва *B* пунктларда жойлашган истеъмолчилар *A* подстанциянинг шинасидан пўлаталюминий ўтказгичдан тайёрланган битта 35 кВ кучланишли линия орқали таъминланади. $\cos\varphi=0,75$ бўлган ҳолда 5 МВт қувват истеъмол қилувчи *B* пункт *A* подстанциясидан 10 км масофада жойлашган. Ўз навбатида $\cos\varphi=0,85$ бўлган ҳолда 4 МВт қувват истеъмол қилувчи *B* подстанцияси *B* пунктдан 6 км масофада жойлашган (7.5-рasm). Хар иккала истеъмолчи учун ҳам максимал юкламадан фойдаланиш вақти йилига 3000 соат ни ташкил этади.



7.5-рasm

Пўлаталюминий ўтказгичларнинг кесим юзаларини 5% га тенг бўлган (бутун тармоқ учун токнинг зичлиги ўзгармас бўлишидан келиб чиққан ҳолда аниқланган) рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича таъланг.

Ечиш. L_1 линияси бўйича истеъмолчиларнинг юкламалари ва қувват оқимини аниқлаймиз:

$$S_{L_1} = 5 + j5 \cdot \frac{\sqrt{1-0,75^2}}{0,75} = 5 + j4,41 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_B = 4 + j4 \cdot \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} = 4 + j2,48 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{\Sigma} = 5 + 4 + j(4,41 + 2,48) = 9 + j6,89 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Электр тармоқда рухсат этилган кучланиш исрофини аниқлаймиз:

$$\Delta U_{\text{px}} = 0,05 \cdot 35 = 1,75 \text{ кВ}.$$

Биринчи яқинлашмишда узунлик бирлигидаги индуктив қаршиликни $x_0 = 0,41 \text{ Ом/км}$ қабул қилиб, тармоқда индуктив қаршилик билан белгиланувчи кучланиш исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_r = \frac{6,89 \cdot 0,41 \cdot 10 + 2,48 \cdot 0,41 \cdot 6}{35} = 0,981 \text{ кВ}.$$

Демак, актив қаршиликларда рухсат этилиши мумкин бўлган кучланиш исерофи қуйидагига тенг:

$$U_{a,pxx} = U_{pxx} - U_p = 1,75 - 0,981 = 0,769 \text{ кВ.}$$

Алюминийнинг солиштирма қаршилигини $\rho = 31,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$ деб ҳисоблаб, токнинг кучланиш исерофи топилган $U_{a,pxx}$ тенг бўлишини таъминлайдиган зичлигини аниқлаймиз. Бунинг учун аввало станция ва I пункт орасидаги линиянинг кувват коэффициентини аниқлаймиз:

$$\cos \varphi_{a1} = \frac{9}{\sqrt{9^2 + 6,89^2}} = 0,794.$$

демак,

$$j = \frac{\Delta U_{a,pxx}}{\sqrt{3 \cdot \rho \cdot (l_{ab} \cdot \cos \varphi_{a1} + l_{br} \cdot \cos \varphi_{a2})}} = \frac{769}{\sqrt{3 \cdot 31,5 \cdot (10 \cdot 0,794 + 6 \cdot 0,85)}} = 1,08 \text{ А / мм}^2.$$

Ҳар иккала юклама учун $T_{max} = 3000 \text{ соат}$ бўлганда линиялар учун токнинг иқтисодий зичлиги $j_{иқ} = 1,3 \text{ А/мм}^2$. $j_{иқ} > j$ бўлганлиги учун ўтказгичларнинг кесим юзларини танлашда белгилоччи бўлиб рухсат этилган кучланиш исерофини таъминлаш талабларига жавоб берувчи шартлар ҳисобланади.

Демак, L_1 линия учун:

$$F_1 = \frac{S_{a1} \cdot \sqrt{9000^2 + 6890^2}}{\sqrt{3 \cdot U_n \cdot j} \cdot \sqrt{3 \cdot 35 \cdot 1,08}} = 173,1 \text{ мм}^2.$$

L_2 линия учун:

$$F_2 = \frac{\sqrt{4000^2 + 2480^2}}{\sqrt{3 \cdot 35 \cdot 1,08}} = \frac{3740}{\sqrt{3 \cdot 35 \cdot 1,14}} = 71,9 \text{ мм}^2.$$

Стандарт маркадаги ўтказгичларни қабул қиламиз: L_1 линия учун АС185; L_2 линия учун АС95.

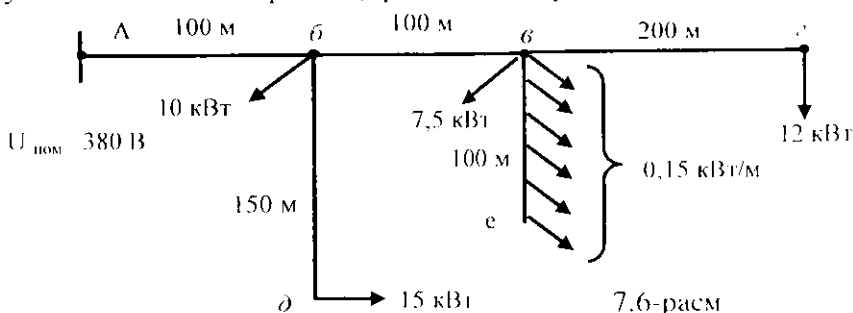
Ушбу маркадаги ўтказгичлардан қурилган линияларнинг узунлик бирлиги учун ҳисоб параметрлари қуйидагича: $r_0 = 0,162 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,413 \text{ Ом/км}$ ва $r_0 = 0,306 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,434 \text{ Ом/км}$.

Танланган ўтказгичлар учун кучланиш исерофининг энг катта қийматини аниқлаймиз:

$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{(9 \cdot 0,162 + 6,89 \cdot 0,413) \cdot 10 + (4 \cdot 0,306 + 2,48 \cdot 0,434) \cdot 6}{35} = 1,624 \text{ В.}$$

Демак, $\Delta U_{\text{кат}} < \Delta U_{\text{пв}}$ ва шу сабабли қабул қилинган маркадаги ўтказгичлар масаланинг шартини қаноатлантиради.

7.5-масала. 7.6-расмда лойиҳалаштирилётган 380 В кучланишли электр тармоғининг схемаси кўрсатилган. Тармоқда мис томирли кабеллардан фойдаланиш кўзда тутилган. Аг магистралда бир хил кесим юзали кабелдан фойдаланишга қарор қилинган. Тармоқнинг алоҳида линиялари узунликлари (м), шунингдек, юклар (кВт) расмда келтирилган.



Кабелларнинг кесим юзаларини рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича танланг. $\Delta U_{\text{пв}} = 5\%$ қабул қилинг.

Ечилиш. Кабелнинг индуктив қаршилигини нолга тенг деб қабул қиламиз. Бундай ҳолда кучланиш исрофи юкларнинг актив қувватлари ва линияларнинг актив қаршиликлари билан белгиланади. Ушбу масалада рухсат этилган кучланиш қуйдагига тенг:

$$\Delta U_{\text{пв}} = \frac{5}{100} \cdot 380 = 19 \text{ В.}$$

Кабелнинг кесим юзасини танлашда ушбу қиймат эътиборга оlinиши лозим. Аг магистрал учун кесим юзасини аниқлаймиз (мис учун солиштирма қаршилик $\rho = 18,8 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$):

$$F_{\text{А}} = \frac{\rho \cdot (P_{\text{Аб}} I_{\text{Аб}} + P_{\text{бв}} I_{\text{бв}} + P_{\text{вд}} I_{\text{вд}})}{\Delta U_{\text{пв}} \cdot U_{\text{ном}}} =$$

$$= \frac{18,8 \cdot [(10 + 15) \cdot 0,1 + (15 + 7,5) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{19 \cdot 380} = 30,8 \text{ мм}^2.$$

Кесим юзаси 35 мм^2 бўлган кабелни қабул қиламиз. Унинг

учун $r_0=0,602$ Ом/км. ε , σ ва δ нукталаргача кучланишнинг ҳақиқий исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_{\varepsilon} = \frac{r_0 \cdot (P_{10} l_{10} + P_{05} l_{05} + P_{12} l_{12})}{U_{ном}} =$$

$$= \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{380} = 18,7 < \Delta U_{\rho_{\text{в}}};$$

$$\Delta U_{\Delta \sigma} = \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15+12) \cdot 0,2] \cdot 10^3}{380} = 14,8 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\delta} = \frac{0,602 \cdot (10+15+7,5+15+12) \cdot 0,1 \cdot 10^3}{380} = 9,4 \text{ В}.$$

ва шохобча учун рухсат этилган кучланиш исрофи ва кабелнинг унга мос келувчи кесим юзасини топамиз (бунда бир текис тақсимланган юкلامни шохобчанинг ўртасида қўйилувчи жамланган юклама билан алмаштирилади):

$$\Delta U_{\rho_{\text{в}} \text{ пв}} = 19 - 14,8 = 4,2 \text{ В},$$

$$F_{\text{в}} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{4,2 \cdot 380} = 9,1 \text{ мм}^2.$$

Стандарт кесим юзаси 10 мм^2 ($r_0=2,1$ Ом/км) бўлган кабелни қабул қиламиз ва ε нуктагача ҳақиқий кучланиш исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_{\varepsilon} = 14,8 + \frac{2,1 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{380} = 14,8 + 4,15 = 18,95 \text{ В} \approx \Delta U_{\rho_{\text{в}}}.$$

бд шохобча учун ҳам шу каби ҳисоблашларни амалга оширамиз.

Рухсат этилган кучланиш исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_{\rho_{\text{в}} \text{ пв}} = 19 - 9,4 = 9,6 \text{ В},$$

кабелнинг кесим юзасини топамиз:

$$F_{\text{в}} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{9,6 \cdot 380} = 11,6 \text{ мм}^2.$$

Стандарт кесим юзаси 16 мм^2 ($r_0=1,32$ Ом/км) бўлган кабелни танлаймиз ва δ нуктагача ҳақиқий кучланиш исрофини топамиз:

$$\Delta U_{\delta} = 9,4 + \frac{1,32 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{380} = 9,4 + 7,82 = 17,2 \text{ В}.$$

7.6-масала. Максимал юкламаси 3200 кВт ва $\cos\varphi=0,8$ бўлган қурилаётган заводни туман подстанциясининг 10 кВ қучланишли шинасидан учта мис томирли кабеллардан қурилувчи иккита линия орқали таъминлаш кўзда тутилган. Ҳар иккаста кабель ҳам траншеяда бир-биридан 100 мм масофада ётқизилади. Трасса бўйича ер қатламнинг энг юқори ўртача ойлик ҳарорати 20°C. Заводдаги технологик жараён электр таъминотининг узлуксизлигини талаб этганлиги сабабли битта кабель ишдан чиққан тақдирда тўлиқ қувват иккинчи кабель орқали узатилиши шарт. Максимал юкламадан фойдаланиш вақти 4000 соат.

Кабелларнинг томирлари кесим юзаларини аниқланг.

Ечилиш. Лойиҳалаштирилаётган электр тармоғининг нормал иш ҳолатида кабеллардан оқувчи тоқларни ҳисоблаймиз:

$$I_{\text{конт}} = \frac{3200}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 115 \text{ A.}$$

$T_{\text{макс}} = 4000 \text{ соат}$ бўлганда мис томирли ва қоғоз изоляцияли кабеллар учун токнинг иқтисодий зичлиги $j_{\text{иқ}} = 2,5 \text{ А/мм}^2$, шу сабабли кабель томирининг кесим юзаси қуйидагича аниқланади:

$$F_{\text{иқ}} = \frac{115}{2,5} = 46 \text{ мм}^2.$$

Кабелнинг ушбу қийматга яқин бўлган стандарт кесим юзаси 50 мм² га тенг.

Ҳар бирининг кесим юзаси 50 мм² бўлган иккита кабелни ётқизишнинг қизил шартлари бўйича рухсат этилганлигини текшираемиз.

Ҳарорати 15°C бўлган ернинг тагида ётқизилган бундай кесим юзали битта кабель учун узок вақт давомида рухсат этилган энг катта ток 180 А ни ташкил этади. Бу қиймат ЭУТҚ (ИУЭ) да келтирилган рухсат этилган тоқлар жадвалида белгиланган. Бу ерда қуйидаги тўғрилашларни эътиборга оламиз: ернинг тагида ёнма-ён ётқизилувчи кабелларнинг сони бўйича; ернинг ҳарорати ва аварияни бартараф этиш вақтида рухсат этилган ўта юкланиш бўйича.

ЭУТҚдаги жадвалларга мувофиқ биринчи тўғрилаш коэффициенти 0,9, иккинчиси эса 0,94 га тенг эканлигини аниқлаймиз. Учинчи тўғрилаш коэффициенти кабелнинг авариядан олдинги ҳолатидаги юкланиш коэффициенти аниқлангандан сўнг топилиши мумкин. Иккита бир вақтда

ишловчи кабеллар учун узоқ вақт давомида рухсат этилган токни аниқлаймиз:

$$I_{\text{рух}} = 0,90 \cdot 0,94 \cdot 180 = 152 \text{ А.}$$

$I_{\text{кат}} = 0,68 I_{\text{рух}}$, яъни $I_{\text{рух}} > I_{\text{кат}}$ бўлганлиги сабабли лойиҳалаштирилаётган линиянинг нормал иш ҳолатида томирларининг кесим юзаси 50 мм^2 бўлган кабелларда томирларнинг ҳарорати рухсат этилган энг катта қийматдан кичик бўлиб, 60°C ни ташкил этади.

Максимал ва битта кабель ишдан чиққан ҳолатда рухсат этилган энг катта тоқлар ўртасидаги нисбатни аниқлаймиз. Кабелларнинг нормал иш шароитларидаги юкланиши бўйича топилаётган авария ҳолатида рухсат этилган ўта юкланиши 1,25 ни ташкил этади.

Бундай ҳолда

$$I_{\text{рух}} = 0,94 \cdot 1,25 \cdot 180 = 211 \text{ А,}$$

$$I_{\text{кат}} = 2 \cdot 115 = 230 \text{ А, демак } I_{\text{рух}} < I_{\text{кат. ав.}}$$

Аниқланган муносабат кўрсатадики, кесим юзаси 50 мм^2 бўлган кабеллар авария ҳолатида тўлиқ қувватнинг узатилишини таъминлай олмайди.

Томирларининг кесим юзаси 70 мм^2 бўлган кабелларни ётқизиш имкониятини кўриб чиқамиз. Бундай битта кабель учун ернинг ҳарорати 20°C ва авария ҳолатида мумкин бўлган ўта юкланишда рухсат этилган ток қуйидагига тенг:

$$I_{\text{рух}} = 0,94 \cdot 1,25 \cdot 215 = 252 \text{ А.}$$

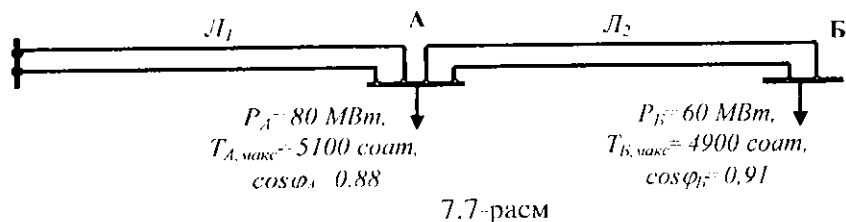
Бу ток заводнинг тўлиқ қуввати билан белгиланувчи энг катта тоқдан каттадир. Демак, томирларининг кесим юзаси 70 мм^2 бўлган кабеллар линиянинг нормал ва авария ҳолатларида ишлаш шароитларини қаноатлантиради. Шу сабабли лойиҳалаштирилаётган линия учун улар тақдирини лозим.

7.5. Мустақил ечин учун масалалар

1. 110 кВ номинал қучланишли икки занжирли ҳаво линияси орқали таъминланувчи истеъмолчининг максимал юкласи 40 МВт , актив қувват коэффиценти $0,9$ ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти 5500 соат .

Линия ўтказгичини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танланг ва уни тожланиш ва атроф-муҳитнинг ҳарорати $+20^\circ\text{C}$ бўлган ҳолатда қизиш шартлари бўйича текширинг.

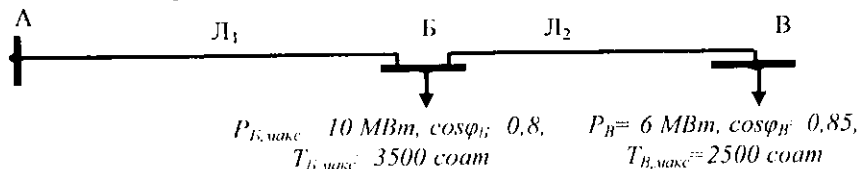
2. Схемаси 7.7-расмда тасвирланган 220 кВ номинал кучланишли электр тармоқ ҳаво линияларининг ўтказгичларининг токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танланг. Танланган ўтказгичларни тожланиш шарти ва атроф-муҳитнинг ҳарорати $+20^{\circ}\text{C}$ бўлган ҳолатда қизиш шартлари бўйича текширинг.



Истеъмолчиларнинг максимал юкламалари, актив қувват коэффициентлари ва максимал юкламадан фойдаланиш вақтлари схемада келтирилган

3. Схемаси 7.8-расмда тасвирланган 35 кВ номинал кучланишли электр тармоқнинг ҳаво линиялари ўтказгичларининг токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танланг.

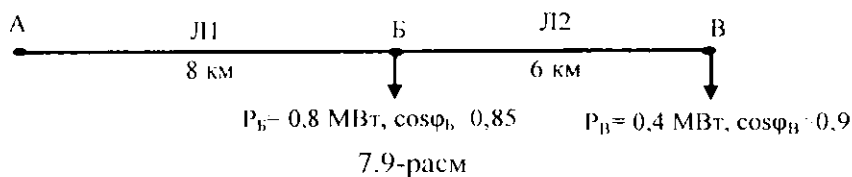
Истеъмолчиларнинг максимал юкламалари, актив қувват коэффициентлари ва максимал юкламадан фойдаланиш вақтлари схемада келтирилган.



4. Б ва В пунктларда жойлашган истеъмолчилар А подстанциянинг шинасидан битта 10 кВ номинал кучланишли ҳаво линияси орқали таъминланади (7.9-расм). Истеъмолчиларнинг максимал юкламалари ва актив қувват коэффициентлари ҳамда пунктлар ораларидаги масофалар схемада келтирилган. Ҳар иккала истеъмолчилар учун максимал юкламадан фойдаланиш вақти 2800 соат.

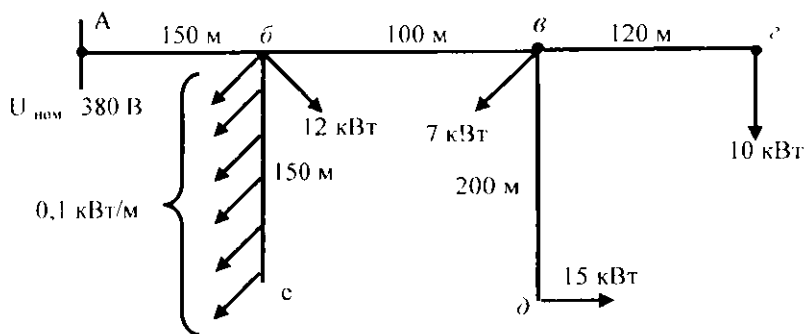
Линия ўтказгичларининг кесим юзаларини 5% га тенг бўлган рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича, бутун тармоқда

токнинг зичлиги ўзгармас бўлиши шартидан келиб чиқиб, танланг.



5. Схемаси 7.10-расмда тасвирланган 380 В номинал кучланишли электр тармоқни мис томирли кабеллардан қуриш назарда тутилиб, унинг *ад* магистралда бир хил кабелни қўллашга қарор қилинган. Алоҳида линияларнинг узунликлари ва юкламаларнинг қийматлари схемада келтирилган.

Кабелларнинг кесим юзаларини кучланиш исрофининг рухсат этилган қиймати бўйича танланг. Кучланиш исрофининг рухсат этилган қиймати $\Delta U_{\text{пов}} = 5\%$ қабул қилинсин.



6. Максимал юкламаси 3,5 МВт, актив қувват коэффициентини $\cos \varphi = 0.75$ ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти 4500 соат бўлган электр истеъмолчисини ўрта мис томирли кабеллардан тайёрланган 10 кВ номинал кучланишдаги икки занжирли кабель линияси орқали таъминлаш назарда тутилган. Кабеллар умумий траншеяда ораларида 100 мм масофа қолдириб ўтказилиши шарт. Трасса давомида тупроқнинг энг юқори ўртача ойлик ҳарорати $+20^{\circ}\text{C}$. Истеъмолчида ишлаб чиқариш жараёни

электр таъминотининг узилиб қолмаслигини талаб этади. Шу сабабли кабеллардан бири ишдан чиққан тақдирда истеъмотчига барча қувватни иккинчи кабель орқали узатиш таъминлангани шарт.

Кабель томirlарининг кесим юзасини танланг.

8. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИНИ КАМАЙТИРИШ ТАДБИРЛАРИ

Электр тармоқларида исрофларни камайитириш ёқилгини иқтисод қилишнинг муҳим манбаларидан биридир.

Электр энергия исрофларини таҳлил қилишда исроф қуйидаги турларга ажратилади:

исрофнинг ҳисобот қиймати;

исрофнинг ҳисобий ёки техник қиймати;

тижорий исрофлар.

Электр энергия исрофини камайитириш учун қўшлаб тадбирлар ишлаб чиқилган бўлиб, улардан энг оптималини танлаш масаласи мураккаб бўлганлиги учун уларни классификациялаш, яъни турларга ажратишга эҳтиёж ҳосил қилди. Бундай тадбирлар асосан уч гуруҳга бўлинади: ташкилий, техник ва электр энергияни ҳисобий ва техник ҳисобга олиш тизимларини такомиллаштириш тадбирлари.

Ташкилий тадбирларни жорий қилиш ҳеч қандай қўшимча капитал харажатларни талаб этмайди. Техник тадбирлар эса капитал харажатларни талаб этади.

8.1. Таъминловчи электр тармоқ ҳолатини реактив қувват, кучланиш ва трансформациялаш коэффицентлари бўйича оптималлаш

Ушбу параметрлар бўйича оптималлаш электр энергия исрофини камайитиришнинг асосий ташкилий тадбирларидан биридир. Оптималлаш масаласи электр тармоқнинг, барча техник шартлар бажарилгани ҳолда, исроф энг кичик бўлувчи барқарор ҳолатини аниқлашдан иборатдир.

Бу масалани ечишда барқарор ҳолатнинг тенгламаси кўринишидаги ва назорат қилинувчи катталикларнинг ўзгариш оралиқларига қўйилган тенгсизлик кўринишидаги чегаравий шартлар ҳисобга олинади. Мақсад (оптималлаштирилувчи)

функция бўлиб, тармоқдаги актив қувват исрофи функцияси ΔP ҳисобланади.

Оптималлаш масаласини ечишда барча тугунларнинг, шу жумладан ростлан воситаларига эга бўлмаган юклама тугунларининг кучланишлари, генерацияловчи манбаларнинг реактив қувватлари, трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентлари, шунингдек, назорат қилинувчи линияларнинг тоқлари бўйича чегаравий шартлар ҳисобга олинади. Шундай қилиб, ушбу масала математик кўринишда, умумий ҳолда, куйидагича ифодаланади:

$$\Delta P \rightarrow \min \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} W_i &= P_i - P_{ci} = 0, \quad i \in I + II; \\ W_i &= Q_i - Q_{ci} = 0, \quad i \in I_1 + II \end{aligned} \right\}; \quad (8.2)$$

$$U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max}, \quad i \in I + II; \quad (8.3)$$

$$Q_{i,\min} \leq Q_i \leq Q_{i,\max}; \quad i \in I - I_1; \quad (8.4)$$

$$K_{ll,\min} \leq K_{ll} \leq K_{ll,\max}; \quad l \in T_a; \quad (8.5)$$

$$\left. \begin{aligned} K'_{ll,\min} &\leq K'_{ll} \leq K'_{ll,\max} \\ K''_{ll,\min} &\leq K''_{ll} \leq K''_{ll,\max} \end{aligned} \right\} \quad l \in T_K; \quad (8.6)$$

$$P_{l,\min} \leq P_l \leq P_{l,\max} \quad l \in L_p; \quad (8.7)$$

$$I_{l,\min} \leq I_l \leq I_{l,\max} \quad l \in L_I; \quad (8.8)$$

Бу ерда P_i , Q_i , P_{ci} , Q_{ci} — i тугуннинг ҳисобланувчи ва берилган актив ва реактив қувватлари; U_i , $U_{i,\min}$, $U_{i,\max}$ — i тугундаги кучланиш, ҳамда унинг берилган минимал ва максимал чегаравий қийматлари; K_{ll} , K'_{ll} , K''_{ll} — l -шоҳобчадаги трансформатор комплекс трансформациялаш коэффициентининг модули, ҳақиқий ва маъхум қисмлари; P_l , I_l — актив қувват оқими ва токи назорат қилинувчи l -шоҳобчанинг ҳисобланувчи актив қуввати ва токи; I , II — генерация ва юклама тугунлари тўпламлари; I_1 — реактив қуввати ростланмайдиган генерация тугунлари тўплами; T_a , T_K — ростланадиган ҳақиқий ва комплекс трансформациялаш коэффициентларига эга бўлган шоҳобчалар тўпламлари; L_p , L_I — актив қувват оқими ва токи назорат қилинувчи шоҳобчалар тўпламлари.

(8.1)-(8.8) масалани ечишнинг энг қулай усули уни Лагранж функциясини тузиш орқали шартсиз оптималлаш

масаласига келтиришга асосланган. Бунда эрксиз номаълумлар бўйича ва функционал чегаравий шартларни жарима функцияси ёрдамида, тенглик кўрилишидаги чегаравий шартларни эса, номаълум Лагранж кўпайтувчилари орқали ҳисобга олиб, куйидаги шартсиз оптималлаш масаласи ҳосил қилинади:

$$L = \Delta P + III + \sum_{i \in I+II} \lambda_i^* W_i^* + \sum_{i \in I_1+II} \lambda_i^* W_i^* \quad (8.9)$$

Бу ерда $III = \sum_{i \in I+II} III_{L_i} + \sum_{i \in I} III_{Q_i} + \sum_{i \in I_p} III_{P_i} + \sum_{i \in I_j} III_{J_i}$ бўлиб, у мос

чегаравий шарт бажарилганда полга тенг ва бузилганда бузилиш даражасига пропорционал тарзда тез оғтувчи жарима функцияларининг йиғиндиси; λ_i^* , λ_i^* - номаълум Лагранж кўпайтувчилари.

Оптималланувчи параметрларнинг қийматлари, масалан оптимал кучланишлар, (8.9) функция минимумлигининг зарурий шартидан ҳосил қилинган куйидаги тенгламалар системасини ечиш асосида топилади:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial U_i} = P_i - P_{iv} - Q_i - Q_{iv} = 0, & i \in I+II \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = W_i^* - Q_i - Q_{iv} = 0, & i \in I_1+II \end{cases} \quad (8.10)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \rho \sum_{j \in I+II} \frac{\partial W_j^*}{\partial U_i} + \rho \sum_{j \in I_1+II} \frac{\partial W_j^*}{\partial U_i} = 0, & i \in I+II \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \rho \sum_{j \in I+II} \frac{\partial W_j^*}{\partial U_i} + \rho \sum_{j \in I_1+II} \frac{\partial W_j^*}{\partial U_i} = 0, & i \in I_1+II \end{cases} \quad (8.11)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \rho \sum_{j \in I+II} \frac{\partial W_j^*}{\partial U_i} + \rho \sum_{j \in I_1+II} \frac{\partial W_j^*}{\partial U_i} = 0, & i \in I+II \end{cases} \quad (8.12)$$

Бу ерда P_i , Q_i , P_{iv} , Q_{iv} - i -туғуннинг ҳисобий ва берилган актив ва реактив қувватлари; U_i , δ_i - i -туғун комплекс кучланишининг модули ва фазаси.

Ҳисоблашларни қулайлаштириш мақсадида ҳар бир яқинлашишда юқоридаги системани ечиш учта - (8.10), (8.11), (8.12) подсистемаларни кетма-кет тарзда ечиш асосида амалга оширилади. (8.10) подсистемани ечиш натижасида барча туғунлар кучланишларининг фазалари ва модуллари (кучланиши

оптимальланувчи туғундан ташқари); (8.11) подсистемани ечини натижасида номаълум Лагранж кўпайтувчилари ва (8.12) подсистемани ечини натижасида реактив қувват манбаига эга бўлган туғунларнинг оптимал кучланишлари модуллари топилади.

Ёпиқ контурларнинг ножинслилигини камайтириш. Электр истеъмолчиларини таъминлашда юқори ишончликни таъминлаш мақсадида ёпиқ тармоқлардан фойдаланилади. Бундан ташқари ёпиқ тармоқлардан фойдаланилганда, исрофларни очик тармоқлардагига нисбатан камайтириш имкониятлари пайдо бўлиши мумкин.

Ёпиқ тармоқ бир жинсли бўлганда улардан истеъмолчиларга қувват узатиш энг кам исрофларда амалга ошади. Бундай тармоқлар контурни ташкил этувчи шохобчаларнинг актив ва реактив қаршиликларининг нисбатлари бир хиллиги билан характерланади, яъни

$$\frac{x_i}{r_i} = \text{const.}$$

Ножинсли (бир жинсли бўлмаган) ёпиқ электр тармоқларда контурни ташкил этувчи шохобчаларнинг қаршиликлари нисбатлари турличадир. Бундай тармоқларда қувватларнинг табиий тақсимланиши тўла қаршилик $z=r+jx$ бўйича амалга ошади.

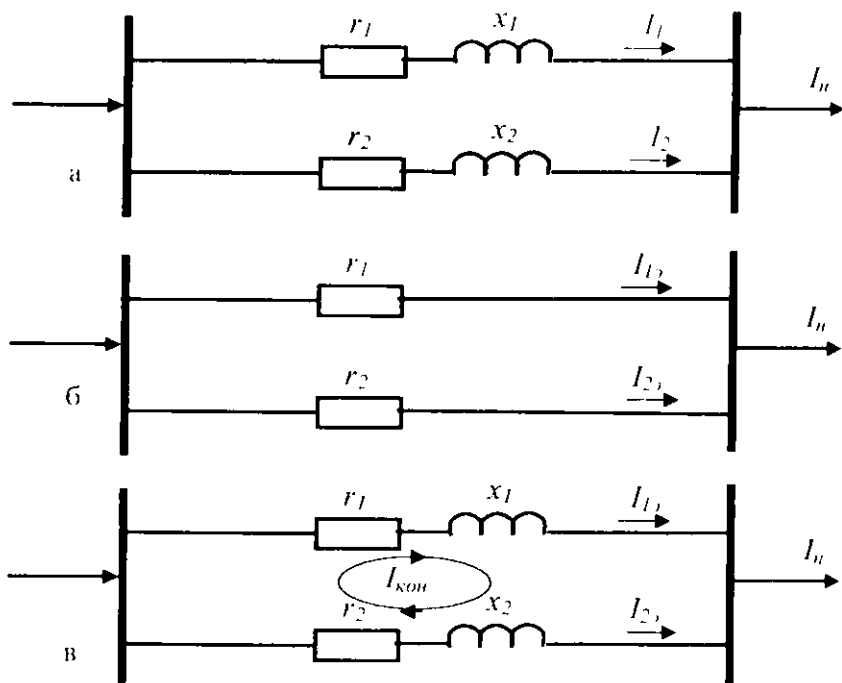
Ёпиқ тармоқда қувватнинг ундаги исрофни энг кам бўлиш ҳолатига мос келувчи иқтисодий тақсимланиши уни фақат актив қаршилик бўйича тақсимланиши билан бир хил бўлади.

Ножинсли ёпиқ электр тармоқда қувватлар оқимининг иқтисодий тақсимлаш имкониятларини ўрганиш учун бир контурли ёпиқ тармоқни кўриб ўтамиз (8.1,а-расм).

Схемаларда кўрсатилган I_1, I_2, I_3, I_2 тоқлар контурда қувватлар табиий ва иқтисодий тақсимланган ҳолатларга мос келиб, мазкур тармоқ учун уларнинг қийматлари Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонуниларидан фойдаланиб, қуйидагича ҳисобланиши мумкин:

$$I_1 = I_n \cdot \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)}, \quad I_2 = I_n \cdot \frac{r_1 + jx_1}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)},$$

$$I_{1'} = I_n \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad I_{2'} = I_n \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$



8.1-расм

Агар 8.1,а-расмда тасвирланган контурда тармоқнинг ожинселилиги туфайли тенглаштирувчи ток $I_{кон}$ оқади деб ҳисобласак (8.1,в-расм), у ҳолда табиий ва иқтисодий тақсимланиш ҳолатлари учун тоқлар қуйидаги ифодалар билан боғланган:

$$I_1 = I_{12} + I_{кон}; I_2 = I_{22} - I_{кон}.$$

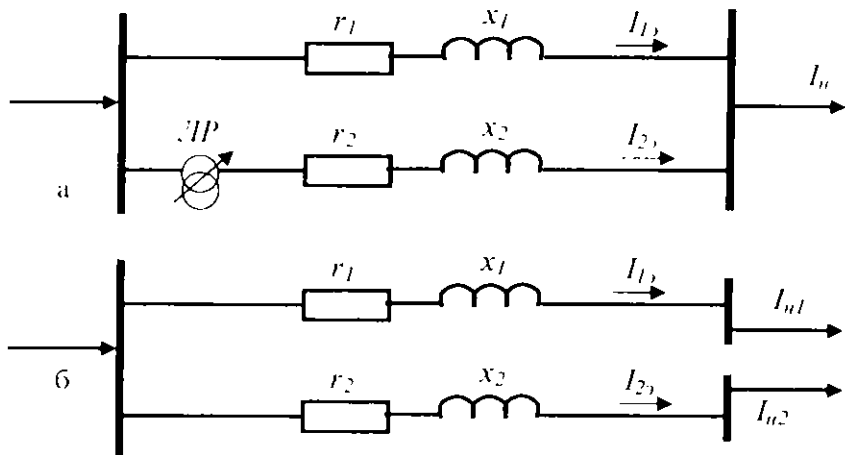
Шундай қилиб, ёниқ электр тармоқларда қувват исрофини минималлаш учун уларда тенглаштирувчи тоқларни нолга келтириш лозим. Бу тармоқнинг ожинселилигини камайитириш ёки тенглаштирувчи тоқларни компенсациялаш орқали амалга оширилади.

Тармоқнинг ожинселилигини камайитириш ўтказгичларнинг кесим юзаларини ўзгартириш ва БКҚ (бўйлама компенсацияловчи қурилма) улаш орқали амалга оширилиши мумкин.

Тенглаштирувчи контур тоқларини компенсациялаш икки йўл билан амалга оширилиши мумкин:

1) компенсацияловчи тенглаштирувчи тоқларни ҳосил қилиш орқали (контурда қувват оқимини ростлаш);

2) тенглаштирувчи тоқларини йўлини узиш орқали (тармоқ контурларини очиш орқали) (8.2,б-расм).



8.2-расм

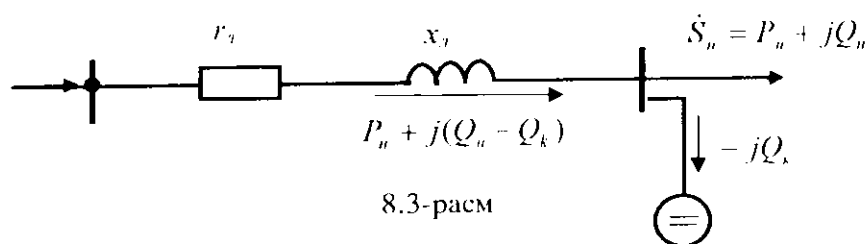
Компенсацияловчи тенглаштирувчи тоқларни ҳосил қилиш контурларга қўшимча ЭЮК киритиш орқали амалга оширилади. Ўз навбатида қўшимча ЭЮК линия ростлагичлари ҳисобига, яъни кучланишни бўйлама-кўндаланг ростлаш ёки мувозанатлашмаган трансформациялаш коэффициентлари ҳисобига ҳосил қилинади (8.2,а-расм).

Таъминловчи электр тармоқларда қўшимча ЭЮКнинг қийматини ёки контурни очиш нуктасини аниқлаш учун унинг ҳолатини оптимallasиш масаласи ечилади. Бунинг учун юқорида келтирилган алгоритмдан фойдаланиш самаралидир.

8.2. Тақсимловчи электр тармоқларда қувват ва энергия исрофини камайитириш

Тақсимловчи электр тармоқлар таъминловчи тармоқлардан фарqli равишда доимо очик ҳолда ишлайди. Шу сабабли уларда исрофини камайитиришнинг энг самарали ва кенг фойдаланилувчи

усули реактив қувватни компенсациялашга асосланган. Ушбу усул бўйича исрофни камайтириш имкониятлари билан схемаси 8.3-расмда тасвирланган битта линиядан иборат бўлган тармоқ мисолида танишамиз.



Маълумки, реактив қуввати компенсацияланмаган линияда актив қувват исрофи қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} \cdot r_l.$$

Линиянинг охирида уланган истеъмолчиларнинг ёнида компенсацияловчи қурилма улангандан сўнг юкларнинг умумий (компенсатор билан бирга ҳисобланганда) актив қувват коэффициентини $\cos\varphi$ ошади ва линиядаги актив қувват исрофини камаяди:

$$\Delta P = \frac{P_n^2 + (Q_n - Q_k)^2}{U_n^2} \cdot r_l.$$

Компенсаторнинг тармоқдаги қувват исрофини энг кам бўлишини таъминловчи оптимал қувватни исроф функцияси минимумлигининг зарурий шarti, яъни у бўйича хусусий ҳосиланинг нолга тенглигидан фойдаланиб топиш қулайдир:

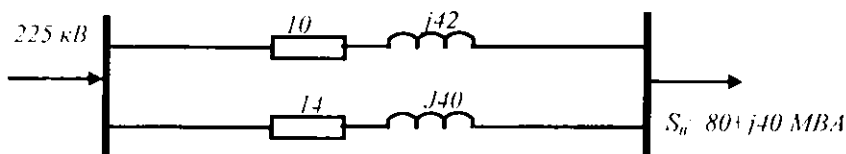
$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(Q_n - Q_k)}{U_n^2} \cdot r_l = 0.$$

Шундай қилиб, кўриладиган тармоқ учун $Q_{k, \text{опт}} = Q_n$.

Демак, ушбу ҳолатда юкларнинг реактив қуввати компенсатор ёрдамида тўла компенсацияланганда (линия орқали истеъмолчиға фақат актив қувват узатишганда) тармоқдаги актив қувват исрофи минимал бўлади.

8.3. Масалалар ечиш намуналари

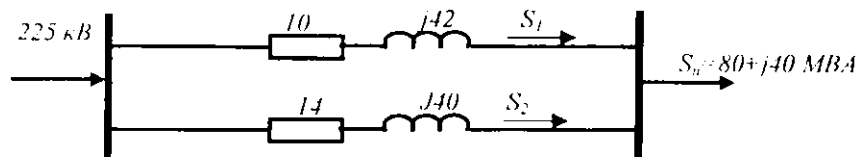
8.1-масала. Схемаси 8.4-расмда келтирилган ёпиқ электр тармоқда қувватлар оқимининг табиий ва иқтисодий тақсимланишини ҳисобланг. Тармоқнинг минимал исрофлар билан ишлаш ҳолатини контурни очиш орқали таъминланг.



8.4-расм

Ечиш. Тармоқнинг шохобчаларида қувват оқимининг тақсимланишини Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонуларидан фойдаланиб толамиз.

Табиий тақсимланишни ва бу ҳолатдаги актив қувват исрофини ҳисоблаймиз (8.5-расм):



8.5-расм

$$\dot{S}_1 = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{14 - j40}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 38,6 + j21,86 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_2 = \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{10 - j42}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 41,4 + j18,14 \text{ MVA}.$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_n^2} \cdot r_1 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_n^2} \cdot r_2 = \\ &= \frac{38,6^2 + 21,86^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{41,4^2 + 18,14^2}{220^2} \cdot 14 = 1,007 \text{ MBm} \end{aligned}$$

Иқтисодий тақсимланишни ва бу ҳолатдаги актив қувват исрофини ҳисоблаймиз:

$$\dot{S}_{L_1} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{14}{24} \cdot (80 + j40) = 46,67 + j23,33 \text{ МВА},$$

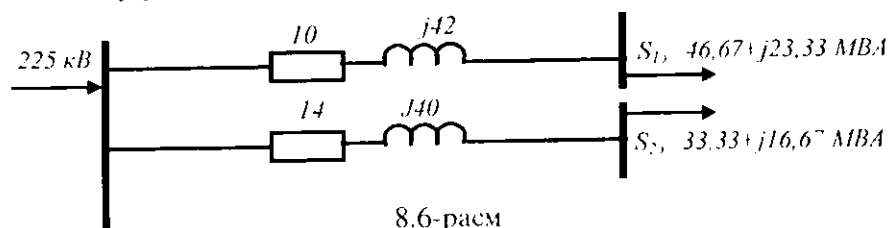
$$\dot{S}_{L_2} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{10}{24} \cdot (80 + j40) = 33,33 + j16,67 \text{ МВА},$$

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \frac{P_{L_1}^2 + Q_{L_1}^2}{U_n^2} \cdot r_1 + \frac{P_{L_2}^2 + Q_{L_2}^2}{U_n^2} \cdot r_2 = \\ &= \frac{46,67^2 + 23,33^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{33,33^2 + 16,67^2}{220^2} \cdot 14 = 0,962 \text{ МВт} \end{aligned}$$

Шундай қилиб, ушбу электр тармоғида қувват оқимининг иқтисодий тақсимланиши натижасида актив қувват исрофи

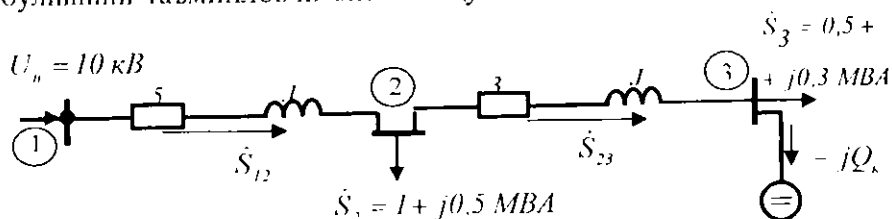
$\Delta \Delta P = \Delta P - \Delta P_s = 1,007 - 0,962 = 0,045 \text{ МВт}$ га, яъни 4,5% га камаяди.

Ушбу иқтисодий ҳолатни таъминлаш учун контурни юклама тугунида 8.6-расмда тасвирланган кўринишда очамиз.



8.6-расм

8.2-масала. Схемаси 8.7-расмда келтирилган очик электр тармоқнинг чекка пунктидаги истеъмолчисида уланувчи реактив қувват компенсаторнинг тармоқдаги исрофининг минимал бўлишини таъминловчи оптимал қувватини топиш.



8.7-расм

Ечиш. 1-2 ва 2-3 шохобчалардаги қувватлар оқимларини 2 ва 3- туғулар учун Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланиб ифодалаймиз:

$$\dot{S}_{12} = 1.5 + j(0.8 - Q_k),$$

$$\dot{S}_{23} = 0.5 + j(0.3 - Q_k).$$

Электр тармоқдаги актив қувват исрофини компенсаторнинг номаълум қуввати орқали ифодалаймиз:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_n^2} \cdot r_{12} + \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_n^2} \cdot r_{23} = \\ &= \frac{1.5^2 + (0.8 - Q_k)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0.5^2 + (0.3 - Q_k)^2}{10^2} \cdot 3 \end{aligned}$$

Компенсаторнинг оптимал реактив қувватини актив қувват исрофи функцияси минимумлигининг зарурий шартидан фойдаланиб топамиз:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = \frac{2(0.8 - Q_k)}{100} \cdot 5 - \frac{2(0.3 - Q_k)}{100} \cdot 3 = 0,$$

$$Q_{k, \text{опт}} = \frac{0.08 + 0.018}{0.1 + 0.06} = 0.612 \text{ МВАР} = 612 \text{ кВАР}.$$

Реактив қувватни компенсациялашдан олинувчи самарани баҳолаш учун дастлабки ва компенсаторни улашдан кейинги ҳолатлардаги актив қувват исрофларини солиштирамиз.

Дастлабки тармоқ учун:

$$\Delta P = \frac{1.5^2 + 0.8^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0.5^2 + 0.3^2}{10^2} \cdot 3 = 0.155 \text{ МВт};$$

Реактив қуввати компенсацияланган тармоқ учун:

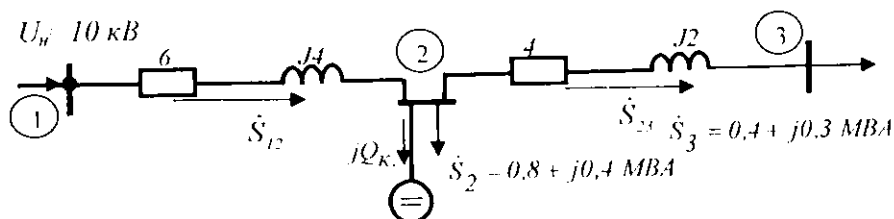
$$\Delta P_1 = \frac{1.5^2 + (0.8 - 0.612)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0.5^2 + (0.3 - 0.612)^2}{10^2} \cdot 3 = 0.117 \text{ МВт}.$$

Шундай қилиб тармоқ охирида реактив қувватни оптимал компенсациялаш натижасида ундаги исроф

$\Delta \Delta P = \Delta P - \Delta P_1 = 0.155 - 0.117 = 0.038 \text{ МВт} = 38 \text{ кВт}$ га, яъни 24,5% га камаяди.

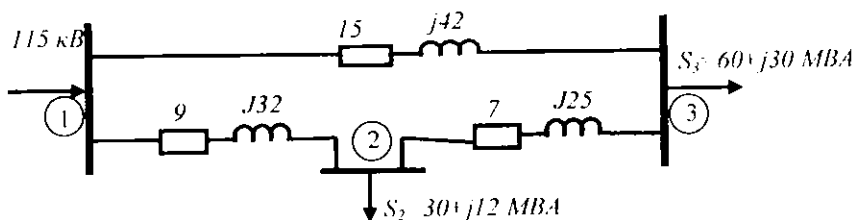
8.4. Мустиқил ечиш учун масалалар

1. Схемаси 8.8-расмда келтирилган электр тармоқда компенсаторнинг реактив қувватини исрофни минимал бўлиш шarti бўйича аниқланг.



8.8-расм

2. Схемаси 8.9-расмда келтирилган ёпиқ электр тармоқда қувватлар оқимининг табиий ва йқтисодий тақсимланишини ҳисобланг. Тармоқнинг минимал исрофлар билан ишлаш ҳолатини контурни очиб орқали таъминланг.



8.9-расм

1. ХАВО ВА КАБЕЛЛИ ЭЛЕКТР УЗАТИШ ЛИНИЯЛАРИНИНГ ТЕХНИК МАЪЛУМОТЛАРИ

35 ва 110 кВ номинал қўчланишдаги пўлаталюминий ўтказичли хаво линияларининг ҳисобий маълумотлари (100 км учун)

Ўтказичнинг номинал кесим юзаси, мм ²	$r_{0,0}$, Ом, +20° С да	35 кВ	110 кВ		
		x_0 , Ом	x_0 , Ом	b_0 , 10 ⁻⁴ , См	q_0 , МВАР
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,40
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,50
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	3,55
150/24	19,8	40,6	42,0	2,70	3,60
185/29	16,2	-	41,3	2,75	3,70
240/32	12,0	-	40,5	2,81	3,75

I.3- жадавал
 Хаво линиялари пўлаталоминаний ўтказгичларининг диаметрлари ва узоқ вақт довомида рухсат
 этилган тоқлари

Қесим юзаси, мм ²	70/11	95/16	120/19	150/24	185/29	240/32	240/39
Диаметр, мм	11,4	13,5	15,2	17,1	18,8	21,6	21,6
Тоқ, А	265	330	390	450	510	605	610

Қесим юзаси, мм ²	240/56	300/39	300/48	300/66	330/43	400/51	500/64
Диаметр, мм	22,4	24,0	24,1	24,5	25,2	27,5	30,6
Тоқ, А	610	710	690	680	730	825	945

Қоғоз изоляциялы кабелдарнинг ҳисобий маълумотлари (1 км учун)

Томирнинг қесим юзаси, мм ²	г ₀ Ом		6 кВ		10 кВ		20 кВ		35 кВ	
	Мис	Алю миний	X ₀ Ом	Q ₀ кВАР	X ₀ Ом	Q ₀ кВАР	X ₀ Ом	Q ₀ кВАР	X ₀ Ом	Q ₀ кВАР
10	1,84	3,1	0,11	2,3	-	-	-	-	-	-
16	1,15	1,94	0,102	2,6	0,113	5,9	-	-	-	-
25	0,74	1,24	0,091	4,1	0,099	8,6	0,135	24,8	-	-
35	0,52	0,89	0,087	4,6	0,095	10,7	0,129	27,6	-	-
50	0,37	0,62	0,083	5,2	0,09	11,7	0,119	31,8	-	-
70	0,26	0,443	0,08	6,6	0,086	13,5	0,116	35,9	0,137	86
95	0,194	0,326	0,078	8,7	0,083	15,6	0,110	40,0	0,126	95
120	0,153	0,258	0,076	9,5	0,081	16,9	0,107	42,8	0,120	99
150	0,122	0,206	0,074	10,4	0,079	18,3	0,104	47,0	0,116	112
185	0,099	0,167	0,073	11,7	0,077	20,0	0,101	51,0	0,113	115
240	0,077	0,129	0,071	13,0	0,075	21,5	0,098	52,8	0,111	119
300	0,061	0,103	-	-	-	-	0,095	57,6	0,097	127
400	0,046	0,077	-	-	-	-	0,092	64,0	-	-

1.5- жадавал

110 ва 220 кВ номинал қўчланишдаги мой тўлдирилган ва пластмасса изоляцияли кабелларнинг хисобий маълумотлари (1 км учун)

Томирнинг кесим юзаси, мм ²	Мой тўлдирилган				Пластмасса изоляцияли					
	r ₀ , Ом	110 кВ		220 кВ		r ₀ , Ом	110 кВ		220 кВ	
		X ₀ Ом	q ₀ , кВт/ар	X ₀ Ом	q ₀ Ом		X ₀ Ом	q ₀ , кВт/ар	X ₀ Ом	q ₀ , кВт/ар
150	0,122	0,200	1180	0,160	3600	-	-	-	-	-
185	0,099	0,195	1210	0,155	3650	-	-	-	-	-
240	0,077	0,190	1250	0,152	3780	-	-	-	-	-
270	0,068	0,185	1270	0,147	3850	0,092	0,120	450	0,120	1100
300	0,061	0,180	1300	0,145	3930	-	-	-	-	-
350	0,051	0,175	1330	0,140	4070	0,086	0,116	755	0,116	1900
400	0,046	0,170	1360	0,135	4200	-	-	-	-	-
425	0,042	0,165	1370	0,132	4260	-	-	-	-	-
500	0,037	0,160	1420	0,128	4450	0,060	0,110	830	0,110	2100
550	0,032	0,155	1450	0,124	4600	-	-	-	-	-
625	0,029	0,150	1500	0,120	4770	0,048	0,1	1040	0,1	2600
700	0,026	0,145	1550	0,116	4920	-	-	-	-	-
800	0,022	0,140	1600	0,112	5030	0,040	0,1	1250	0,1	3700

6 ва 10 кВ қўтанишли уч фазали икки қўлғамли трансформаторлар

Тип	S _{ном} кВА	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар			
		Чулғамларнинг ном.		U _ф кВ	ΔP _н кВт	ΔP _с кВт	I _ф %	R _ф Ом	X _ф Ом	ΔQ кВАР	
		қўлғанишлари, кВ									
		ЮН	КН								
ТМ - 25/6	25	6,3	0,4; 0,23	4,5-4,7	0,6-0,69	0,105-0,125	3,2	39,6	54	0,8	
ТМ - 25/10	25	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	0,6-0,69	0,105-0,125	3,2	110	150	0,8	
ТМ - 40/6	40	6,3	0,23	4,5	0,88	0,24	4,5	19,8	35,4	1,8	
ТМ - 40/10	40	10	0,4	4,5-4,7	0,88-1	0,15-0,18	3,0	62,5	99	1,2	
ТМ - 63/6	63	6,3	0,4; 0,23	4,7	1,28-1,47	0,36	4,5	13,3	23,2	1,76	
ТМ - 63/10	63	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,28-1,47	0,22	2,8	37	70,5	1,76	
ТМ - 100/6	100	6,3	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,97-2,27	0,31-0,365	2,6	8,18	14,7	2,6	
ТМ - 100/10	100	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	1,97-2,27	0,31-0,365	2,6	22,7	40,8	2,6	
ТМ - 160/6-10	160	6,3/10	0,4; 0,23	4,5-4,7	2,65-3,1	0,46-0,54	2,4	4,35	10,2	3,8	
ТМ - 250/10	250	10	0,4; 0,23	4,5-4,7	3,7-4,2	1,05	2,3-3,7	6,7	15,6	9,2	
ТМ - 400/10	400	10	0,23; 0,69	4,5	5,5-5,9	0,92-1,08	2,1-3,0	3,7	10,6	12,0	
ТМ - 630/10	630	10	3,15; 0,23; 0,4; 0,69	5,5	7,6-8,5	1,42-1,68	2,0-3,0	2,12	8,5	18,9	

II.1 – жадвалнинг давоми

Тип	S _н , кВА	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар			
		Чўлғамларнинг ном.		U _н %,	ΔP, кВт	IP, кВт	I _н %	R _н Ом	X _н Ом	ΔQ, кВАР	
		қучланишлари, кВ									
		ЮН	КН								
ТМ 1000/6	1000	6,3	0,4; 0,69	8,0	12,2	2,3-2,75	1,5	0,44	2,84	15	
ТМ 1000/10	1000	10	0,4; 0,69; 0,525; 3,15	5,5	12,2-11,6	2,1-2,45	1,4-2,8	1,22	5,35	26	
ТМ 1600/10	1600	10	0,4; 0,69; 3,15	5,5	18,0	2,8-3,3	1,3-2,6	0,7	3,27	41,6	
ТМ 2500/10	2500	10	0,69; 3,15	5,5	25,0-23,5	3,9-4,6	1,0	0,40	2,16	25	

II.2 – жадвал
10 ва 20 кВ қучланишли уч фазали икки чўлғамли трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар			
		Чўлғамларнинг ном.		U _н %	ΔP _н кВ _н	ΔP _н кВт	I _н %	R _н Ом	X _н Ом	ΔQ _н кВАР	
		қутилишлари, кВ									
		ЮН	КН								
		ТМН(ТМ)-4000/10	4,0	10,5	6,3(3,15)	6,5	33,5	5,98	0,9	0,24	1,8
ТМН(ТМ)-6300/10	6,3	10,5	6,3(3,15)	6,5	46,5	8,33	0,8	0,13	1,14	50,4	
ТД-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	7,5	92	29	3,0	0,1	0,82	300	
ТДН-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	14,4	96	28	4,00	0,1	1,6	400	

II.2 – жадвизининг давоми

Тип	$S_{\text{мол}}$ МВА	Каталог маълумотлари					Ҳисобий маълумотлар			
		ЮН	КН	U_n , %	ΔP_n , кВ $\cdot$ м	ΔP , кВ $\cdot$ м	I_n , %	R_n , Ом	X_n , Ом	ΔQ , кВАР
ТДНС-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	-	-	-	-	-	-	-
ТДНС-16000/10	16	10,5	6,3	-	-	-	-	-	-	-
ТМ - 630/20	0,63	20	0,4; 6,3; 10,5	6,5	6,3	2,45	1,97	7,0	45,5	12,4
ТМН - 630/20	0,63	20	6,3; 10,5	6,5	7,6	2,0	2,0	8,5	45,5	12,6
ТМН(ТМ)-1000/20	1,0	20	0,4; 0,63; 10,5	6,5	11,9	2,75	1,5	5,24	29,2	15
ТМН(ТМ)-1600/20	1,6	20	0,63; 10,5	6,5	17,2	3,65	1,4	2,96	17,8	22,4
ТМН(ТМ)-2500/20	2,5	20	6,3; 11	6,5	24,2	5,1	1,1	4,7	11,4	27,5
ТМН(ТМ)-4000/20	4,0	20	6,3; 10,5	7,5	33,5	6,7	1,0	0,91	8,3	40
ТМН(ТМ)-6300/20	6,3	20	6,3; 10,5	7,5	46,5	9,4	0,9	0,52	5,2	56,7
ТРДН-25000/20	25	20	6,3; 10,5	9,5	145	29	0,7	0,1	1,6	175
ТРДН-32000/20	32	20	6,3; 10,5	11,5	180	33	0,7	0,08	1,6	224
ТРДН-40000/20	40	20	6,3; 6,3	14	225	39	0,65	0,06	1,55	260
ТРДН-63000/20	63	20	10,5; 10,5	11,5	280	55	0,6	0,03	0,88	378
ТМ - 63/20	0,063	10	0,23; 0,4	5,3	1,47	0,29	2,8	164,0	370	1,76
ТМ(ТМН)-100/20	0,1	20	0,23; 0,4	6,65	2,12	0,46	4,16	94,5	293	4,16
ТМ(ТМН)-160/20	0,16	20	0,23; 0,4	6,65	2,8	0,66	2,4	49,5	182	3,84
ТМ(ТМН)-250/20	0,25	20	0,23; 0,4	6,65	3,95	0,96	2,3	27,6	116	5,75
ТМ(ТМН)-400/20	0,4	20	0,23; 0,4	6,5	5,5	1,35	2,1	15,2	73	8,4

Эслатмалар: 1. ТМ ва ТД типлиги трансформаторлар ростлаш қурilmасига эга эмас. ТМН, ТДН ва ТРДН типлиги трансформаторлар юқори томонда ростлаш диапазонини $+10 \times 1,5\%$ дан $-8 \times 1,55\%$ гача бўлган ЮОР қурilmасига эга. 2. Қўйи ҳулалари парцелланган ТРДН типлиги трансформаторлар учун $X_{\text{кв}}=0$; $X_{\text{кв}}=X_{\text{кв}}=2X_{\text{лр}}$

35 кВ кучланишли уч фазали иккинчи чўлғамли трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Ростлаш четарала ри	Каталог маълумотлари					Хисобни маълумотлар									
			Чўлғамларнинг ном.	U _н , %	ΔP _н , кВт	ΔP _т , кВт	I _н , %	R _т , Ом	X _т , Ом	I _н , кВАР							
											кучланишлари, кВ						
											ЮН	КН					
ТМ-100/35	0.1	±2 Ч1,5%	35	0.4	6.5	1.9	0.5	2.6	241	796	2.6						
ТМ-160/35	0.16	±2 Ч1,5%	35	0.4; 0.69	6.5	2.6; 3.1	0.7	2.4	127; 148	498	3.8						
ТМ-250/35	0.25	±2 Ч1,5%	35	0.4; 0.69	6.5	3.7; 4.2	1.0	2.3	72; 82	318	5.7						
ТМН (ТМ)-400/35	0.4	±6 Ч1,5%	35	0.4; 0.69	6.5	7.6; 8.5	1.9	2.0	23.5; 26.2	126	12.6						
ТМН (ТМ)-630/35	0.63	±6 Ч1,5%	35	0.4; 0.69; 6.3; 11	6.5	11.6; 12.2	2.7	1.5	14.0; 14.2	79.6	15						
ТМН (ТМ)-1000/35	1	±6 Ч1,5%	35	6.3; 11	6.5	16.5; 18	3.6	1.4	7.9; 8.6	49.8	22.4						
ТМН (ТМ)-1600/35	1.6	±6 Ч1,5%	35	6.3; 11	6.5	23.5; 26	5.1	1.1	11.2; 12.4	49.2	17.6						
ТМН (ТМ)-2500/35	2.5	±6 Ч1,5%	35	6.3; 11	6.5	23.5; 26	5.1	1.1	4.6; 5.1	31.9	27.5						
ТМН (ТМ)-4000/35	4.0	±6 Ч1,5%	35	6.3; 11	7.5	33.5	6.7	1.0	2.6	40	40						
ТМН (ТМ)-6300/35	6.3	±6 Ч1,5%	35	6.3; 11	7.5	46.5	9.2	0.9	1.4	14.6	80						
ТМН-10000/35	10	±9 Ч1,3%	36.75	6.3; 10.5	7.5	65	14.5	0.8	0.88	10.1	80						
ТД-10000/35	10	±2 Ч2,5%	38.5	6.3; 10.5	7.5	65	14.5	0.8	0.96	11.1	80						
ТД-16000/35	16	±2 Ч2,5%	38.5	6.3; 10.5	8.0	90	21	0.6	0.52	7.4	120						

Эслатма: 1. Кучланишнинг ростлаш юқори томонда жойлашган ЮОР ёки КАУ қўрилмаси ёрдамида амалга оширилади. 2. Кавсда кўрсатилган ТН типидagi трансформаторлар юқори томонда ростлаш диапазони ±2Ч2,5% булган КАУ қўрилмасига эга.

110 кВ қуцлаништли уч фазали икки чулғамли трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Ростлаш четаралари	Каталог маълумотлари						Хисобий маълумотлар		
			Чулғамларинин номинал қуцланишлари, кВ		U _к %	ΔP _к кВт	ΔP _н кВт	I _к %	R _к Ом	X _к Ом	ΔQ _к кВАР
			ЮН	КН							
ГМН-2500/110	2,5	±10×1,5% - 8×1,5%	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
ТМН-6300/110	6,3	±9×1,78%	115	6,6; 11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
ГДН-10000/110	10	±9×1,78%	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
ГДН-16000/110	16	±9×1,78%	115	6,6; 11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ГРДН-25000/110	25	±9×1,78%	115	6,3; 6,3; 6,3; 10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
ГДНЖ-25000/110	25	±9×1,78%	115	27,5	10,5	120	30	0,7	2,5	55,5	175
ГРДН-40000/110	40	±9×1,78%	115	6,3; 6,3; 6,3; 10,5; 10,5; 10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
ГД-40000/110	40	±2×2,5%	121	3,15; 6,3; 10,5	10,5	160	50	0,7	1,46	38,4	260

11.11 - жиналгаворж - 4.11

Тип	S _н , МВА	Росглаш четаратари	Каталог маълумотлари					Ҳисобий маълумотлар				
			ЮН	КН	U _н , кВ	ΔP _н , кВт	ΔP _к , кВт	I _н , А	R _н , Ом	X _н , Ом	ΔQ _н , кВАР	
ТРДЦН-63000/110	63	± 9×1.78 %	115	6.3/6.3; 6.3/10.5; 10.5/10.5	10.5	260	59		0.6	0.87	22	410
ТРДЦН-80000/110	80	± 9×1.78 %	115	6.3/6.3; 6.3/10.5; 10.5/10.5	10.5	310	70		0.6	0.6	17.4	480
ТРДЦНК-80000/110	80	± 9×1.78 %	115	6.3/6.3; 6.3/10.5; 10.5/10.5	10.5	245	59		0.6	0.8	22	378
ТДЦ-80000/110	80	± 2×2.5 %	121	6.3/10.5; 13.8	10.5	310	70		0.6	0.71	19.2	480
ТРДЦН-125000/110	125	± 9×1.78 %	115	10.5/10.5	10.5	400	100		0.55	0.4	11.1	687.5
ТДЦ-125000/110	125	± 2×2.5 %	121	10.5/13.8	10.5	400	120		0.55	0.4	11.1	687.5
ТДЦ-200000/110	200	± 2×2.5 %	121	13.8/15.75; 18	10.5	550	170		0.5	0.23	7.7	1000
ТДЦ-250000/110	250	± 2×2.5 %	121	15.75	10.5	640	200		0.5	0.15	6.1	1250
ТДЦ-400000/110	400	± 2×2.5 %	121	20	10.5	900	320		0.45	0.08	3.8	1800

Эскертмә: 1. ЮОР күйгән мәснә күйи күчүләнш төмөнндә булган ТМН-2500/110 ва юкөрү күчүләнш төмөнндә КАУ курымасн ТДитилган трансформаторлардан ташкарн барча трансформаторго кард күчүләншнни рөстләш юкөрүн күчүләнш чүгүләншннн нөйргэлдә жоюлган ЮОР күйгән мәсн әрәмдә амалга өшүриләш. 2. Куйи төмөнндә номнал күчүләнш 38,5 кВ ва 27,5 кВ (әлектрләшүрилган төмөр нүзүләр үчүн) булан ТРДН илтпдиги трансформаторлар һамал күчүләнш чүгүләнш пәрәлланмаган күзбө ишлаб чыгарылдыши мүмкин.

110 кВ кўчданшли уч фазали уч чулғамли трансформаторлар

Тип	S _{ном.} MVA	Каталог маълумотлари					
		Чулғамларнинг ном. кўчданшлилари, кВ			U _н , %		
		ЮН	УН	КН	Ю-У	Ю-К	У-К
ТМТН – 6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН – 10000/110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН – 16000/110	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН – 25000/110	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6
ТДТНЖ – 25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	17	10,5	6
ТДТН – 40000/110	40	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТНЖ – 40000/110	40	115	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6
ТДТН – 63000/110	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6
ТДТН – 80000/110	80	115	38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6

Тип	Каталог маълумотлари		Хисобий маълумотлар									
	ΔP_n , кВт	ΔP_n , кВт	I_n , %	R – Ом			X _T – Ом			ΔQ_n , кВАР		
				Ю	У	К	Ю	У	К			
ТМТН – 6300/110	58	14	1.2	9.7	9.7	9.7	225.7	0	131.2	75.6		
ТДТН – 10000/110	76	17	1.1	5	5	5	142.2	0	82.7	110		
ТДТН – 16000/110	100	23	1.0	2.6	2.6	2.6	88.9	0	52	160		
ТДТН – 25000/110	140	31	0.7	1.5	1.5	1.5	56.9	0	35.7	175		
ТДТНЖ – 25000/110	140	45	0.7	1.5	1.5	1.5	56.9	33	0	250		
ТДТН – 40000/110	200	43	0.6	0.8	0.8	0.8	35.5	0(22.3)	22.3(0)	240		
ТДТНЖ – 40000/110	200	63	0.8	0.8	0.8	0.8	35.5	0(20.7)	20.7(0)	320		
ТДТН – 63000/110	290	56	0.7	0.5	0.5	0.5	22.0	0	13.6	441		
ТДЦТН – 80000/110	390	82	0.8	0.4	0.4	0.4	17.7	0(10.3)	10.3(0)	640		

Эслатма: Юкори чулғамда ЮОР $\pm 8 \times 1.5\%$ курилмасига эга бўлган ТДТНЖ – 40000 трансформаторидан ташқари барча трансформаторлар юкори чулғамнинг нейтралда ЮОР $\pm 9 \times 1.78\%$ курилмасига эга.

220 кВ кучланишлы үч фазалы икки чүгамлы трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Реглаш чегаралары	Каталог маълумотлары					Хисоблы маълумотлар		
			Чүгамларның ном. кучланишлары, кВ	U _н %	ΔP _к кВт	ΔP _с кВт	I _с %	R _г Ом	X _г Ом	ΔQ _с кВАР
			ЮН	КН						
ТРДН-40000/220	40	±8×1,5%	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	±8×1,5%	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	3,9	100,7	504
ТДЦ-80000/220	80	±2×2,5%	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	2,9	80,5	480
ТРДЦН-100000/220	100	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	360	115	1,9	63,5	700
ТДЦ-125000/220	125	±2×2,5%	242	10,5; 13,8	11	380	135	1,4	51,5	625
ТРДЦН-160000/220	160	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	525	167	1,08	39,7	960
ТДЦ-200000/220	200	±2×2,5%	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,77	32,2	900

II.6 – жабданың давоми

Тип	S, MVA	Ростлаш чегаралары	Каталог маълумотлары					Хисобий маълумотлар	
			Чулгаларнинг ном. кучланишлари, кВ	U _к , %	ΔP_{Σ} , кВт	ΔP_{Σ} , кВт	I _к , %	R _к , Ом	X _к , Ом
ТДЦ-250000/220	250	-	ЮН 242 КН 13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,55	25,7
ТДЦ-400000/220	400	-	242 13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1
ТЦ-630000/220	630	-	242 15,75; 18	12 5	130 0	380	0,35	0,17	11,6
ТЦ-1000000/220	1000	-	242 24	11 5	220 0	480	0,35	0,2	6,7
									3500

Эслатма: Кучланишнинг ростлаш юкори чулгалининг нейтралда амалга оширилади.

II.7 – жадвал

220 кВ кучланишли уч фазади уч чулғамли трансформаторлар ва автотрансформаторлар

Тип	S _{ном.} , МВА	Ростлаш чегаралари	Каталог маълумотлари					
			Чулғамларнинг ном.					
			кучланишлари, кВ					
			ЮН	УН	КН	Ю-У	Ю-К	У-К
ТДТН - 25000/220	25	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5
ТДТНЖ - 25000/220	25	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	20	6,5
ТДТН - 40000/ 220	40	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5
ТДТНЖ - 40000/ 220	40	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	22	9,5
АТДТН 63000/220/110	63	±6×2%	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9
АТДТН - 125000/220/110	125	±6×2%	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28
АТДТН 200000/220/110	200	±6×2%	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20
АТДТН 250000/220/110	250	±6×2%	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8

II.7 – жисадилнинг давоми

Тил.	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар					
	AP _с кВт						R _T , Ом			X _T , Ом		
	AP _с кВт						R _T , Ом			X _T , Ом		
	Ю-У	Ю-К	У-К	У	К	Г	Ю	У	К	Ю	У	К
ТДТН-25000/220	135	-	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148
ТДТНЖ-25000/220	135	-	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148
ТДТН-40000/220	220	-	-	-	55	1,1	3,6	3,6	3,6	165	0	125
ТДТНЖ-40000/220	240	-	-	-	66	1,1	3,9	3,9	3,9	165	0	125
АТДЦПН-63000/220/110	215	-	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6
АТДЦПН-125000/220/110	305	-	-	-	65	0,5	0,55	0,48	3,2	59,2	0	131
АТДЦПН-200000/220/110	430	-	-	-	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2
АТДЦПН-250000/220/110	520	-	-	-	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1

Эслатма: 1. Автотрансформаторлар учун қуйи чулгамнинг қуввати номинал қувватининг 50% га тенг. 2. Чулганишни ростлаш юқори чулгамнинг нейтралдаги ЮОР $\pm 8 \times 1,5\%$; $\pm 12 \times 1\%$ ёки ўрта чулгам томонидаги ЮОР $\pm 6 \times 2\%$ ҳисобига амалга оширилади.

II.8 – жадвал
500 кВ кучданишли уч фазали ва бир фазали автотрансформаторлар

Тип	S _{ном} МВ·А	Ростлаш чегаралари	Каталог маълумотлари				Чулғамларнинг ном. кучданишлари, кВ				Чулғамнинг S _{ном} га нисбатан кучлати, %			
			ΔP _с Ю-У, кВт		ΔP _с Ю-У, кВт		ЮН		УН		Ю		У	
			Ю-У	Ю-К	У-К	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт
АТДЦТН-250000/500/110	250	± 8×1,4%	33	18,5	640	230	230	230	230	230	230	230	230	230
АТДЦТН-500000/500/220	500	± 8×1,4% -8×1,25%	-	-	1050	230	230	230	230	230	230	230	230	230
АОДЦТН-167000/500/220	167	± 6×2,1%	35	21,5	325	125	125	125	125	125	125	125	125	125
АОДЦТН-167000/500/330	167	± 8×1,5%	67	61	320	70	70	70	70	70	70	70	70	70
АОДЦТН-267000/500/220	267	± 8×1,4%	37	23	490	150	150	150	150	150	150	150	150	150

II.8 жадвалнинг давомин

Тип	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар						AQ _p	
	U _{кВт}		ΔP _с Ю-У, кВт		ΔP _с Ю-У, кВт		R _{T, Ом}		X _{T, Ом}		K		K	
	Ю-У	Ю-К	У-К	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	ΔP _с кВт	Ю	У	Ю	У	Ю	У	Ю	У
АТДЦТН-250000/500/110	13	33	18,5	640	230	230	2,28	0,28	5,22	137,5	0	192,5	1125	1500
АТДЦТН-500000/500/220	11,5	-	-	1050	230	230	1,05	1,05	2,8	57,5	-	-	-	-
АОДЦТН-167000/500/220	11	35	21,5	325	125	125	0,58	0,39	2,9	61,1	0	113,5	2004	2004
АОДЦТН-167000/500/330	9,5	67	61	320	70	70	0,48	0,48	2,4	38,8	0	296	1503	2803
АОДЦТН-267000/500/220	11,5	37	23	490	150	150	0,28	0,28	0,6	39,8	0	75,6	-	-

III.1-жадвал

Электр истеъмолчиларида кучланишнинг рухсат этилган оғиши

Электр истеъмолчисининг тури ва вазифаси	Кучланишнинг энг катта рухсат этилган оғиши, %	
Электр моторлари	+10	-5
Жамоат бинолари, саноат корхоналари ва ташқи прожектор қуриilmаларининг ёритиш чироклари	+5	-2,5
Қолган электр қабул қилинчлар	+5	-5

III.2-жадвал

6-110 кВ кучланишли конденсатор батареялари

Батареянинг номинал кучланиши, $U_{ном}$, кВ	Ўрнатилган қуввати, МВАР	Кучланиш турлича бўлганда берувчи қуввати, МВАР		Параллел шохобчалар сони	Битта шохобчада кетма-кет уланган конд. сони	Конденсаторларнинг умумий сони
		$1,1 U_{ном}$	$U_{ном}$			
6	2,9/6	2,4/4,9	2,0/4,1	4	4	48
10	5/10,5	3,8/7,9	3,2/6,5	4	7	84
35	17,3/36	13,5/28	11,2/23,2	4	24	288
110	52/108	44,5/93	36,8/77	4	72	861

Эслатма: Суратда КС2-1,05-60, махражда эса КСК2-1,05-125 типдаги конденсаторли батареялар учун маълумотлар келтирилган.

III.3-жадвал

Конденсатор қурилмаларининг асосий характеристикалари

Қурилманинг тпи	Номинал кучланиши, кВ	Қуввати, кВАР	Соллштирма перофлар, кВТ/кВАР
Ички қурилма			
ККУ-0,38-1	0,38	80	0,0045
ККУ-0,38-3	0,38	160	0,0045
ККУ-0,38-4	0,38	160	0,0045
ККУ-0,38-5	0,38	280	0,0045
ККУ-6-1	6	330	0,003
ККУ-6-2	6	500	0,003
ККУ-10-1	10	330	0,003
ККУ-10-2	10	500	0,003
Ташқи қурилма			
КУН-6-2	6	420	0,003
КУН-10-2	10	400	0,003

III.4-жадвал

Синхрон компенсаторлар

Тип	Номинал кўрсаткичлар			Исрофлар, кВт
	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	$I_{ном}$, кА	
КС-10000-6	10	6,3; 10,5	0,87	250
КС-16000-6	16	6; 11	-	355
КС-25000-11	25	-	-	370
КС-32000-11	32	-	-	525
КСВ-50000-11	50	10,5(11)	2,36	750
КСВ-100000-11	100	10,5(11)	5,25	1300
КСВ-160000-15	160	15	5,86	1750

1. Электрические системы. Электрические сети: Учебное пособие для вузов/Под ред. В.А.Веникова и В.А.Строева. - М.: Высшая школа, 1998, 512 с.
2. Электрические системы в примерах и иллюстрациях/Под ред. В.А.Строева. - М.: Высшая школа, 1999, - 352 с.
3. Электротехнический справочник: Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии./Под общ. ред. профессоров МЭИ. - М.: Издательство МЭИ, 2004, 964 с.
4. 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.
5. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989, - 592 с.
6. Носпелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование: Учеб.пособие для втузов. -- 2-е изд. - Мн.: Выш.шк., 1988. - 308 с.
7. Справочник по проектированию электроэнергетических систем./Под ред. С.С.Рокотяна и И.М.Шапиро. - М.: Энергия, 1985. - 350 с.
8. Блок В.М. Электрические сети и системы. -- М.: Высшая школа, 1986, - 430 с.
9. Каримов Х.Г., Расулов А.Н. Электр тармоқлари ва системалари. Ўқув қўлланма. 1-қисм. - Тошкент: ТошДУ, 1996. - 165 б.
10. Электрические сети и системы./Н.Б.Буслова и др./Под ред. Г.И.Денисенко. - Киев: Вища школа, 1986. - 452 с.
11. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. -- Ташкент: Молия, 1999. -- 370 с.
12. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под общей ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова. - М.: Издательство МЭИ, 2000. -- 648 с.
13. Гафитов Т.Ш. Алгоритм оптимизации режимов электрических сетей на базе метода последовательной линеаризации./В сборнике трудов 4-Всероссийской научно-технической конференции с международным участием

«Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». – г.Благовещенск, 5-7 октября 2005. С. 96-100.

14. Гайибов Т.Ш., Бабаходжаев Т.Р. Оптимизация режимов замкнутых электрических сетей по ЭДС ветвей с регулируемым трансформаторами./ В сборнике трудов 4-Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». – г.Благовещенск, 5-7 октября 2005. С. 101-104.

15. <http://www.studentochka.ru/>

16. <http://www.refcity.ru/>

17. <http://www.literature.ru/>

МУНДАРИЖА

СЎЗ БОШИ	3
1. ЭЛЕКТР ТАРМОҚ ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАЛАРИ ВА ХИСОБ ПАРАМЕТРЛАРИ.	4
Электр узатиш линияларининг алмаштириш схемалари ва ҳисоб параметрлари.	4
1.2 Трансформатор ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари	8
1.3. Масалалар ечиш намуналари	13
1.4. Мустақил ечиш учун масалалар	21
2. ГАЪМИНЛОВЧИ ОЧИҚ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ ХИСОБЛАШ.	24
2.1. Электр узатиш линияларининг ҳолатларини ҳисоблаш	24
2.2. Масалалар ечиш намуналари	28
2.3. Мустақил ечиш учун масалалар	37
3. ТАҚСИМЛОВЧИ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ ХИСОБЛАШ.	38
3.1. $U_n \leq 35$ кВ бўлган тақсимловчи электр тармоқларни ҳисоблашда қабул қилинувчи соддалаштиришлар	38
3.2. Тақсимловчи электр тармоқларда кучланиш нерофининг энг катта қийматини ҳисоблаш	39
3.3. Масалалар ечиш намуналари	41
3.4. Мустақил ечиш учун масала.	42
4. ЁПИҚ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ ХИСОБЛАШ	43
4.1. Садда ёпиқ электр тармоқларда кувват оқимлари ва туғун кучланишларини ҳисоблаш.	43

4.2.	Мураккаб-ёппик электр тармоқларда қувват оқимларининг тақсимланганини ҳисоблаш.	47
4.3.	Масалалар ечиш намуналари.	50
4.4.	Мустақил ечиш учун масалалар.	58
5.	ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА КУЧЛАНИШНИ РОСТЛАШ.	60
5.1.	Умумий тушунчалар.	60
5.2.	Кучланишни қарама-қарши ростлаш.	61
5.3.	Пасайтирувчи подстанцияларда кучланишни ростлаш.	63
5.4.	Кучланишни тармоқнинг қаршилигини ўзгартириб ростлаш.	67
5.5.	Кучланишни реактив қувват оқимини ўзгартириб ростлаш.	70
5.6.	Масалалар ечиш намуналари.	72
5.7.	Мустақил ечиш учун масалалар.	90
6.	ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ.	93
6.1	Электр тармоқларида энергия исрофларини юклама графиги ва максимал исрофлар вақти бўйича ҳисоблаш.	93
6.2.	Масалалар ечиш намуналари.	98
6.3.	Мустақил ечиш учун масалалар.	101
7.	ЭЛЕКТР УЗАТИШ ЛИНИЯЛАРИ ЎТКАЗГИЧЛАРИНИНГ КЕСИМ ЮЗАЛАРИНИ ТАНЛАШ.	103
7.1.	Ўтказгичнинг кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш	103
7.2.	Ҳаво ЭУЛ ўтказгичи кесим юзасини иқтисодий интерваллар бўйича танлаш.	107
7.3.	Тақсимловчи электр тармоқларда ЭУЛ ўтказгичининг кесим юзасини руҳсат этилган кучланиш исрофи бўйича танлашнинг характерли хусусиятлари.	109
7.4.	Масалалар ечиш намуналари.	115
7.5.	Мустақил ечиш учун масалалар.	123

8.	ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИНИ КАМАЙТИРИШ ТАДБИРЛАРИ . . .	126
8.1.	Таъминловчи электр тармоқ ҳолатини реактив қувват, қучланиш ва трансформациялаш коэффициентлари бўйича оптимallasш.	126
8.2.	Тақсимловчи электр тармоқларда қувват ва энергия исрофини камайитириш.	131
8.3.	Масалалар ечиш намуналари	133
8.4.	Муустақил ечиш учун масалалар	136
	I ИЛОВА.	137
	II ИЛОВА	142
	III ИЛОВА	155
	АДАБИЁТЛАР.	157

Тўлкин Шерназарович Ғойибов

ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ ВА ТИЗИМЛАРИ
МИСОЛ ВА МАСАЛАЛАР ТЎПЛАМИ
ЎҚУВ ҚЎЛЛАНИМА

Мухаррир: М.М.Ботирбекова

Босишга рухсат этилди 9.10.2006 й. Бичими 60x84 1/16.
Шартли босма табағи 10. Нусхаси 68 дон. Буюртма № 447.
ТДТУ босмахонасида чоп этилди. Тошкент ш. Талабалар кўчаси 54.