

**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 ТҶИЗЛАМИ**

ЎҚУВ ҚЎЛЛАНИМА

ТОШКЕНТ 2006

УДК 621.311 (075.8)

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 этилди.

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 енгилаштириш 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

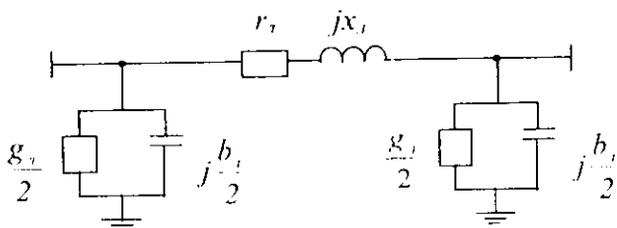
Унчалик катта бўлмаган узунликдаги (300-400 км гача) электр узатиш линиялари параметрларини бугун узунлик бўйича бир хилда тақсимланган деб қараш мумкин.

Узунлиги 300-400 км гача бўлган линияларнинг алмаштириш схемаси умумий ҳолда 1.1-расмдаги каби II-симон кўринишида тасвирланади. Расмда r_n, x_n - электр узатиш линиясининг актив ва реактив қаршиликлари; g_n, b_n - электр узатиш линиясининг актив ва сифим ўтказувчанликлари.

Актив қаршилик қуйидаги формула бўйича топилади:

$$r_n = r_0 l, \tag{1.1}$$

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



1.1-расм. Электр узатиш линиясининг умумий кўринишидаги
алмаштириш схемаси

Ўтказгичлар 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 ўтказгичлар учун кўндаланг кесим юзаларига боғлиқ равишда қўлланма жадвалларда келтирилган. Умумий ҳолда, ўтказгичнинг 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 $r_{\text{ср}}$ - ўтказгичнинг радиуси; $D_{\text{ср}}$ - фаза ўтказгичлари орасидаги ўртача геометрик масофа:

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

D_{ab} , D_b , D_{ca} - мос фаза ўтказгичлари орасидаги масофалар.

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

$$r_0 = r_{0\text{ср}} + n_{\Phi},$$

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

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

$$r_{\text{к}} = \sqrt[n_{\Phi}]{r_{\text{ср}} a_{\text{ср}}^{n_{\Phi}}}, \quad (1.5)$$

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

Шўлагасоминий ўтказгичлар 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 кучланишчи тармоқларда линияларнинг алмаштириш схемаларида актив ўтказувчанликлар жуда камлиги сабабли эътиборга олинмайди.

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

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

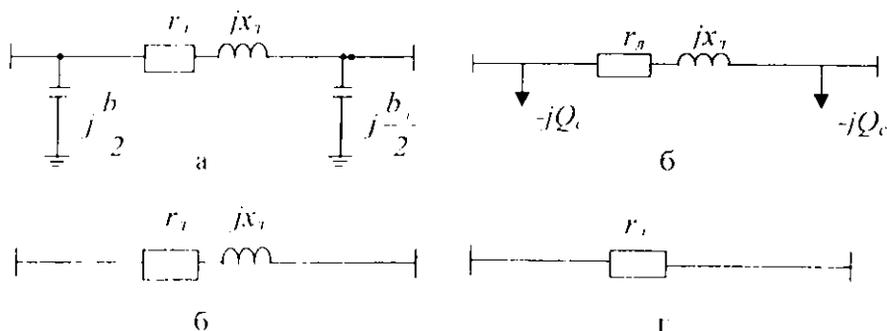
бу ерда b_0 - солиштирма сиғим ўтказувчанлик бўлиб, у линиянинг геометрик ўлчамлари (ёки номинал кучланиши) ва ўтказгичнинг марказига боғлиқ равишда қўлланма жадвалдан аниқланиши ёки қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин:

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

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

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

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



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.

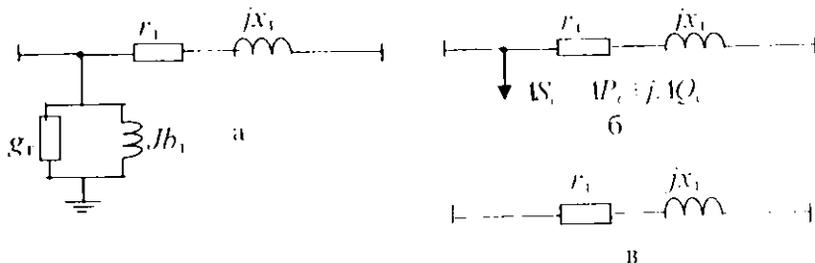
35 кВ ва ундан паст кучланишдаги ҳаво ЭУЛда Q_c жуда кичик бўлганлиги сабабли у ва мос b_n ўтказувчанлик эътиборга олинмайди (1.2, в-расм).

Кабелли ЭУЛнинг алмаштириш схемалари ҳам умумий ҳолда ҳаво ЭУЛдаги каби II-симон кўринишда ифодаланади (1.1-расм). (1.3), (1.7) формулалардан кўриниб турибдики, ўтказгичларнинг яқинлашиши билан x_0 камаяди ва b_0 ортади. Кабелли ЭУЛларда фаза ўказгичлари ораларидаги масофалар кам бўлганлиги сабабли x_n 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_n 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 йнғини, яъни тендир. Ушбу схемада трансформация, яъни идеал трансформатор мавжуд бўлмастан, иккиламчи чулғамининг қаршиликлари бирламчи чулғамга келтирилган. Агар трансформатор билан боғланган тармоқ биргалликда кўриلسа ва бунда тармоқ кучланишининг 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 — соддатлаштирилган алмаштириш схемалари

Алмаштириш схемасидаги кўндалан шохобча (магнитланиш шохобчаси) актив ва реактив ўтказувчанликлар g_1, b_1 дан ташкил топган. Актив ўтказувчанлик трансформаторнинг, одатда, пўлатдан ясалувчи ўзагида магнитловчи ток I_m 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 паспортда) келтирилади. Уларга қуйидаги параметрлар киради: S_n - трансформаторнинг номинал қуввати, МВА; $U_{юн}, U_{нк}$ - 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 тугашув исрофи, кВт; u_k %- қисқа тугашув кучланиши, $U_{юн}$ дан %. Бу маълумотлар бўйича алмаштириш схемасининг барча параметрларини (қаршиликлар ва ўтказувчанликларни), шунингдек улардаги исрофларни топиш мумкин.

Магнитланиш шохобчаси ўтказгичлари салт ишлаш тажрибаси натижаларидан фойдаланиб топилади. 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:

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

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

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

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

Трансформаторларнинг r_1 ва x_1 қаршиликлари қисқа тугашув тажрибаси натижаларидан фойдаланиб топилади. Бу тажрибада трансформаторнинг иккиламчи чулғами қисқа тугаштирилади ва бирламчи чулғамига ҳар иккала чулғамларда номинал токлар оқишини таъминловчи кучланиш берилди. Бу кучланиш қисқа тугашув кучланиши u_k деб юритилади. Қисқа тугашув 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 тугашув тажрибасидан

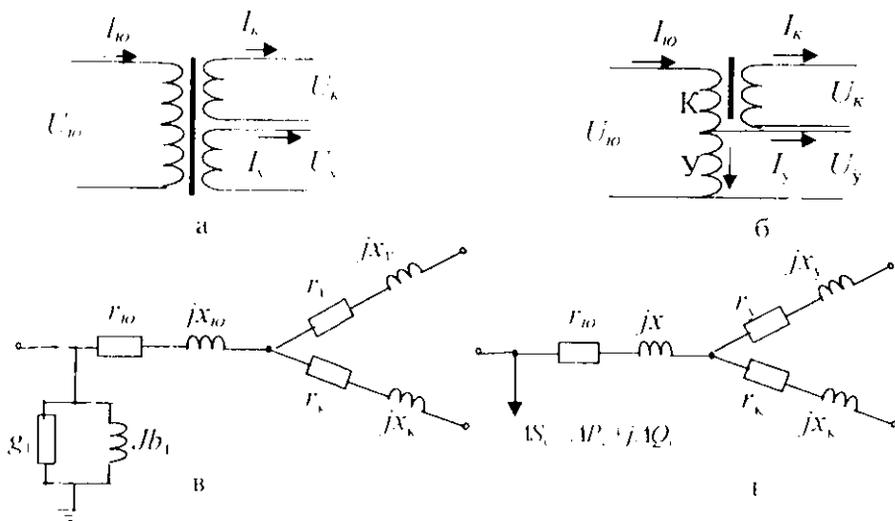
$$u_k = \frac{u_k \% U_n}{100} \approx \sqrt{3} I_n x_1 \quad \text{ва} \quad x_1 = \frac{u_k \% U_n^2}{100 S_n}. \quad (1.13)$$

Уч чулғамли трансформаторлар ва автотрансформаторлар. Кўп 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 қисмини 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 юқори ва ўрта кучланиш тармоқларидан олиниши ёки уларга узатиши 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 соддалангиривлан алмаштириш схемалари.

Бу қувват, шуниндек, ўзини қуввати деб ҳам юритилади. Ўзини қуввати деб автотрансформаторнинг куйи чулғамда юклама бўлмаган ҳолда юқори кучланиш тармонидан ўрта кучланиш тармонига ёки тескари йўналишида узатиши мумкин бўлган энг катта қувватга айтилади.

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

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

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

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

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

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

$U_{\text{н}} > 220$ кВ бўлган ҳолат учун уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторнинг алмаштириш схемаси 1.4.в-расмда, $U_{\text{н}} \leq 220$ кВ бўлган ҳолат учун эса 1.4.д-расмда тасвирланган. Ушбу ҳолатда ҳам салт ишларида иероф бўлувчи қувватлар ΔP_k ва ΔQ_k икки чулғамли трансформаторлардагидек ҳисобланади. Уч чулғамли трансформатор ва автотрансформаторлар учун қисқа тутанув иерофлари ва кучланишлари учун чулғамлар жуфтликлари учун, яъни $\Delta P_{k(l(y-k))}$, $\Delta P_{k(l(y-k))}$, $\Delta P_{k(l(y-k))}$ ва $u_{k(l(y-k))} \%$, $u_{k(l(y-k))} \%$, $u_{k(l(y-k))} \%$ кўринишида бериледи. Ҳар бир ΔP_k ва $u_k \%$ мумкин бўлган учта тажрибанинг бирига таълуқлидир. Масалан, $\Delta P_{k(l(y-k))}$ ва $u_{k(l(y-k))}$ ларини қийматлари қуйи чулғам қисқа тутангирелган, ўрта чулғам салт ҳолда бўлган, юқори чулғамга қуйи чулғам орқали номинат ток оқишини таъминловчи $u_{k(l(y-k))}$ кучланиш берилган ҳолатда аниқланади. Бундай ҳолда, худди икки чулғамли трансформаторлардагидек

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

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

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

(1.17)-(1.19) тенгламаларда учта номаълум актив қаршиликлар мавжуд. Уларни тизим қилиб ечиш асосида қаршиликлар учун ифодаларга эга бўламиз:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$u_{кю}\%, u_{кк}\%, u_{кк}\%$ ларини топишган кийматларидан фойдаланиб, куйидаги формулалар буйича алоҳида чулғамларини реактив қаршиликлари ҳисобланади:

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

1.3. Масалалар ечиш намуналари

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

Ечиш. Берилган кесим юзали ва номинвал кучланишли кабелдан тайёрланган линиянинг солиштирма параметрларини қўлланма жадваллар буйича аниқлаймиз:

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

Алмаштириш схемасининг ҳисоб параметрларини топиш:

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

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

$$b_l = 63 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ С/км}.$$

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

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

Кўриляётган кабель учун қизиш шартлари бўйича руҳсат этилган токни қўлланма 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,

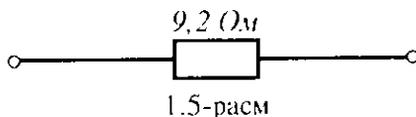
$$\frac{Q_c}{S_{\text{макс}}} = \frac{11,34 \cdot 100}{830} = 1,4\%.$$

Заряд қувватининг ҳосил бўлган қиймати алмаштириш схемаси асосида бажарилувчи ҳисоблаш натижаларига сезиларли таъсир кўрсата олмайди. Шу сабабли бу қувватни эътиборга олмаслик ва алмаштириш схемасидан сингим 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 кўриляётган 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, AC 150/24 маркали ўтказгичдан тайёрланган 110 кВ кучланишли 50 км узунликдаги икки занжирли линиянинг алмаштириш схемасини қуриш ва параметрларини ҳисоблаш.

Ечилиш. AC 150/24 маркали ўтказгичнинг солиштирама актив қаршилиги қиймати ва диаметрини қўлланма жадвал бўйича

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

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

Линиянинг солиштирма индуктив қаршилиги ва солиштирма снгим ўтказувчанлигини ҳисоблаймиз:

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

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

АС 150/24 маркали ўтказувчи учун $D_{\text{вр}}=5040$ мм бўлган ҳолатда қидирилаётган параметрларни қўлланма жадваллари бўйича бевосита аниқлаш мумкин: $\chi_0=0,42$ Ом/км, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6}$ 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 $U_{\text{ном}}=110$ кВ бўлган ҳаво линияси учун характерлидир.

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

$$r_3 = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 50 = 4,95 \text{ Ом};$$

$$\chi_3 = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 50 = 10,5 \text{ Ом};$$

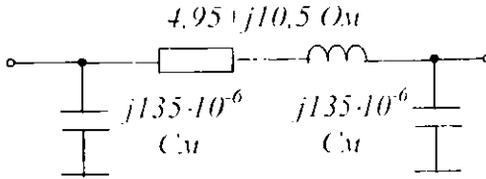
$$b_3 = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 270 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

Линиянинг умумий снгим ўтказувчанлигида ишлаб чиқаришувчи заряд қувватининг тахминий қиймати:

$$Q_3 = 110^2 \cdot 270 \cdot 10^{-6} = 3,27 \text{ МВАР.}$$

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 таянчларда жойлашиб, 3 л АС 500/64 парчаланган ўтказгичлардан тайёрланган 500 кВ кучланишли 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 ўргача кувватини солиштирма қиймати $\Delta P_{тож,0}=7,5$ кВт/км.

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

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

Ўтказгичнинг эквивалент радиуси:

$$r_{эк} = \sqrt[n]{r_{сим} \cdot a_{сп}^{n-1}} = \sqrt[3]{15,3 \cdot 400^2} = 134 \text{ мм.}$$

Фаза ўтказгичлари ораларидаги ўргача геометрик масофа:

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

Солиштирма индуктив қаршилик, сиғим ва актив ўтказувчанликларни топамиз:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{вр}}{r_{эк}} + \frac{r_{0сим}}{n} = 0,144 \lg \frac{15100}{134} + \frac{0,0157}{3} = 0,295 + 0,0052 = 0,3 \text{ Ом/км;}$$

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

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

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:

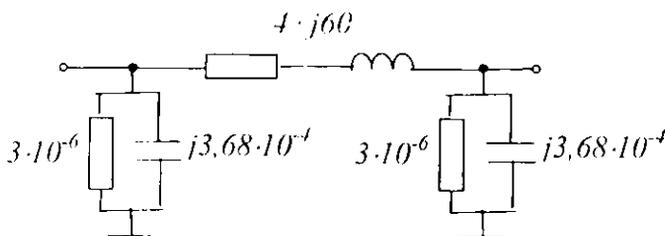
$$r_l = r_0 l = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ Ом,}$$

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

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

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

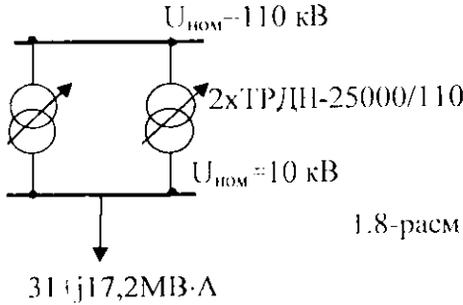
Линиянинг алмаштириш схемасини курамиз (1.7-расм):



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: $S_{\text{ном}}=25 \text{ МВА}$; $U_{\text{ном}}=115 \text{ кВ}$; $U_{\text{кн}}=10,5 \text{ кВ}$; $u_{\text{к}}=10,5\%$; $\Delta P_i=27 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{к}}=120 \text{ кВт}$; $I_c=0,7\%$.

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



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

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

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

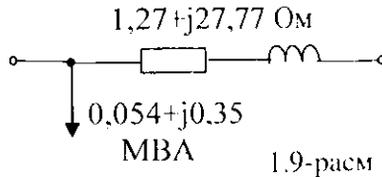
$$\Delta Q_c = \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 0,175 \text{ МВАР};$$

Иккита параллел ҳолда ишловчи трансформаторлар учун:

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

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

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



Алмаштириш схемасининг топилган параметрлари бўйича трансформатордаги қувват исрофини ҳисоблаймиз:

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

$$= 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ МВт};$$

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

$$= 2,884 + 0,35 = 3,23 \text{ МВАР}.$$

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

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

$$= 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_1 = 0,5 \cdot \frac{n_k}{100} \cdot \frac{S_n^2}{S_{\text{ном}}^2} + 2 \cdot \frac{I_k}{100} \cdot S_{\text{ном}} = 0,5 \cdot \frac{10,5}{100} \left(\frac{31^2 + 17,2^2}{25} \right) +$$

$$+ 2 \cdot \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 2,884 + 0,35 = 3,234 \text{ МВАР}.$$

Подстанцияда ўрнатилган трансформаторлардаги исрофлар уларнинг номинал кувватларига 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_1 ning нисбатан катта миқдордагини электр тармоқларида трансформаторлар реактив куввати кўп миқдорда исроф қилишини кўрсатади.

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

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

МВА: $U_{\text{ном}}=230 \text{ кВ}$; $U_{\text{Ун}}=38,5 \text{ кВ}$; $U_{\text{кн}}=11 \text{ кВ}$; $U_{\text{кЮУ}}=12,5\%$;
 $U_{\text{кЮК}}=20\%$; $U_{\text{кУК}}=6,5\%$; $AP_{\text{к}}=1,35 \text{ кВт}$; $AP_{\text{г}}=50 \text{ кВт}$; $I_{\text{г}}=1,2\%$.

Чулнамларнинг кувватлари нисбати: $100/100/100\%$.

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

$$r_{\text{ЮУ}} = r_{\text{У}} = r_{\text{К}} = \frac{AP_{\text{к}} \cdot U_{\text{ЮУ}}^2}{2 \cdot S_{\text{ном}}^2} = \frac{0,135 \cdot 230^2}{2 \cdot 25^2} = 5,713 \text{ Ом.}$$

Алмаштириш схемаси нузлири жуфтлингишиги умумий индуктив қаршилиги куйидагича топилади:

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

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

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

Алмаштириш схемасининг ҳар бир нури индуктив қаршиликларини

$$\begin{cases} x_{\text{ЮУ}} + x_{\text{У}} = x_{\text{ЮУ}} \\ x_{\text{ЮУ}} + x_{\text{К}} = x_{\text{ЮК}} \\ x_{\text{У}} + x_{\text{К}} = x_{\text{УК}} \end{cases}$$

шартлардан фойдаланиб, куйидагича топамиз:

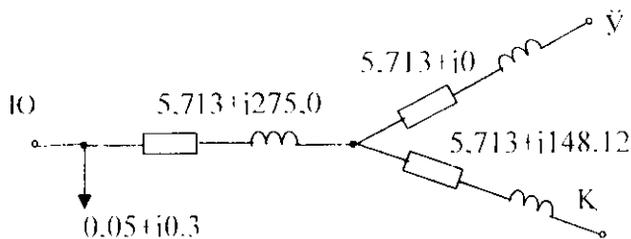
$$x_{\text{Ю}} = 0,5 \cdot (264,5 + 423,2 - 137,54) = 275,08 \text{ Ом;}$$

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

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

Трансформаторнинг салт ишлаш перофларини аниқлаймиз:

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



1.10-расм

1.4 Мустақил ечиш 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 қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Масалани ечишда мис томирнинг номинал кесим юзасини 1 мм^2 га келтирилган солиштирама 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 қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Масалани ечишда алюминий томирнинг номинал кесим юзасини 1 мм^2 га келтирилган солиштирама 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, қуринг ва ҳисоб параметрларини топинг.

Масалани ечишда мазкур кабель учун солиштирама параметрларининг қиймаглари қўлданма 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 қуринг 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 нулгатапоминий ўтказкичдан тайёрланган 35 кВ номинал кучланишли 30 км узунликдаги ҳаво электр узатиш линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини тошинг.

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 кучланишли АС-185/29 маркали ўтказкичдан тайёрланган 45 км узунликдаги икки занжирли ҳаво линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини тошинг.

Линиянинг солиштирма ҳисоб параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

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

Линиянинг солиштирма ҳисоб параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

8. 330 кВ номинал кучланишли 2хАС-500/64 маркали ўтказкичдан тайёрланган 150 км узунликдаги ҳаво линиясининг алмаштириш схемасини қуринг ва ҳисоб параметрларини тошинг.

Линияда тожланиш туфайли иероф бўлувчи солиштирма актив қувватнинг йиллик ўртача қиймати $\Delta P_{тож}=4$ 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 тошинг:

$S_{ном}=400$ кВА, $U_{вин}=10$ кВ, $U_{шн}=0,4$ кВ, $u_k=4,5\%$, $\Delta P_k=5,7$ кВт, $\Delta P_r=1$ кВт, $I_r=2,5\%$.

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

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

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

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 тошинг.

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 тошинг.

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 тошинг.

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 тошинг.

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 тошинг:

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

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 тошинг:

$S_{ном} = 320 \text{ МВА}$, $U_{ном} = 500 \text{ кВ}$, $U_{yn} = 230 \text{ кВ}$, $U_{кл} = 10,5 \text{ кВ}$, $u_{кЮ} = 10,5\%$,
 $u_{кЮк} = 27,5\%$, $u_{к\backslash\kappa} = 17\%$, $AP_{\kappa} = 550 \text{ кВт}$, $AP_{\nu} = 220 \text{ кВт}$,
 $I_{\nu} = 0,45\%$.

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

2. УТАЪМИШЛОВЧИ 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 танишгани 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 пунктларни туташтириб, унинг барча ҳисоб параметрлари, яъни линия қаршилиги $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$, сингim ўтказувчанлиги b_{12} , ҳамда юклама токи I_1 ва кучланиши U_1 лар маълум деб фараз қиламиз.

Бундай ҳолда ҳолатни ҳисоблаш натижасида аниқланувчи параметрлар бўлиб U_2 , I_2 - ЭУЛ бошидаги кучланиш ва ток, I_{c2} - ЭУЛ лнинг бўйлама қисмидаги ток, AS_{12} - ЭУЛдаги қувват йерофи ҳисобланади.

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

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

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

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:

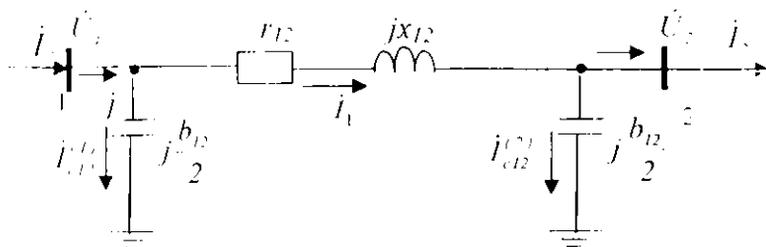
$$I_{c1} = jU_{1q} b_{12} / 2.$$

ЭУЛга киришдаги токни Кирхгофнинг 1-қонунига асосан тошамиз:

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

Учта фаздадаги кувватлар исрофи:

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



2.1-расм. Электр узатиш линияси ҳолатини ҳисоблаш

Электр узатиш линияси ҳолатини юклама куввати ва кучланиши берилганда ҳисоблаш. Ушбу ҳолда электр узатиш линиясининг схемаси, барча ҳисоб параметрлари ва охирида уланган юкلامаниннг 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 $\dot{S}_1^{(2)}$, $\dot{S}_1^{(1)}$, кувват исрофи $\Delta \dot{S}_{12}$, линия бошланишидаги кувват \dot{S}_1 лар топилади. Қизиш шартлари бўйича ташабнинг бажарилишини текшириш мақсадида, баъзан, I_{12} токни ҳам топиш талаб этилади.

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

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

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

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

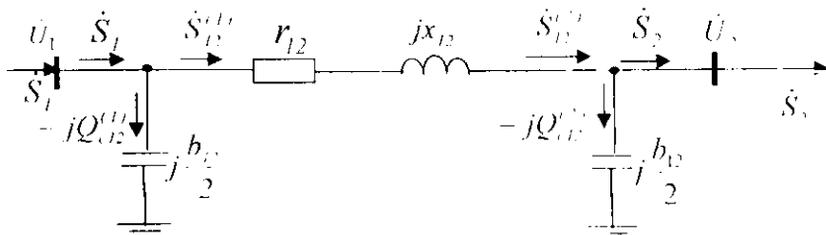
$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{ct2}^{(2)}. \quad (2.6)$$

Линиядаги кувват исрофи:

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

Линия алмаштириш схемасининг бўйлама қисми бошланишидаги кувват:

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



2.2-расм. ҶУЛ ҳолатини юклама куввати ва кучланишнинг берилганда ҳисоблаш

Линия бошланишидаги кучланиш:

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

Линиянинг бошланишидаги заряд куввати:

$$Q_{ct12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}. \quad (2.10)$$

Линиянинг бошланишидаги тўла кувват:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{ct12}^{(1)}. \quad (2.11)$$

ҶУЛнинг 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 кувват, охиридаги кучланиш, алмаштириш схемаси бўйлама қисмининг охири ва бошланишидаги кувватлар ҳамда кувватлар исрофлари топилади.

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

2-туғун учун эгри чизиқли туғун кучланишлари тенграмаси куйидаги кўринишда бўлади:

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

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

Бирок ошқ электр тармоқлари ҳолатларини, жумладан ушбу тармоқ ҳолатини ҳисоблаш учун нисбатан содда бўлган «икки босқичли» усулдан фойдаланиш мақсади мувофиқ. Ушбу усул бўйича ҳисоблаш тартиби билан танишамиз. {

1-босқич. $\dot{U}_2 = U_n$ деб қабул қилиб, олдинги ҳолатдаги тартибда кувват оқимлари ва нерофларини ҳисоблаймиз:

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

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

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

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

Юқоридаги формулаларда \dot{U}_2 ниш ўрнида U_n фойдаланилганлиги сабабли 1-босқичда кувват оқимлари ва бунга мос равишда 2-босқичда кучланиш \dot{U}_2 ларнинг топилган қийматлари тахминий бўлади. Уларнинг аниқ қийматларини топиш учун юқоридаги формулаларда \dot{U}_2 ниш ўрнига унинг топилган қийматини қўйиб ҳисоблашни такрорлаш лозим.

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

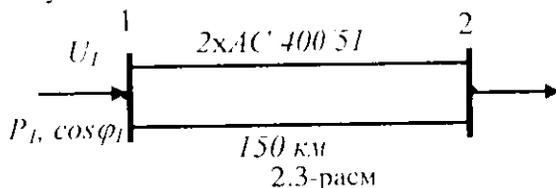
Бундай ҳисоблашларни ЭХМда амалга ошириш мақсадга мувофиқдир.

2.2. Масалалар ечиш намуналари

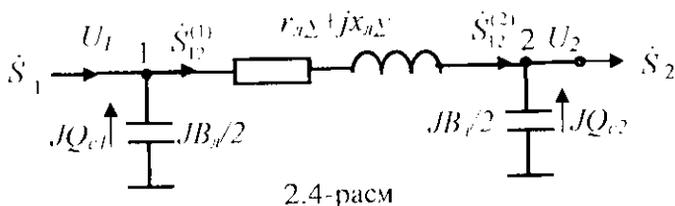
2.1-масала. Район подстанциясининг 220 кВ кучланишли шинасидан 150 км узунликдаги икки занжирли ҳаво линияси орқали юклама таъминланади (2.3-расм). Линия АС 400/51 ($r_0=0,075$ Ом/км; $x_0=0,42$ Ом/км; $b_0=2,70 \cdot 10^6$ См/км) маркали ўтказгичдан тайёрланган. Максимал юклама ҳолатида линиядан $\cos\varphi_{\max}=0,9$ бўлган ҳолда $P_{1\max}=300$ МВт ва минимал юклама ҳолатида $\cos\varphi_{\min}=0,95$ бўлган ҳолда $P_{1\min}=100$ МВт қувват узатилади.

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

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



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



Нормал ҳолатларни ҳисоблаш учун:

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

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

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

Авариядан кейинги ҳолатни ҳисоблашда иккита занжирдан биринчи узилганлигини ҳисобга олиш лозим. Шу сабабли

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

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

2. Максимал юклама ҳолатининг параметрларини ҳисоблаймиз:

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

$$Q_{I_1} = U_1^2 \frac{b_{0\Omega}}{2} = 242^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 23,72 \text{ Мвар};$$

$$S_{I_2}^{(1)} = P_{I_{\text{макс}}} + jQ_{I_{\text{макс}}} + jQ_{I_1} = 300 + j145,29 + j23,72 = 300 + j169,01 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$\begin{aligned} U_2 &= \sqrt{\left(U_1 - \frac{P_{I_2}^{(1)} r_{0\Omega} + Q_{I_2}^{(1)} x_{0\Omega}}{U_1} \right)^2 + \left(\frac{P_{I_2}^{(1)} x_{0\Omega} - Q_{I_2}^{(1)} r_{0\Omega}}{U_1} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 5,62 + 169,01 \cdot 31,5}{242} \right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 31,5 - 169,01 \cdot 5,62}{242} \right)^2} = \\ &= \sqrt{(242 - 22,0)^2 + 35,12^2} = 222,78 \text{ кВ}; \end{aligned}$$

$$\Delta P_{I_2} = \frac{P_{I_2}^{(1)} + Q_{I_2}^{(1)2}}{U_1^2} \cdot r_{0\Omega} = \frac{300^2 + 169,01^2}{242^2} \cdot 5,62 = 11,38 \text{ МВт};$$

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

$$Q_{c2} = U_2^2 \cdot \frac{b_{\Delta}}{2} = 222,78^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 20,1 \text{ Мвар};$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{12}^{(2)} &= P_{12}^{(1)} - \Delta P_1 + j(Q_{12}^{(1)} - \Delta Q_1) = 300 - 11,38 + j(169,01 - 63,77) = \\ &= 288,62 + j105,24 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \end{aligned}$$

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

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

3. Минимал юклама ҳолатининг параметрларини ҳисоблаймиз:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

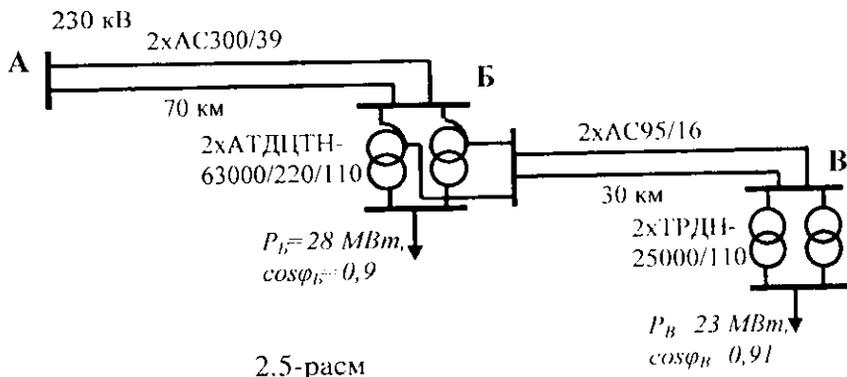
$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{277,99}{\sqrt{277,99^2 + 41,88^2}} = 0,989.$$

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).

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

Электр тармоқнинг максимал юклама ҳолатини ҳисобланг.



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

Линия *АВ*: 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, $U_{хн}=11$ кВ, $u_{хн,у}=11\%$, $u_{хн,а}=35,7\%$, $u_{хн,б}=21,9\%$, $\Delta P_{хн,у}=215$ кВт, $\Delta P_c=45$ кВт, $I_c=0,5\%$.

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

Линиялар, трансформаторлар ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари параметрларини топамиз:

Линия АБ:

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

$$= 15,015 \text{ Ом}, \quad B_{AB} = 2b_0 l_{AB} = 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 3,766 \cdot 10^{-4} \text{ См}.$$

Линия БВ:

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

$$= 6,51 \text{ Ом}, \quad B_{BV} = 2b_0 l_{BV} = 2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 1,566 \cdot 10^{-4} \text{ См}.$$

Автотрансформатор подстанцияси Б:

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

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

$$r_{\rho} = r_{\gamma} = 0,5 \cdot r_{yu} = 0,5 \cdot 1,433 = 0,716 \text{ Ом}.$$

Күрилатган тидаги автотрансформатор учун қуйи кучлаиш чулгамининг қуввати номинал қувватнинг 50% ни ташкил қилганлиги сабабли

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

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

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

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

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

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

Трансформатор подстанцияси В:

В подстанциядаги трансформаторларнинг эквивалент аймаштириш схемаси параметрларини 1.4-масаладаги каби аниқлаймиз ва натижада қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$r_l = 1,27 \text{ Ом};$$

$$x_l = 27,77 \text{ Ом};$$

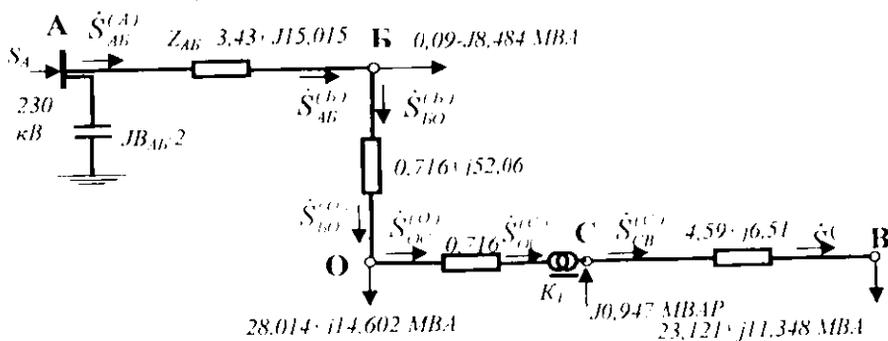
$$\Delta \dot{S}_{CB} = \Delta P_{CB} + j \Delta Q_{CB} = 0,054 + j 0,35 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

В подстанциясининг юлдузча кўринишидаги аймаштириш схемасини ноль нуктасига келтирилган юклармасини ҳамда В подстанциянинг, В ва С тугунларининг ҳисобий юкларларини тонамиз (2.6-расм).

В ва В подстанциялар реактив юкларларининг максимал қийматлари:

$$Q_b = P_b \operatorname{tg} \varphi_b = P_b \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_b}}{\cos \varphi_b} = 28 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,9^2}}{0,9} = 13,561 \text{ МВАР},$$

$$Q_B = 23 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,91^2}}{0,91} = 10,479 \text{ МВАР}.$$



2.6-расм

$$\begin{aligned} \dot{S}_n &= P_b + \frac{P_b^2 + Q_b^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_k + j \left(Q_b + \frac{P_b^2 + Q_b^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_k \right) = 28 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 0,716 + \\ &+ j \left(13,561 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 52,06 \right) = 28,014 + j 14,602 \text{ МВА}, \end{aligned}$$

$$\dot{S}_B' = P_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_l + \Delta P_{cb} + j \left(Q_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_l + \Delta Q_{cb} - U_{\text{ном}}^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} \right) =$$

$$= 23 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 +$$

$$j \left(10,479 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 \cdot 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} \right) =$$

$$= 23,121 + j11,348 \text{ MVA.}$$

$$\dot{S}_B = \Delta P_{cb} + j \left(\Delta Q_{cb} - U_{\text{ном}}^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} \right) =$$

$$= 0,09 + j \left(0,63 - 220^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 0,09 - j8,484 \text{ MVA.}$$

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

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

1 - 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:

$$\Delta \dot{S}_{CB} = \frac{P_{CB}^{(B)^2} + Q_{CB}^{(B)^2}}{U_{\text{ном}}^2} \cdot \dot{Z}_{CB} = \frac{23,121^2 + 11,348^2}{110^2} \cdot (4,59 + j6,51) =$$

$$= 0,252 + j0,357 \text{ MVA.}$$

$$\dot{S}_{CB}^{(C)} = \dot{S}_{CB}^{(B)} + \Delta \dot{S}_{CB} = 23,121 + j11,348 + 0,252 + j0,357 =$$

$$= 23,373 + j11,705 \text{ MVA.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

$$U_C = \frac{U_O \cdot \frac{P_{OC}^{(O)} \cdot r_C}{K_T}}{K_T} = \frac{221,07 \cdot \frac{23,383 \cdot 0,716}{230}}{121} = \frac{221,07 \cdot 0,08}{1,9} = 116,31 \text{ кВ};$$

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

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

2.3. Мустақил ечини учун масалалар

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

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

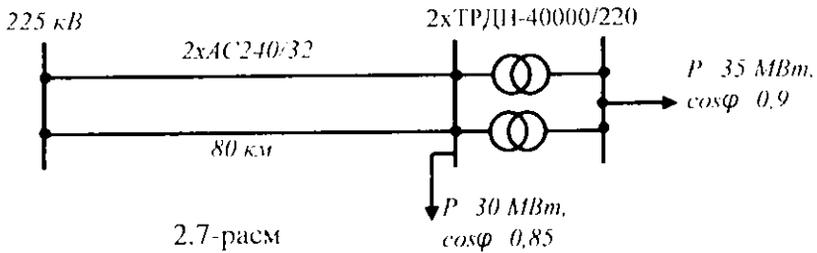
2. АС300/39 маркали ўтказгичдан тайёрланган 75 км uzunlikдаги линиянинг бошланишидаги кучланиш 230 кВ, қувватлар оқими эса 60+j25 МВА ни ташкил этади.

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 (юқори 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 кучланиши 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 ўзагидаги 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.

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

$$\Delta U_{12} = U_1 - U_2 = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n}$$

Бу ерда P_{12} , Q_{12} - тармоқ шохобчасидаги актив ва реактив қувватлар оқими;

r_{12} , x_{12} - 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 кучланиши 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_{kj} 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:

$$S_{23} = S_2; \quad S_{12} = S_2 + S_3; \quad (3.1)$$

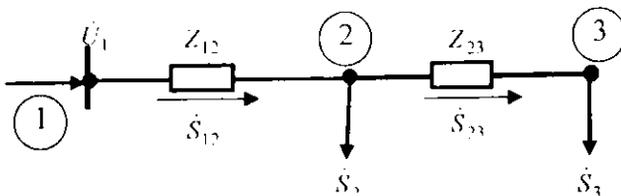
Бунда шохобчалардаги актив ва реактив қувватлар оқимлари қуйидагича аниқланади:

$$P_{23} = P_3; \quad P_{12} = P_2 + P_3; \quad (3.2)$$

$$Q_{23} = Q_3; \quad Q_{12} = Q_2 + Q_3; \quad (3.3)$$

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-рasm. Таксимловчи тармоқ.

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 тармоқ учун кучланиш исрофининг энг қатта қийматини топиш формуласини ҳосил қиламиз:

$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{1}{U_n} \sum_{k=2}^n (P_k R_k + Q_k X_k).$$

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:

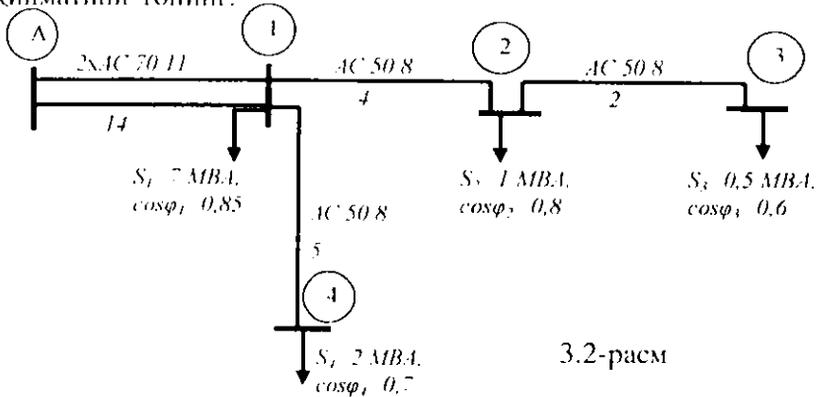
$$\Delta U_{\text{кат}} = \frac{l}{U_n} (r_0 \sum_{k=1}^n P_k l_k + x_0 \sum_{k=1}^n Q_k l_k). \quad (3.5)$$

Бу ерда l_k - l ва k - туғушлар оралиғидаги линиялар узунликлари йиғиндиси.

3.3. Масалалар ечиш намуналари

Масала. 35 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоғи П-симон таянчларда осилган нулдаталпоминий ўтказгичлардан ганёрланган линиялардан ташкил топган. Тармоқ бўлақларининг километр бирлигидаги узунликлари, ўтказгичларнинг маркалари, юкламалар (МВА) ва уларнинг қувват коэффициентлари 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 тошамиз:

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

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

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

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

Тармоқ юкламаларининг актив ва реактив қувватларини аниқлаймиз:

$$S_1 = S_1 (\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1) = 7 * (0,85 + j0,526) = 5,95 + j3,68 \text{ MVA};$$

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

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

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

A-1 бош бўлақдаги қувват оқими:

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

A-1 бош бўлақда қучланиш ыроффи:

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

1-3 ва 1-4 бўлақларда қучланиш ыроффи:

$$\Delta U_{13} = \frac{0,8 \cdot 2,41 + 0,6 \cdot 1,72 + 0,3 \cdot (2,41 + 1,21) + 0,4 \cdot (1,72 + 0,86)}{35} =$$

$$= 0,145 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_{14} = \frac{1,4 \cdot 3,01 + 1,43 \cdot 2,15}{35} = 0,208 \text{ кВ}.$$

Электр тармоқда қучланиш ыроффининг энг катта қиймати:

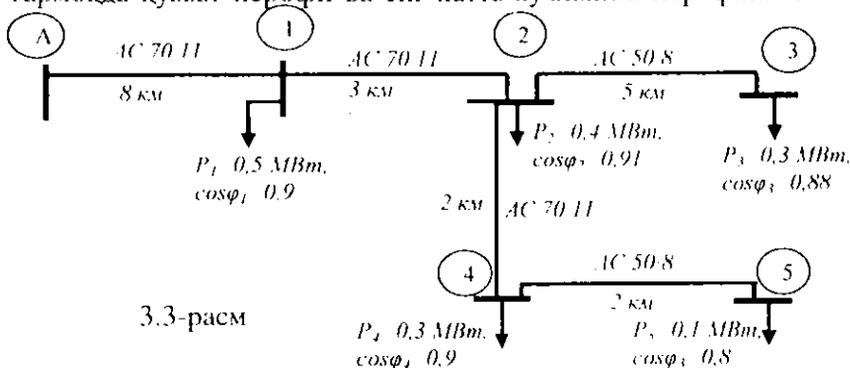
$$\Delta U_{\text{кат}} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{14} = 1,24 + 0,208 = 1,448 \text{ кВ}$$

ёки номинал қучланишга 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 ыроффи ва энг катта қучланиш ыроффини тоини.

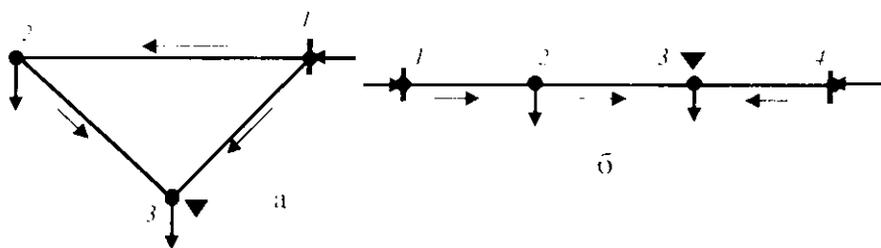


4.ЎНТИК ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ ХИСОБЛАШ

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

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

4.1-расмда мисол тариқасида садда ёшиқ электр тармоқларинини схемалари тасвирланган.



4.1-расм. Садда ёшиқ электр тармоқлари.

а — учбурак шаклидаги садда ёшиқ электр тармоғи; б — икки томондан таъминланувчи электр тармоғи.

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

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

томондан таъминланган тармоқ кўринишида (масалан, 4.1.6-расмдаги кўринишида) ва умумий ҳолда унинг чеккаларидаги таъминлаш 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) Шохобчалардаги қувват оқимларининг йўналишларига боғлиқ равишда қувватлар оқимининг бўлиниш туғуни (нуқтаси) аниқланади ва бу туғундан тармоқ иккига бир томондан 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 шохобчада 1-туғундан 2-туғунга томон йўналишида оқувчи тўла қувват \dot{S}_{12} ни номаълум сифатида қабул қилиб, қолган шохобчалардаги қувватларни Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланган ҳолда ушбу номаълум ва туғунларнинг қувватлари орқали ифодалаймиз: 2-3 шохобчада 2-туғундан 3-туғунга томон йўналишида оқувчи қувват $\dot{S}_{23} = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2$; 3-4 шохобчада 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 шохобчадаги токни унда оқувчи қувват ва номинал кучланиш орқали ифодалаб, Кирхгофнинг иккинчи қонун буйича қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\frac{\dot{S}_i}{U_{in}} Z_{i,j} + \frac{\dot{S}_{i,j}}{U_{in}} - \frac{\dot{S}_j}{Z_{j,i}} + \frac{\dot{S}_{i,j}}{U_{in}} - \frac{\dot{S}_i - \dot{S}_j}{U_{in}} Z_{i,j} = U_i - U_j \quad (4.1)$$

Бу тенгламадан номаълум қувват $\dot{S}_{i,j}$ ни топамиз:

$$\dot{S}_{i,j} = \frac{\dot{S}_i (\dot{Z}_{j,i} + \dot{Z}_{i,i}) + \dot{S}_j \dot{Z}_{i,i}}{\dot{Z}_{i,i} + \dot{Z}_{j,i} + \dot{Z}_{i,i}} + \frac{U_{in} (\dot{U}_i - \dot{U}_j)}{\dot{Z}_{i,i} + \dot{Z}_{j,i} + \dot{Z}_{i,i}} \quad (4.2)$$

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:

$$\dot{S}_{13} = \frac{\dot{S}_2(\dot{Z}_{22} + \dot{Z}_{23}) + \dot{S}_3\dot{Z}_{13}}{\dot{Z}_{22} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{33}} + \frac{U_n(\dot{U}_1 - \dot{U}_1)}{\dot{Z}_{13} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{33}}. \quad (4.3)$$

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

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

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

$$\dot{S}_{nn} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{S}_k \dot{Z}_{nk}}{\dot{Z}_{nn}} \quad (4.2)б$$

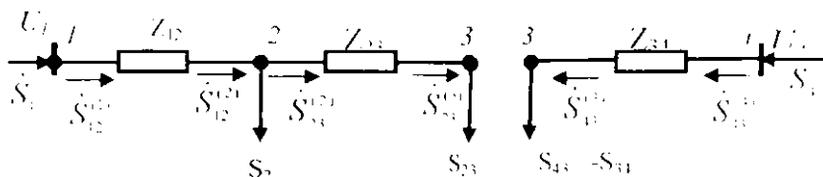
Бу ерда k -туғун номери; Z_{kn} , Z_{nk} – мос ҳолда k ва n ҳамда l ва k туғунлар орасидаги эквивалент тўла қаршиликлар, яъни бу туғунлар орасидаги шохобчаларнинг тўла қаршиликларинингидилари.

(4.2) формуладан номиналум 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 қаршиликлари билан тасвирланган).

Найдо бўлган чап томондан электр тармоқда қувват оқимининг ерофни элиборга олган ҳолдаги тақсимланишини 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:

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

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 тендир, яъни $\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)}$.

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

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

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

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1 - \frac{\dot{S}_1^{(1)}}{\dot{U}_1} Z_{12}, \quad \dot{U}_3 = \dot{U}_2 - \frac{\dot{S}_2^{(2)}}{\dot{U}_2} Z_{23}.$$

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 қийматларнинг ўртача арифметиги қабул қилинади.

Юқоридagилардан кўринадики, электр тармоқда қувват оқимларининг дастлабки тақсимланишини аниқлаш ва шунингдек, нерофни эътиборга олиш жараёнидаги ҳисоблашлар номинан кучланиш бўйича олиб борилиши сабабли натижаларнинг тақрибий қийматлари ҳосил бўлади. Шу сабабли ушбу усулдан электр тармоқларни 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 ortiq томондан таъминланувчи туғунларга эга бўлган ёки икки ва undan ortiq 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 қаршиликнинг қўнмаси ва ундаги тўла қувват оқими.

Агар (4.4) да тўла қаршиликлар 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:

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

(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:

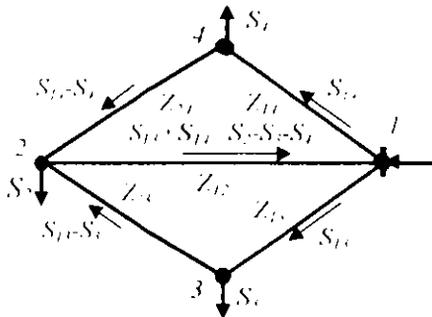
$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = 0, \quad (4.7a)$$

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

(4.7a) тенглама юкламаларининг қувватлари фақат актив ва шохобчаларининг қаршиликлари фақат реактив характерда бўлган контур учун ва (4.7b) тенглама юкламаларининг қувватлари фақат реактив ва шохобчаларининг қаршиликлари 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 ажратиш» 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 иккигла мустакил контурлар учун Кирхгофнинг 2-қонун бўйича (4.4) кўринишида ёзилган комплекс тенгламалар системасини ечиб, номбўлмлар \dot{S}_{13} , \dot{S}_{11} ларни тоғини орқали амалга оширилади:

$$\begin{cases} \dot{S}_{13} \dot{Z}_{13} + (\dot{S}_{11} - \dot{S}_1) \dot{Z}_{12} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{11} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) \dot{Z}_{12} = 0, \\ \dot{S}_{13} \dot{Z}_{13} + (\dot{S}_{13} - \dot{S}_3) \dot{Z}_{12} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{11} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4) \dot{Z}_{12} = 0. \end{cases}$$

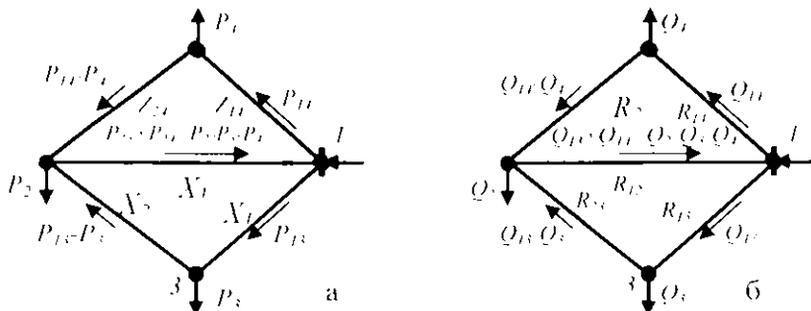
«Схемаларга ажратиш» усулида эса, 4.3-расмдаги схема қуйидаги схемаларга ажратилиб (4.4,а , 4.4,б - расм), улар учун юқоридаги қонун бўйича тузилган тенгламалардан иборат бўлган (4.7а) ва (4.7б) кўринишидаги ҳақиқий тенгламалар системаларини ечиш асосида актив ва реактив қувватлар оқимлари алоҳида ҳисобланади.

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 қаринишликлар ўрнида мос линияларнинг узунликлари пайдо бўлади:

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

$$\sum_{i=1}^n Q I_i = 0. \quad (4.8b)$$



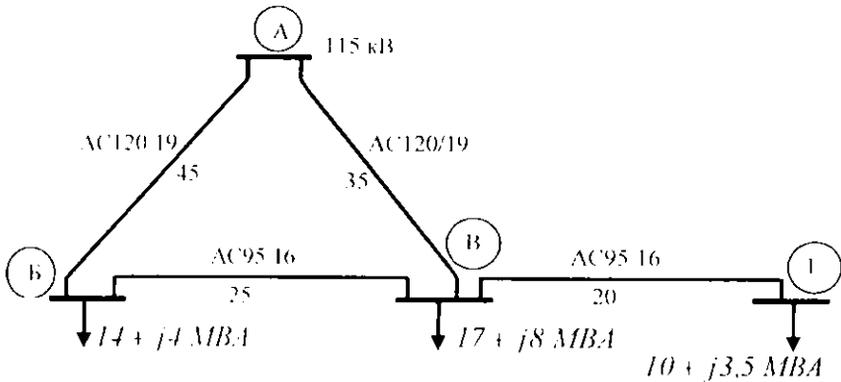
4.4-расм

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

4.3. Масалалар ечиш намуналари

4.1-масала. 110 кВ кучланишни электр тармони А подстанциянинг кучланиши 115 кВ бўлган шинасидан таъминланади. Подстанциянинг юкларлари, ўтказкичларнинг маркалари, линияларнинг километр бирлигидаги узунликлари 4.5-расмдаги схемада келтирилган. Электр тармоғида қувватларнинг тақсимланиши ва Б, В, Г подстанцияларнинг шиналаридаги кучланишларни тоиниш.

Ечиш. Қўлланма жадваллардан линияларнинг солиштирма параметрларини аниқлаймиш: АС120/19 маркадаги ўтказкичли 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 ўтказкичли 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-расм

Алмаштириш схемасининг ҳисоб параметрлари, подстанцияларнинг ҳисобий юкларининг топамиз ва электр гармоникни алмаштириш схемасини қурамиз (4.6-расм):

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

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

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

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

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

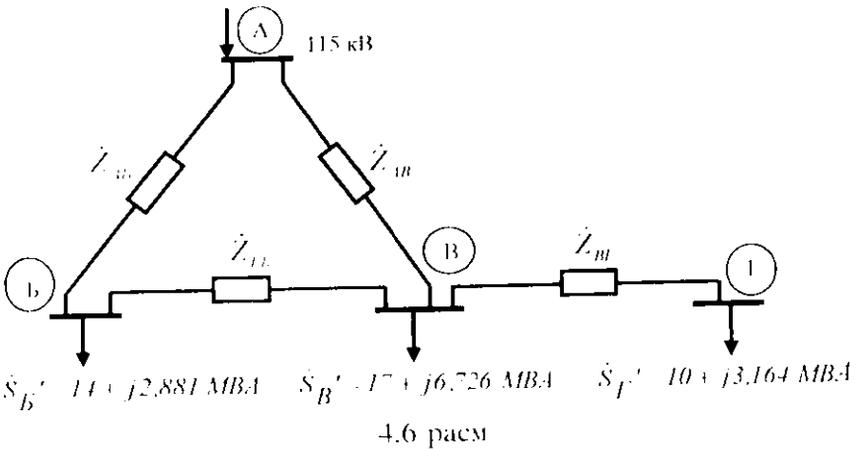
$$B_{BB} = 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 0,6525 \cdot 10^{-4} \text{ СМ};$$

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

$$\dot{S}_{B1} = P_{B1} + jQ_{B1} = P_{B1} + j \left(Q_{B1} - U_{B1}^2 \cdot \frac{B_{AB} + B_{BB}}{2} \right) =$$

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

$$\begin{aligned} \dot{S}_B' &= P_B' + jQ_B' = P_B + j \left(Q_B - U_n^2 \cdot \frac{B_{AB} + B_{1B} + B_{BI}}{2} \right) = 17 + j6,726 \text{ MVA}; \\ \dot{S}_I' &= P_I' + jQ_I' = P_I + j \left(Q_I - U_n^2 \cdot \frac{B_{BI}}{2} \right) = 10 + j \left(3,5 - 110^2 \cdot \frac{0,522 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 10 + j3,164 \text{ MVA}. \end{aligned}$$



BI линиясида кувват йерофи ва B нуктадаги суммарий юкларнинг топилиши:

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

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

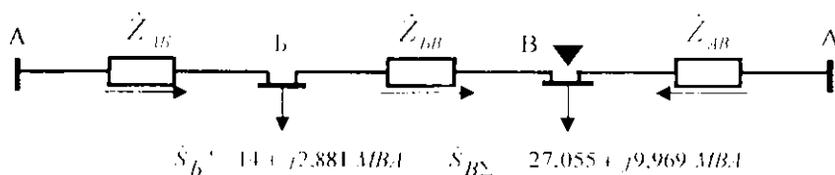
$$\dot{S}_m = 17 + j6,726 + 10 + j3,164 + 0,055 + j0,079 = 27,055 + j9,969 \text{ MVA}.$$

Халқасимон тармоқининг таъминлаш нуктида, яъни A подстанциясининг линиясининг очиб, чеккаларидаги кувватлишлар

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

AB бош бўлақдаги қувват оқимини ҳисоблаймиз:

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



4.7-расм

Bb бўлақдаги қувват оқими:

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

BA бўлақдаги қувват оқими:

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

\dot{S}_B қувватининг актив ва реактив таркили этувчилари олдидан манфий инҳорлар 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 xil йўл билан топишган қийматларининг бир хиллиги ҳисобланшларнинг тўғрилигини тасдиқлайди.

AB бўлақда қувватлар перофини тонамиз:

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

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

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 перофини тонамиз:

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

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

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 перофи:

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

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

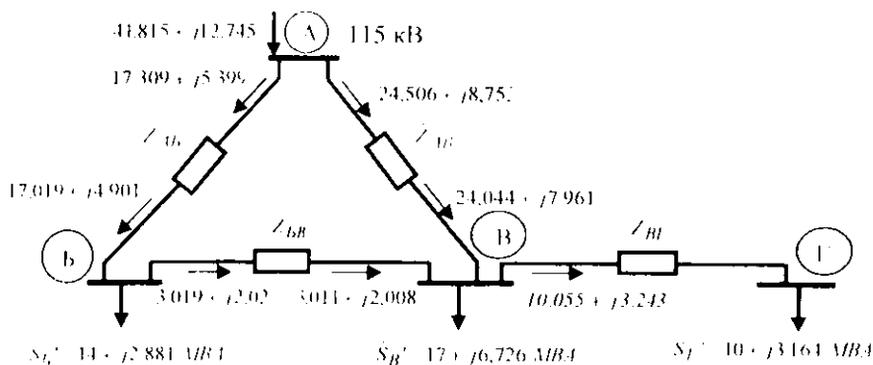
AB бўлақнинг бошланишидаги қувват:

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

Шундай қилиб, кўриляётган электр тармоғи A подстанциянинг шинасидан қуйидагича қувват олади:

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

Топишган қувват тақсимланши 4.8-расмда тасвирланган.



4.8-расм

Тугунлардаги кувватларни 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 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 кВ;

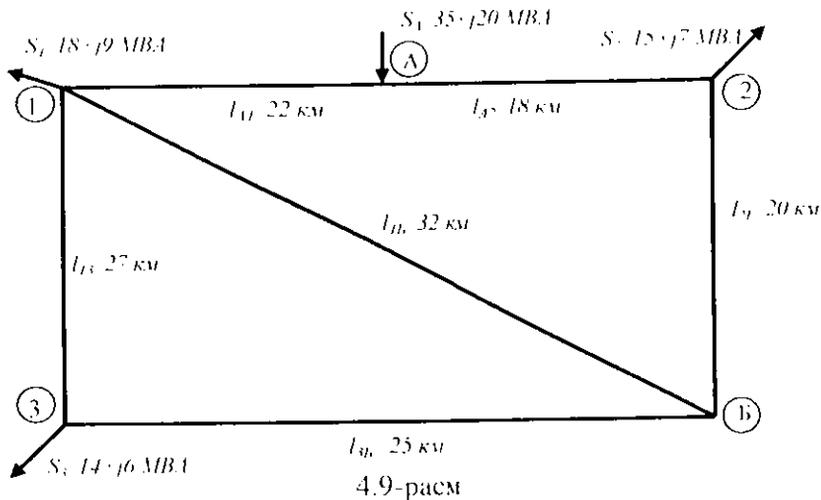
$$U_Г = U_A \cdot \frac{P_{ag} + r_{ag} + Q_{ag} \cdot x_{ag}}{U_A} = 112,6 \cdot \frac{10,055 \cdot 6,12 + 3,243 \cdot 8,68}{112,6} =$$

111,8 кВ.

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

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

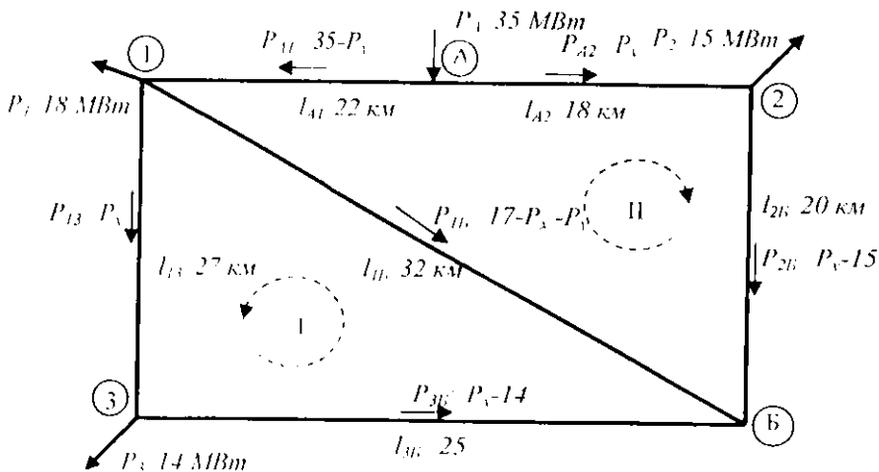
Ечиш. Электр тармоқнинг контурлари бир жинсли бўлганини учун улардаги кувват оқимларини линияларнинг узунликлари бўйича ҳисоблаймиз.



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

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

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 ихтиёрин қабул қилиб (масалан, 4.10-расмдан йўналишларда), уларни тугунлар учун Кирхгофнинг биринчи қонунидан фойдаланиб ифодалайміз.



4.10-расм

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

$$\begin{cases} 27P_1 + 25(P_3 - 14) - 32(17 - P_1 - P_3) = 0, \\ 18P_1 + 20(P_2 - 15) - 32(17 - P_1 - P_2) - 22(35 - P_1) = 0. \end{cases}$$

Пайдо бўлган системани ихчамлаб ечамиз ва натижада номальум қувват оқимларини тонамиз: $P_1 = 4,58 \text{ MBm}$, $P_2 = 15,96 \text{ MBm}$.

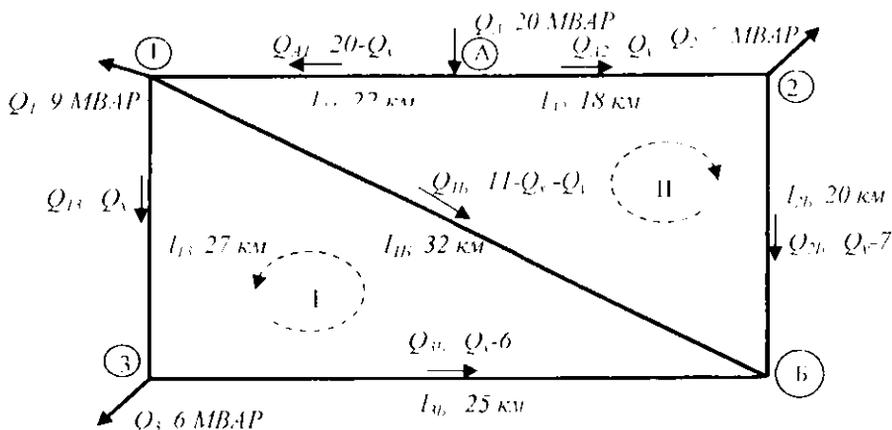
Тошилган қувватларни шохобчалардаги қувватлар оқимларининг ифодаларига (4.10-расм) қўйиб, уларни аниқлаймиз: $P_{12} = 15,96 \text{ MBm}$, $P_{21} = 0,96 \text{ MBm}$, $P_{A1} = 19,04 \text{ MBm}$, $P_{13} = 4,58 \text{ MBm}$, $P_{31} = -9,42 \text{ MBm}$, $P_{1B} = -3,54 \text{ MBm}$.

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

$$\begin{cases} 27Q_1 + 25(Q_3 - 6) - 32(11 - Q_1 - Q_3) = 0, \\ 18Q_1 + 20(Q_2 - 7) - 32(11 - Q_1 - Q_2) - 22(20 - Q_1) = 0. \end{cases}$$

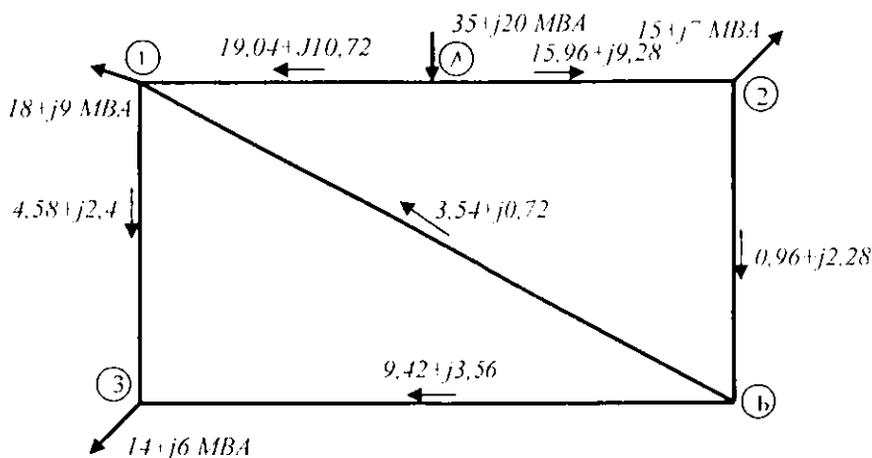
$$Q_1 = 2,44 \text{ MBm}, \quad Q_2 = 9,28 \text{ MBm}.$$

$$Q_{A2} = 9,28 \text{ MBAP}, \quad Q_{2B} = 2,28 \text{ MBAP}, \quad Q_{A1} = 10,72 \text{ MBAP}, \quad Q_{13} = 2,44 \text{ MBAP}, \\ Q_{31} = -3,56 \text{ MBAP}, \quad Q_{1B} = -0,72 \text{ MBAP}.$$



4.11-расм

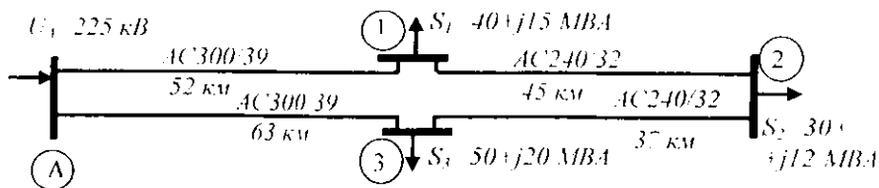
Шоҳобчалардаги тўла қувват оқимларининг аниқланган қийматларини 4.12-расмдаги схемада келтирамиз.



4.12-расм

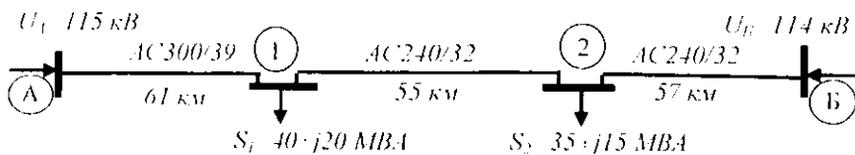
4.4. Мустақил ечиш учун масалалар

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



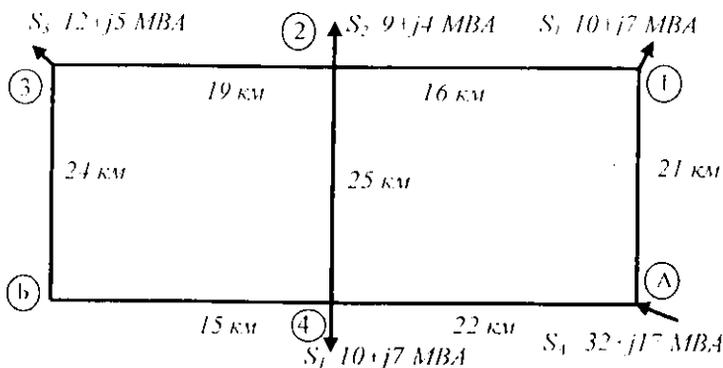
4.13-расм

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



4.14-расм

3. Схемаси 4.15-расмда келтирилган бир жинели контурлардан ташкил топган мураккаб ёшиқ 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 ўзариши 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 бевоқиф истеъмолчиларда амалга ошириладиган *маҳаллий* усулларга бўлинади.

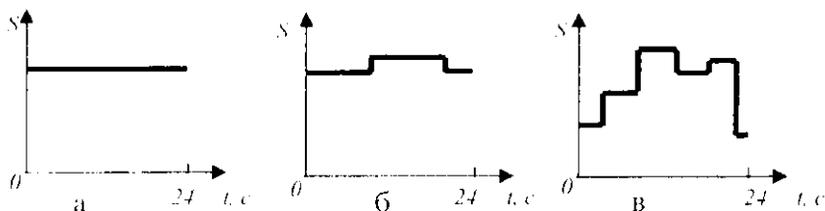
Кучланишни маҳаллий ростлашни турухли ва индивидуал усулларга бўлиш мумкин. Турухли ростлаш истеъмолчилар турухи учун, индивидуал ростлаш асосан махсус мақсадларда амалга оширилади.

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

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

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



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

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

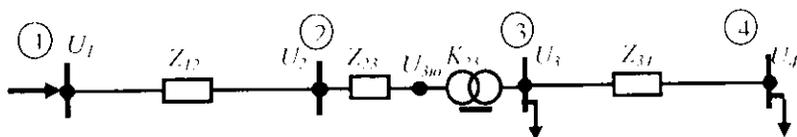
Кучланишни қарама-қарши ростлаш электр тармоқларда жуда кенг қўлланилади. Шу сабабли ушбу усул билан яқинроқ танишни мақсадида схемаси 5.2-расмда тасвирланган тармоқни кўриб ўтамиз. Унда Z_{12} 1 ва 2 пунктлар орасидаги линиянинг қаршиллиги; Z_{23} - 2- ва 3- пунктлар орасидаги туман подстанциясидаги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

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

Схемада кўрсатилган нукталардаги кучланишлар қуйидагича аниқланади:

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

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



5.2-расм. Электр тармоқда кучланишни қарама-қарини ростилаш

Минимал юкламалар ҳолатида 1-2 линия ва 2-3 трансформаторларда кучланиш ерофининг камайиши натижасида 3- ва 4- пунктларда уланган истеъмолчиларда кучланишнинг ортиши, максимал юкламалар ҳолатида эса кучланиш ерофининг 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 ҳолларда кучланишни ростилаш эҳтиёжи пайдо бўлади.

Минимал юкламалар ҳолатида U_3 ни 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 $1,05 \cdot 1,1 U_n$ га яқинроқ қийматгача орттирилади. Бу ҳолатда K_{23} нинг шундай стандарт қиймати танланиши лозимки, бунда қуйидаги шарт бажарилсин:

$$U_3 \geq (1,05 \div 1,1) U_n, \quad (5.3)$$

Шундай қилиб, таъминлаш марказидан узокдаги 4- ва унга яқиндаги 3- пунктлардаги истеъмолчиларда кучланишлар руҳсат 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 кучланишни ростлаш

Пасайтирувчи подстанцияларнинг трансформаторларидаги кучланишни ростлаш қурилмалари икки турга бўлинади: а) кўзгатишсиз 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 ўтамиз.

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:

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

бу ерда $K_{\gamma} = \frac{U_{\max}}{U_{\gamma n}}$ - трансформаторнинг трансформациялаш

коэффициенти; U_{\max} - ЮК чулғами ростлаш шохобчасининг кучланиши; $U_{\gamma n}$ - ҚК чулғамининг номинал кучланиши.

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

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

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

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

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

ҚК томонидаги кучланишнинг ҳақиқий қиймати (5.4) ифодадан топилади.

Тармоқнинг максимал ва минимал электрик ҳолатларини ҳисоблаш натижасида ҳар иккала ҳолат учун ҚК томонидаги кучланишнинг ЮК томонига келтирилган қийматлари $U_{3 \text{ю} \max}$ ва $U_{3 \text{ю} \min}$ топилади. Улар бўйича максимал ва минимал юклама ҳолатлари учун трансформатор юқори чулғамида хоҳланувчи ростлаш шохобчаси аниқланади:

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

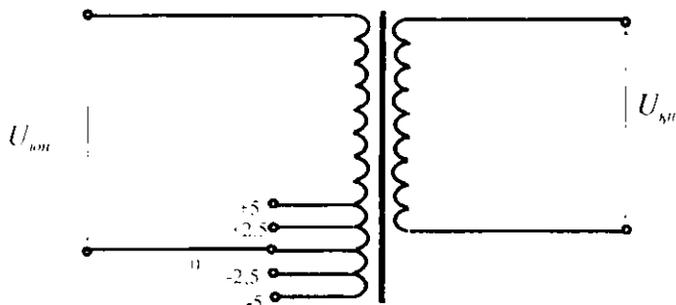
(5.5) бўйича аниқланган хоҳланувчи шохобчалар кучланишлари (5.2) ва (5.3) шартларни бажарувчи энг яқин стандарт қийматларга яхлитланади.

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 ($U_{\text{ном}}$). Бу шохобчага мос келувчи трансформациялаш коэффициентини 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 - куйи) чулғаи унга уланган тармоқнинг таъминлаш маркази ҳисобланади.

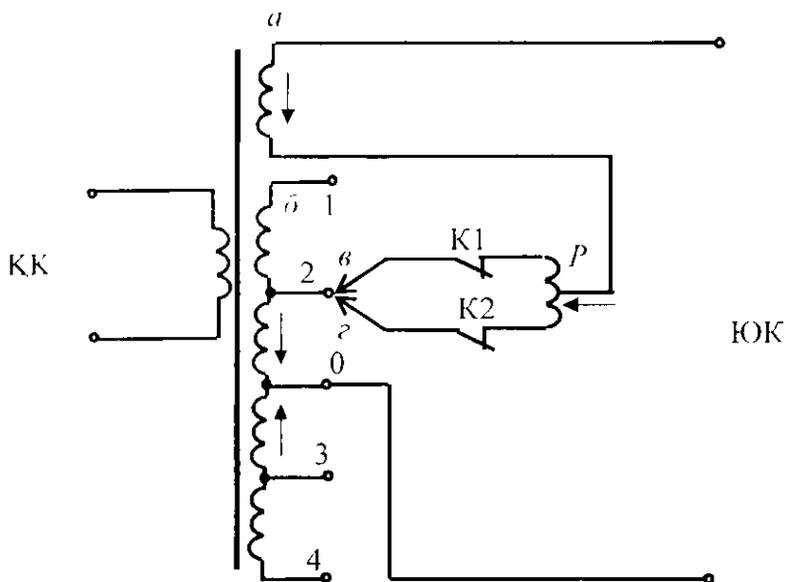
Шу сабабли трансформаторларда иккиламчи чулғамнинг номинал кучланиши тармоқнинг номинал кучланишига нисбатан каттадир. Бу фарқ кичик қувватли трансформаторлар учун 5% ва қолганлари учун 10% ни ташкил этади. Фараз қилайлик, асосий шохобчадан фойдаланилганда бирламчи шохобчага тармоқнинг номинал кучланишига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

кучланиш 5%. ҚАУли трансформатор шохобчасини ўзгартириб яхлиташган қийматлари қуйидагича бўлган кўшимча кучланишни олиш мумкин:

Бирламчи чулғам шохобчаси, %:	+5	+2,5	0	-2,5	5
Салт ишлаш ҳолатида ҚК томонидаги кучланиш ($U_{нл}/U_{н.н.}$):	1	1,025	1,05	1,075	1,1
Кўшимча 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 алмашлаб улаш учун аввало уни тармоқдан ажратиш талаб этилади. Бундай алмашлаб улашлар кам юктамаларни сезонли ўзгаришларини мўлжаллаб амалга оширилади. Шу сабабли сутка давомидаги максимал ва минимал юклама ҳолатларида (масалан, кундузи ва тунида) КАУли трансформатор битта ростловчи шохобча ва шунга мос ягона трансформациялаш коэффициентини билан ишлайди. Бунда кучланишни қарама-қарши ростлаш талабларини амалга ошириш, яъни (5.2) ва (5.3) шартларни бажариш мумкин эмас.

Ўрнатилган ЮОР қурилмани кучланишни юклама остида **ростловчи** трансформаторлар КАУли трансформаторлардан алмашлаб уловчи маҳсус қурилма ва шунингдек шохобчалар сонининг кўпчилиги, диапазонининг катталиги билан фарқ қилади. Масалан, ЮК чулғамининг асосий шохобчаси кучланиши 115 кВ бўлган трансформатор ҳар бири шохобчасидаги кучланиш кўпчилиги шохобчадаги кучланишлардан 1,78% дан фарқ қилувчи 18 та ростлаш даражали $\pm 16\%$ ростлаш диапазонига эга.

5.4-расмда ЮОРли трансформатор чулғамларининг схемаси тасвирланган. Бу трансформаторнинг ЮК чулғами икки қисмдан **ростланмайдиган** *a* ва **ростланадиган** *b* қисмлардан ташкил топган. Ростланадиган қисмининг 1-4 кўзгалмас контактларида бир қатор шохобчалар мавжуд. 1, 2 шохобчалар асосий чулғам ўрамлари билан бир хил йўналишдаги ўрамлар қисмига мос келади (токнинг йўналиши 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 уланиши трансформациялаш коэффициентини камайтиради, чунки улар асосий чулғам ўрамлари бир қисмининг таъсирини компенсациялайди. Трансформатор ЮК чулғамининг асосий чиққиш жойи бўлиб 0 нукта ҳисобланади.

Асосий чулғам ўрамлари билан бир хил ва қарама - қарши йўналишдаги ўрамлар сонини бир хил бўлмаслиги мумкин. Чулғамнинг ростловчи қисмида кўзгалувчи *v* ва *z*, кўзгалмас К1 ва К2 контактлардан ҳамда *P* реакторлардан ташкил топган алмашлаб уловчи қурилма мавжуд. Реакторнинг ўртаси трансформатор чулғамининг ростланмайдиган *a* қисми билан

гуташган. Нормал шароитда ЮК чулғами токи реактор чулғамининг иккага яримларига тенг тақсимланади. Шу сабабли бундай ҳолатда реакторда магнит оқими ва шунингдек кучланиш исрофи кам бўлади.

Фараз қилайлик, қурилмани шохобча 2 дан шохобча 1 га алмаштириб улаш талаб этилади. Бунда контактор К1 узилади. Қўзғалувчан контакт *в* шохобча контакти 1 га ўтказилади ва К1 контакт қайта уланади. Шундай қилиб, чулғамнинг 1, 2 секциялари Р реакторнинг чулғами орқали ёниқ уланиб қолади. Бу вақтда реакторнинг индуктивлиги чулғамнинг 1, 2 секциясидаги кучланиш таъсирида ҳосил бўлувчи тензилаштирувчи 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 коэффициентининг сутка давомида юклама остида ўзгартириш орқали қарама-қарши ростилаш талаби (5.2), (5.3) ни бажариш мумкин.

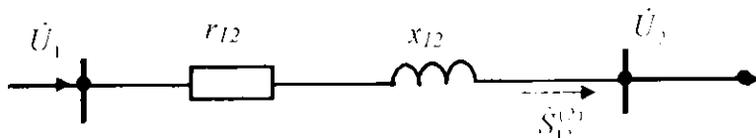
Линия ростилаш трансформаторлари (ЛРТ) ва кетма-кет рост ювчи трансформаторлар кучланишни алоҳида ЭУЛда ёки ЭУЛ гуруҳларида ростилаш учун қўлланилади. Шундай қилиб, улар кучланишни юклама остида ростламайдиган трансформаторлардан фойдаланилган мавжуд тармоқларни қайта қуришда қўлланилади. Бундай ҳолларда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

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

5.4. Кучланишни тармоқнинг қаршичилигини ўзгартириб ростилаш

(5.1) формулалардан кўринадики, исетьмолчидаги кучланиш тармоқдаги кучланиш исрофи қийматига боғлиқдир. Кучланиш исрофи эса ўз навбатида тармоқ қаршичилигига 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 қаршилигини 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 кўндалани қесимига 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 ташкил этувчиси (5.6) бўйича аниқланади. Фараз қилайлик, ЭУЛнинг охирида кучланиш рухсат этилганидан наст (5.6-расм):

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

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

Бунда юқоридаги ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

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

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 компенсациялашдан кейинги ҳолатларда тармоқ охиридаги кучланиш вектори (комплекс кучланиш) учун қуйидаги ифодалар ўринлидир:

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

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

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

$U_1, U_{2\text{рвн}}, r_{12}, x_{12}, P_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}$ ни билган ҳолда (5.7) дан x_k ни топиш ҳамда лозим бўлган кетма-кет ва параллел уланувчи конденсаторларнинг сонини тапплаш 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 $U_{k\text{ном}} < \frac{U_k}{\sqrt{3}}$, бўлса, у ҳолда бир нечта конденсаторлар кетма-кет уланиши лозим. Кетма-кет уланувчи конденсаторлар сони қуйидаги ифода бўйича топилади:

$$n = \frac{U_k}{\sqrt{3} U_{k\text{ном}}}.$$

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

$$I_{k\text{ном}} = \frac{Q_k}{U_{k\text{ном}}}.$$

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

Бунда

$$m = \frac{I_k}{I_{k\text{ном}}}.$$

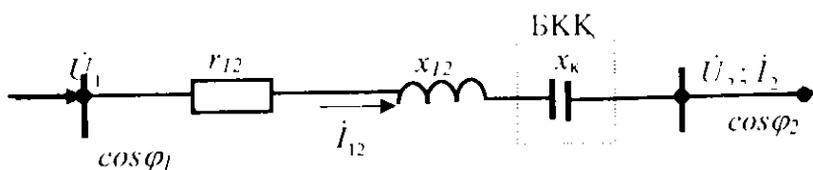
БКҚ сиғим қаршилигини ЭУЛ индуктив қаршилигига нисбатан фазлардаги киймати компенсациялаш фазиси деб аталади ва у қуйидагича топилади:

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

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

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

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

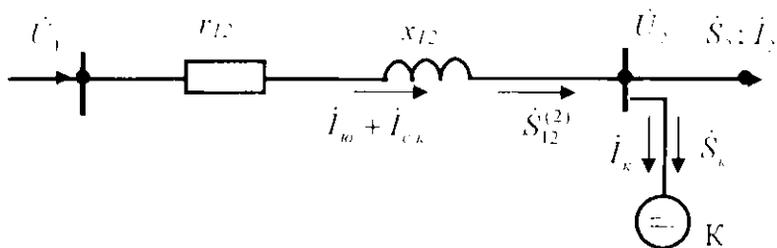


5.6-расм. Кучланишни бўйлама компенсациялаш орқали ростлаш

5.5. Кучланишни реактив қувват оқимини ўзгартириб ростлаш

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

оқимини ўзгартириш мумкин эмас. Таъминловчи тармоқларда реактив қаршилик актив қаршиликка nisbatan катта бўлганлиги учун қувват оқимларини ўзгартириб ростлашда қучланиш перофига $Q_{12}^{(2)}x_{12}$ кучли таъсир кўрсатади. Юқорида тармоқнинг реактив қаршилигини ўзгартириш орқали ушбу кўнайтмани ўзгартириш ва шу тариқа қучланишнинг ростлаш 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 ростлаш мисолида танинамиз.



5.7-расм. Қучланишнинг реактив қувватни компенсациялаш орқали ростлаш

Реактив қувват компенсатори улангандан олдин ЭУЛ охиридаги қучланиш қуйидагича аниқланади:

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

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

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

Компенсаторнинг қучланишнинг рухсат этилган қийматини таъминлайдиган қувватини топамиз. Бунинг учун (5.9) формулада линия охиридаги қучланиш унинг хоҳланган қийматига тенглашган (яъни $U_2 = U_{2\text{ном}}$) деб ҳисоблаймиз ва (5.9) даги U_2 ўрнига унинг (5.8) дан олинган ифодасини қўямиз. Натижада компенсатор қуввати учун қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$Q_k = \frac{(U_{2, \text{нов}} - U_2)[U_{2, \text{нов}} U_2 - (P_2 r_{12} + Q_2 x_{12})]}{U_2 x_{12}}$$

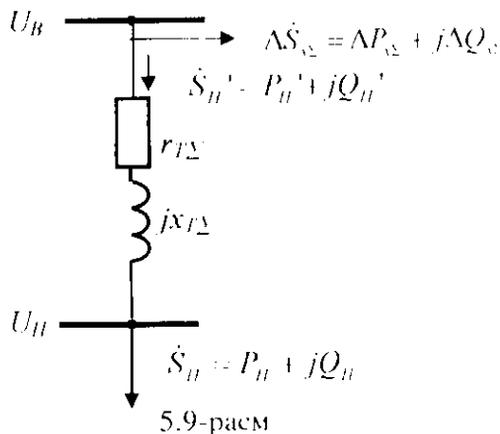
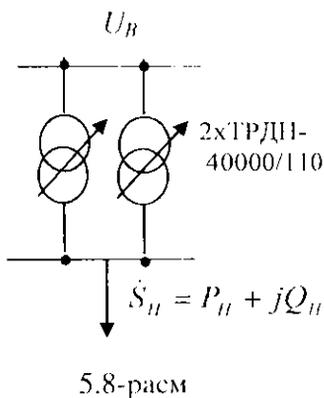
Агар $1/U_{2, \text{нов}} \approx 1/U_2$ деб қабул қилсак, бу ифода янада соддалашади:

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

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: $r_{T2} = 0,7 \text{ Ом}$, $x_{T2} = 17,35 \text{ Ом}$.



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

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

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

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

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

$$P_{\text{макс}}' = P_{\text{эл.к}}' - P_{\text{макс}} + \Delta P_{I, \text{макс}} = P_{\text{макс}} + \frac{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_{T2} =$$

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

$$Q_{\text{макс}}' = Q_{\text{эл.к}}' - Q_{\text{макс}} + \Delta Q_{I, \text{макс}} = Q_{\text{макс}} + \frac{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_{T2} =$$

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

$$P_{\text{мин}}' = P_{\text{эл.к}} + \Delta P_{I, \text{мин}} = P_{\text{мин}} + \frac{P_{\text{мин}}^2 + Q_{\text{мин}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r_{T2} =$$

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

$$Q_{\text{мин}}' = Q_{\text{эл.к}} + \Delta Q_{I, \text{мин}} = Q_{\text{мин}} + \frac{P_{\text{мин}}^2 + Q_{\text{мин}}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_{T2} =$$

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

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

$$U_{\text{к макс}}' = \sqrt{\left(U_{\text{нр макс}} - \frac{P_I' r_{T2} + Q_I' x_{T2}}{U_{\text{нр макс}}} \right)^2 + \left(\frac{P_I' x_{T2} - Q_I' r_{T2}}{U_{\text{нр макс}}} \right)^2} =$$

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

$$107,01 \text{ кВ}.$$

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

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

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

шохобча номери $n = 4$;

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

Ушбу шохобча танланганда қуйи томондаги кучланишнинг ҳақиқий қийматини хоҳланган қийматга мос келишини текширамыз:

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

Минимал юклама ҳолати учун ҳам ҳисоблашни шу тарзда амалга оширамыз:

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

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

$$= 112,12 \text{ кВ}.$$

Кучланишнинг қарама-қарши ростлан шартларига мувофиқ ушбу ҳолат учун қуйи томондаги кучланишнинг хоҳланган қийматини $U_{\kappa \text{ мин}}^{\text{нов}} = 1,0 \cdot U_{\kappa \text{ ном}} = 10,0 \text{ кВ}$ қабул қиламыз.

У ҳолати,

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

$$n_{\text{шов}}^{\text{н.у.}} = \frac{U_{\text{мин.шов.ст.}}^{\text{н.у.}} - U_{\text{к.ном.}}}{\Delta U_{\text{роств}}^0} = \frac{117,73 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 1,33; \quad n = 1.$$

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

Текшириш:

$$U_{\text{к.н.в.}}^{\text{н.у.}} = \frac{U_{\text{к.ном.}} + U_{\text{к.н.в.}}}{U_{\text{мин.шов.ст.}}} = \frac{112,12 + 10,5}{117,05} = 10,06 \text{ кВ} \approx 10 \text{ кВ}.$$

Авариядан кейинги ҳолат учун ҳисоблашларни амалга оширамиз:

$$U_{\text{к.ном.}}^{\text{н.у.}} = \sqrt{\left(102 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{102}\right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{102}\right)^2}.$$

96,06 кВ;

$$U_{\text{мин.шов.ст.}}^{\text{н.у.}} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{10,5} = 96,06 \text{ кВ};$$

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

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

Текшириш:

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

5.2-масала. Насайтирувчи подстанцияда иккита ТДТН-40000/110 тиндаги уч чулғамли трансформаторлар параллел ҳолда ўрнатилган (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 куйи томонида кучланишни ростлаш учун трансформаторларнинг юқори томонида чиқиш жойларида ўрнатилган ростлаш диапазони $\pm 9 \times 1,78\%$ бўлган ЮОР қурилмалари хизмат қилади.

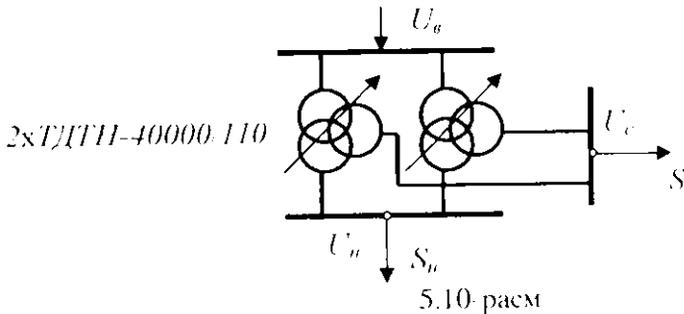
Максимал ва минимал юклама ҳолатларида подстанциянинг ўрта ва куйи томонларидаги юкламалар куйидагича:

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

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

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

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



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

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

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

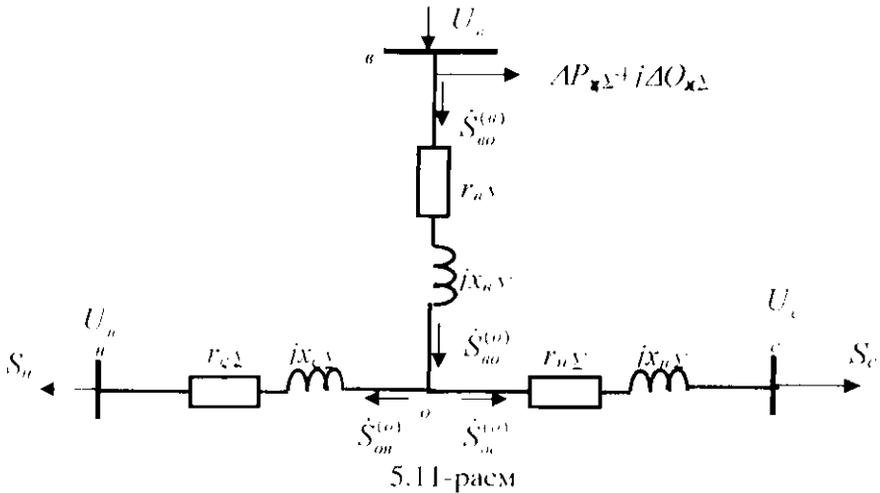
Электр тармоқнинг максимал юклама ҳолатини икки босқичли усул ёрдамида ҳисоблаш асосида ўрта ва қуйи томондаги кучланишларнинг юқори кучланиш даражасига келтирилган қийматларини топамиз.

1-босқич. Ўрта кучланиш чулғамларида қувватлар исрофи:

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

o-c шохобчанинг бошланишидаги қувватлар оқими:

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



5.11-расм

Куйи куцланиш чулғамларидаги қувватлар иерофи ва $o-n$ шохобчанинг бошланғичидаги қувватлар оқимини ҳам шу тарзда топамиз:

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

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

$o-o$ шохобчанин охиридаги қувватлар оқими:

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

Юкори куцланиш чулғамларидаги қувватлар иерофи:

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

в-о шохобчанини бошлангишидаги қувватлар оқими:

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

2-босқич. Берилган қувватниш $U_{а,макс}$ ва тошмаган қувватлар оқимлари бўйича алоҳида чулғамларда қувватниш перофлари ҳамда ўрта ва қуйи томонларидаги қувватнишларнинг юқори қувватниш даражасига келтирилган қийматларини топамиз:

$$\begin{aligned}\Delta U_a - \Delta U_{ав} &= \frac{P_{ав}^{(в)} \cdot r_{а\Delta} + Q_{ав}^{(в)} \cdot x_{а\Delta}}{U_{ав}} = \\ &= \frac{40,114 \cdot 0,47 + 21,063 \cdot 17,7}{112} = 3,5 \text{ кВ};\end{aligned}$$

$$U_{а,макс} - U_{ав,макс} - \Delta U_a = 112 - 3,5 = 108,5 \text{ кВ};$$

$$\Delta U_c - \Delta U_{ав} = \frac{P_{ав}^{(в)} \cdot r_{с\Delta} + Q_{ав}^{(в)} \cdot x_{с\Delta}}{U_{ав,макс}} = \frac{25,028 \cdot 0,47}{108,5} = 0,11 \text{ кВ};$$

$$U_{с,макс} - U_{ав,макс} - \Delta U_c = 108,5 - 0,11 = 108,39 \text{ кВ};$$

$$\begin{aligned}\Delta U_n - \Delta U_{ав} &= \frac{P_{ав}^{(в)} \cdot r_{н\Delta} + Q_{ав}^{(в)} \cdot x_{н\Delta}}{U_{ав,макс}} = \\ &= \frac{15,011 \cdot 0,47 + 8,232 \cdot 10,3}{108,5} = 0,85 \text{ кВ};\end{aligned}$$

$$U_{н,макс} - U_{ав,макс} - \Delta U_n = 108,5 - 0,85 = 107,65 \text{ кВ};$$

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

1-босқич.

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

$$\dot{S}_{ав}^{(в)} = \dot{S}_{с,мин} + \Delta \dot{S}_{с,мин} = 14 + j7 + 0,01 = 14,01 + j7 \text{ МВА}.$$

$$\Delta \dot{S}_{u, \text{min}} = \frac{P_{u, \text{min}}^{(r)} + Q_{u, \text{min}}^{(r)}}{U_{u, \text{min}}^2} \cdot (r_{u, \Sigma} + jx_{u, \Sigma}) =$$

$$= \frac{10^7 + 6^7}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = 0,005 + j0,116 \text{ MVA};$$

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

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

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

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

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

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

2-боқшч.

$$\Delta U_{u, \Sigma} = \Delta U_{u, \text{min}} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(r)} \cdot r_{u, \Sigma} + Q_{u, \Sigma}^{(r)} \cdot x_{u, \Sigma}}{U_{u, \text{min}}^2} =$$

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

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

$$\Delta U_{u, \Sigma} = \Delta U_{u, \Sigma} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(r)} \cdot r_{u, \Sigma} + Q_{u, \Sigma}^{(r)} \cdot x_{u, \Sigma}}{U_{u, \text{min}}^2} = \frac{14,01 \cdot 0,47}{111,86} = 0,06 \text{ кВ};$$

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

$$\Delta U_{u, \Sigma} = \Delta U_{u, \Sigma} = \frac{P_{u, \Sigma}^{(r)} \cdot r_{u, \Sigma} + Q_{u, \Sigma}^{(r)} \cdot x_{u, \Sigma}}{U_{u, \text{min}}^2} = \frac{10,005 \cdot 0,47 + 6,116 \cdot 10,3}{111,86} = 0,61 \text{ кВ};$$

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

Максимал юклама ҳолатида қўйи томонда кучланишнинг ҳоҳланган қиймати $U_{u, \text{max}}^{(r)} = 1,05 \cdot U_{u, \text{min}} = 10,5 \text{ кВ}$ ни таъминлаш учун ЮОР қурилмасининг мос ростловчи прохобчасини таълаймиз:

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

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

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

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

Текшириш:

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

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

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

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

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

$n_{\text{шох мин}} = 1$ танлаймиз.

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

Текшириш:

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

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

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

$$U_{c, \max}^{\text{ср}} = \frac{(U_{c, \max, \text{макс. см}} + U_{c, \max, \text{мин. см}}) \cdot U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}}}{U_{c, \max}^{\text{ср}} + U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}}} = \frac{(106,812 + 117,047) \cdot 38,5}{(108,39 + 111,8)} = 39,142 \text{ кВ};$$

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

$n_{\text{шоx}} = 1$ қабул қиламиз.

$$U_{c, \max, \text{см}} = U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}} + n_{\text{шоx}} \cdot 0,025 \cdot U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}} = 38,5 + 0,025 \cdot 38,5 = 39,462 \text{ кВ}.$$

Текшириш:

$$U_{c, \max}^{\text{ср}} = \frac{U_{c, \max}^{\text{ср}} \cdot U_{c, \max, \text{см}}}{U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}}} = \frac{108,39 \cdot 39,462}{106,812} = 40,04 \text{ кВ}.$$

$$U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}} = \frac{U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}} \cdot U_{c, \max, \text{см}}}{U_{c, \max, \text{см}}} = \frac{111,8 \cdot 39,462}{117,047} = 37,69 \text{ кВ}.$$

5.3-масала. Пасайтирувчи подстанцияда иккита АТДЦПН - 125000/220/110 тидаги 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: $U_{c, \max}^{\text{ср}} = 225,4$ кВ; $U_{c, \max}^{\text{к}} = 220,7$ кВ; $U_{c, \text{ср}}^{\text{ср}} = 221,5$ кВ; $U_{c, \text{ср}}^{\text{к}} = 219,3$ кВ; $U_{c, \text{авт/к}}^{\text{ср}} = 200,7$ кВ; $U_{c, \text{авт/к}}^{\text{к}} = 195,8$ кВ.

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

Үчүн. Максималь юклама ҳолатида ўрта томондаги кучланишнинг хоҳланган қийматини $U_{\gamma \text{ макс}}^{\text{воу}} = 1,1 \cdot U_{\text{нон}} = 121 \text{ кВ}$ қабул қилиб, ЮОРнинг мос ростловчи шохобчасини аниқлаймиз:

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

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

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

Демак, стандарт шохобча кучланиши

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

Ўрта томондаги кучланишнинг ҳақиқий қийматини текшираимиз:

$$U_{\gamma \text{ макс}}^{\text{воу}} = \frac{U_{\gamma \text{ макс}}^{\text{воу}} U_{\text{ушох ст}}}{U_{\text{нон}}} = \frac{225,4 \cdot 123,42}{230} = 120,95 \text{ кВ}.$$

Пайдо бўлган қиймат хоҳланган қийматга руҳсат этилган даражада жуда яқин.

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

$$U_{\gamma \text{ макс}}^{\text{воу}} = 10,5 = \frac{\Delta U_{\text{н макс}}^{\text{воу}} U_{\text{нон}}}{U_{\text{нон}}} + \Delta e_{\text{н макс}}^{\text{воу}}.$$

Демак,

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

Бунга мос равишда

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

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

Текшириш:

$$U_{\kappa_{\max}}^{y_{\kappa}} = \frac{U_{\kappa_{\max}} \cdot (U_{\kappa_{\text{от}}} + 0,015 \cdot n_{\max} \cdot U_{\kappa_{\text{от}}})}{U_{\kappa_{\text{от}}}} = \frac{220,7 \cdot 11}{230} = 10,55 \text{ кВ} \approx 10,5 \text{ кВ}.$$

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

Ўрта томонда кучланишни ростлаш:

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

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

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

$$U_{\text{орта, макс}}^{y_{\text{орта}}} = 121 - 0,02 \cdot 121 = 118,58 \text{ кВ};$$

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

Куйи томонда кучланишни ростлаш:

$$U_{\text{куйи}}^{y_{\text{куйи}}} = 1,0 U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ},$$

$$\Delta e_{\text{куйи}}^{y_{\text{куйи}}} = \frac{U_{\text{ном}} U_{\text{куйи}}^{y_{\text{куйи}}} - U_{\kappa_{\text{мин}}} U_{\kappa_{\text{от}}}}{U_{\text{куйи}}^{y_{\text{куйи}}}} = \frac{230 \cdot 10 - 219,3 \cdot 11}{219,3} = -0,51 \text{ кВ};$$

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

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

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

Бунда

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

бўлганлиги учун $n=6$ танлаймиз.

Демак,

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

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

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

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

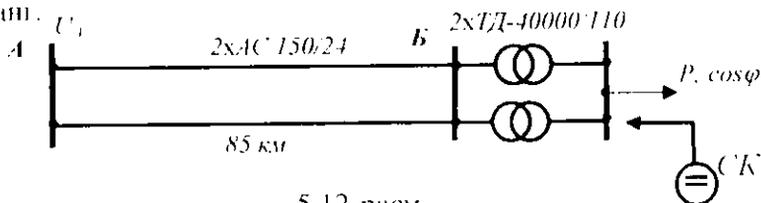
$$n_{\text{сум}, \text{к}}^{\text{н}} = \frac{1,33}{0,015 \cdot 11} = 8,06; \quad n_{\text{сум}, \text{к}} = 8.$$

Текшириш:

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

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

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



5.12-расм

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

Линия АВ — ўтказгич АС150/24, $r_0=0,198$ Ом/км, $x_0=0,42$ Ом/км, $b_0=2,7 \cdot 10^6$ СМ/км:

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

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

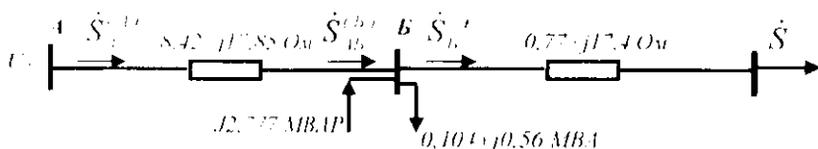
$$B_{AB} = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^6 \cdot 85 = 4,59 \cdot 10^4 \text{ СМ}.$$

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

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

$$\Delta \dot{S}_T = \Delta P_T + j \Delta Q_T = 0,104 + j0,56 \text{ МВА}.$$

$$r_T = 0,77 \text{ Ом}, \quad x_T = 17,4 \text{ Ом}.$$



5.13-расм

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

Максимал юклама ҳолати:

$$\begin{aligned} \dot{S}_B' &= \dot{S}_{мин} + \Delta \dot{S}_T = 45 + j45 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,85^2}}{0,85} + \\ &+ \frac{45^2}{110^2 \cdot 0,85} \cdot (0,77 + j17,4) = 45,178 + j31,918 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{AB}' &= 45,178 + j31,918 + 0,104 + j0,56 - j2,777 = \\ &= 45,282 + j29,701 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

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

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

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

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

Минимал юклама ҳолати:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

максимал юклама ҳолатида

$$U_{\text{к. макс. макс.}} = \frac{102,96 \cdot 10,5}{114,95} = 9,4 \text{ кВ};$$

минимал юклама ҳолатида

$$U_{\text{к. мин. макс.}} = \frac{108,57 \cdot 10,5}{114,95} = 9,92 \text{ кВ}.$$

Синхрон компенсатор ёрдамида ростланиши лозим бўлган кучланиш беғиллини аниқлаймиз:

максимал юклама ҳолатида

$$\Delta U_{\text{к. макс.}} = 10,5 - 9,4 = 1,1 \text{ кВ};$$

минимал юклама ҳолатида

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

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

$$\frac{U_{\text{синхрон}}}{U_{\text{кн}}} \cdot \Delta U_{\text{к. макс.}} = \frac{Q_{\text{ск. макс.}} \cdot (\lambda_{\text{ЛВ}} + \lambda_{\text{Г}})}{U_{\text{к. макс. макс.}} \cdot U_{\text{кн}}}$$

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

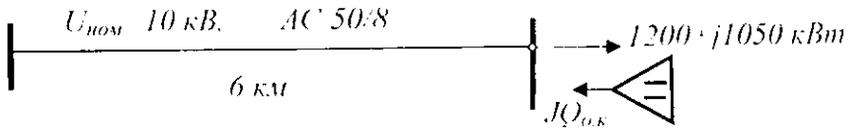
Минимал юклама ҳолати учун ҳам синхрон компенсаторнинг лозим бўлган қувватини шу каби ҳисоблаймиз:

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

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

5.5-масала. Бош пасайтирувчи подстанциядан 5 км масофада жойлашган подстанция АС 50/8 маркали ўтказгичдан тайёрланган ёқоч таянчлардаги ҳаво линияси орқали таъминланади. Ўтказгичлар томони 1750 мм бўлган тенг томонли учбурчакнинг учларида жойлашган. Линиядан узатилувчи қувват 1200+j1050 кВ·А (5.14-расм).

Линияда кучланиш 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 $D_{\text{вр}} = 1750 \text{ мм}$ бўлган 10 кВ кучланишли линиянинг солиштирма қаршиликларини аниқлаймиз:

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

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 $\Delta U_{\text{рв}} = 500 \text{ В}$ 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:

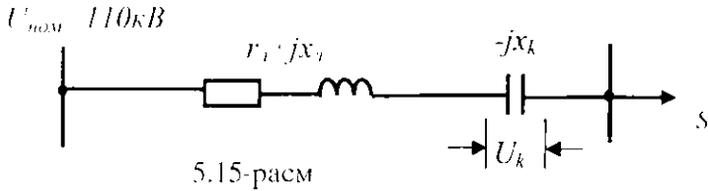
$$Q_{0.к} = \frac{U(\Delta U - \Delta U_{\text{рв}})}{x_0} = \frac{(565,5 - 500) \cdot 10}{5 \cdot 0,388} = 337,6 \text{ кВАР}.$$

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 $S_2 = 12 + 6 \text{ МВА}$. 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 (КС2А-0,66-40) иборат бир фазали стандарт конденсаторлардан (КС2А-0,66-40) иборат

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

Конденсаторлар батареясида талаб этилган конденсаторлар сони, батареянинг номинал кучланиши ва ўрнатилган кувватиши аниқланди.



Ечиш. Кўриляётган 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 шarti бўйича рухсат этилган кучланиш исрофи:

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

Линияда кучланиш исрофини 2,35 кВ гача қамайтирувчи конденсаторларнинг қаршил�ини 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 тидаги конденсаторнинг қаршиллигини аниқлаймиз:

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

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

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

$n=3$ та этиб танлаймиз.

Шундай қилиб, линиянинг учта фазасидан конденсаторларнинг умумий сони

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

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 қаршиллиги:

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

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 тидаги 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 чиқиб жойларида ростлаш диапазони $\pm 2 \times 2,5\%$ бўлган ҚАУ қурилмаси билан жиҳозланган. Қуйи томонида кучланишни ростлаш учун трансформаторларнинг юқори чулғамидан чиқиб 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:

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

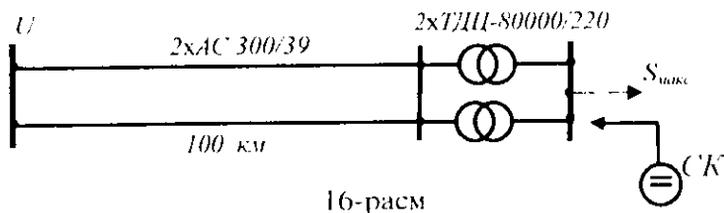
$$\dot{S}_{\lambda_{\min}} = 22 + j10 \text{ МВА}; \quad \dot{S}_{\lambda_{\max}} = 19 + j9 \text{ МВА}$$

220 кВ кучланишли тармоқнинг максимал ва минимал ҳолатларини ҳисоблаш натижасида подстанциянинг юқори шинасида аниқланган кучланишлар $U_{\text{ю.макс}}=224$ кВ ва $U_{\text{ю.мин}}=226$ 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.

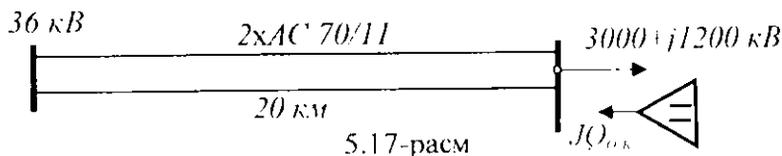
Подстанциянинг қуйи томонида кучланишни қарама-қарши ростлашни таъминловчи синхрон компенсаторнинг минимал қувватини аниқланг.



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 узатилувчи қувват $3200 + j1700$ кВ·А (5.17-расм).

Агар таъминлаш пунктидаги кучланиш 36 кВ бўлса, у ҳолда истеъмолчи пунктида 35 кВ кучланишни таъминлаш учун юклагама 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 узатилувчи 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 сони, батареянинг умумий қуввати ва ундаги кучланиш нерофини аниқлаш.

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

Конденсатор батареясининг конденсаторлари сони, батареянинг номинал кучланиши ва қувватини аниқлаш.

6. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

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

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

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

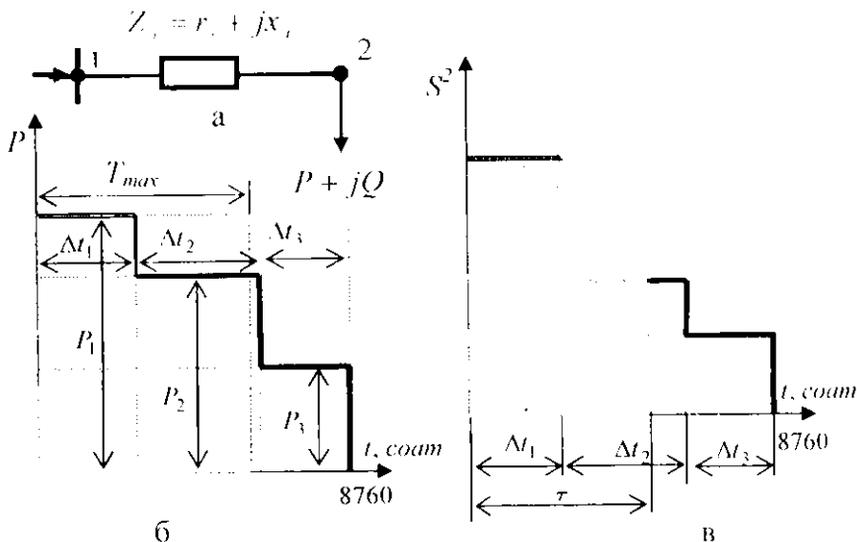
Юкламаси йил давомида ўзгариб турувчи электр тармоғида йиллик энергия нерофини турли усуллар ёрдамида ҳисоблаш мумкин. Мавжуд барча усулларни уларда фойдаланилувчи математик моделга боғлиқ равишда иккита катта гуруҳга бўлиш мумкин. Булар - аниқ ва ахтимолий-статистик усуллардир.

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

Юклама графиклари суткалик ва йиллик бўлиши мумкин.

Суткалик графиклар юклама қувватларини сутка давомида, йиллик графиклар эса йил давомида ўзгаришини ифодалайди. 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 топдаги суткалар сонини ҳисобга олиб (шанба, якшанба, душанба, иш куни) юкламанинг ҳар бир қиймати учун бир йил давомидаги соатлар сонини аниқланади. Аввало, юклама максимал бўлган вақт давомийлиги, сўنгра юклама қувватинини бошқа қийматлари учун (камайиб бориш тартибида) вақт давомийликлари аниқланади.

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} r_i \quad (6.2)$$



6.1-расм. Электр энергия исрофини юклама графиги ва максимал исрофлар вақти бўйича аниқлаш

а) ЭУЛнинг схемаси; б) уч погонали юклама графиклари; в) уч погонали S^2 графиги

Йиллик 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 тармоқнинг 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.

ΔP_i вақт давомида икки чулғамли трансформатордаги қувват ва энергия исрофлари қуйидагича ҳисобланади:

$$\Delta P_i = \Delta P_k \left(\frac{S_{2i}}{S_{\text{ном}}}} \right)^2 + \Delta P_c; \quad (6.10)$$

$$\Delta W_i = \left[\Delta P_k \left(\frac{S_{2i}}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_i \right] \Delta t_i. \quad (6.11)$$

Бу ерда $\Delta P_k, \Delta P_i$ - мос равнища 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 графикнинг i -поғонасида исроф бўлувчи қувват ва йиллик энергия исрофи мос равнища 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 ΔP_{\max} топилади. Йил давомидаги энергия исрофи максимал қувват исрофини максимал исрофлар вақти τ га кўпайтириб топилади:

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \tau. \quad (6.14)$$

Максимал исрофлар вақти шундай вақтки, 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 ыстемолчи томонидан кабул қилинган электр энергия орасида қуйидаги тартибда боғланишни ўрнатиш мумкин.

Ыстемолчи 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 вақти T_{\max} шуидай вақтки, бу вақт давомида максимал юклама билан ышловчи ыстемолчи тармоқдан олган энергияси бир йил давомида у юклама графиги бўйича ышлаб тармоқдан олган энергияга тенг бўлади, яъни

$$P_{\max} T_{\max} = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i, \quad T_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i}{P_{\max}}. \quad (6.17)$$

$S^2 = f(t)$ графигни курамиз (6.1,в-расм). Фараз қилайлик, юклама графигининг i -поғонасида қувват ырофининг тахминий қиймати номинал қувватини бўйича топилади, яъни (6.8) ининг ўрнига қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_{\min}^2} r_i.$$

Агар $r_i / U_{\min}^2 = const$ 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, кўрилайтган ҳолатда электр энергия ырофи маълум масштабда 6.1,в- расмдаги ажратиб кўрсатилган фиғуранинг юзасига тенгдир.

τ учун юқорида келтирилган таърифга мувофиқ

$$S_{\max}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i, \quad \tau = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i}{S_{\max}^2}. \quad (6.18)$$

Инк кўринишидаги юклама графиглари учун τ ининг қиймати қуйидаги эмперик формула бўйича топилиши мумкин:

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760. \quad (6.19)$$

(6.19) формуладан йил учун максимал нерофлар вақтини топишда (яъни $T = 8760$ соат бўлганда) фойдаланиш мумкин. Бунга nisbatan кичик вақт давоми учун ҳисоблаш аниқлигини ошириш мақсадида (6.19) ўрнига қуйидаги ифодадан фойдаланиш мақсадга мувофиқ:

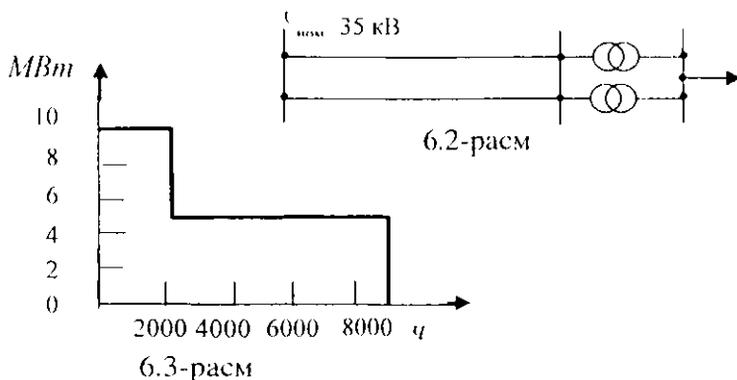
$$\tau = 2T_{max} - T + \frac{T - T_{max}}{1 + \frac{T_{max}}{T} - \frac{2P_{min}}{P_{max}}} \cdot \left(1 - \frac{P_{min}}{P_{max}} \right). \quad (6.20)$$

Шунингдек τ ни аниқлашда кўнаиб 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 кучланишли 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 ($AP_1=9,2$ кВт, $AP_2=46,5$ кВт). $\cos \varphi=0,9$.



Ечиш. Юклама максимал бўлган ҳолатдаги қувватлар исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta P_1 = 0,5 \cdot \Delta P_2 \cdot \left(\frac{P_{\max}}{S_{\min} \cos} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_2 = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left(\frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_1 = \frac{S_{\max}^2}{U_{\min}^2} \cdot r_1 \cdot \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = \frac{\Delta P_2}{P_n} = \frac{301,57 \cdot 100}{10000} = 3\%.$$

Бу ерда $\Delta P_1, \Delta P_2$ - 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:

$$T_{\text{макс}} = \frac{W}{P_{\text{макс}}} = \frac{53,8 \cdot 10^4}{10} = 5380 \text{ соат};$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{макс}}}{10000} \right) \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5380}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3840 \text{ соат};$$

$$\Delta W = (71,17 + 211)3840 + 18,4 \cdot 8760 = 1248 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{соат};$$

$$\Delta W = \frac{1248 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,32\%.$$

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 куйидаги 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 $T_{\text{а,макс}} = 4500 \text{ соат}$ 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 куйидаги исрофларни топишимиз:

$$\Delta P_{\text{а,макс}} = 0,011 \text{ МВт}, \quad \Delta P_{\text{у,макс}} = 0,028 \text{ МВт}, \quad \Delta P_{\text{ю,макс}} = 0,075 \text{ МВт}.$$

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 куйидаги формула бўйича ҳисобланувчи қийматидан фойдаланамиз:

$$T_{ю.макс} = \frac{P_{у.макс} T_{у.макс} + P_{\lambda.макс} T_{\lambda.макс}}{P_{у.макс} + P_{\lambda.макс}} = \frac{25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500}{25 + 15} = 5312,5 \text{ соат}$$

Юкори ўрта ва куйи чулғамлар учун макенмаи нерофлар вақтини ҳисоблаймиз:

$$\tau_{ю} = \left(0,124 + \frac{T_{ю.макс}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5312,5}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3761 \text{ соат},$$

$$\tau_{\gamma} = \left(0,124 + \frac{T_{\gamma.макс}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5800}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4312 \text{ соат},$$

$$\tau_{\lambda} = \left(0,124 + \frac{T_{\lambda.макс}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ соат}$$

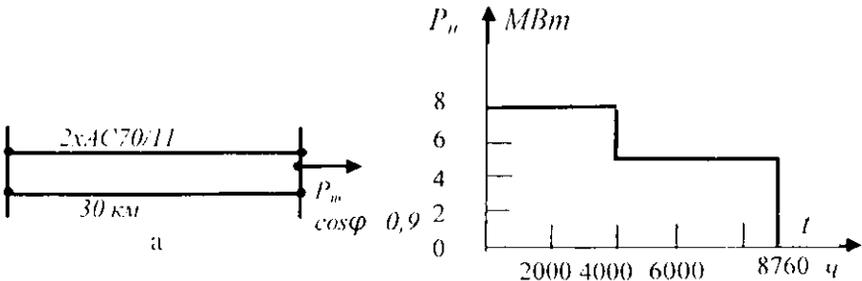
Подстанцияда йиллик энергия нерофи ва унинг йил давомида узатишувчи энергияга нисбати:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 8760 \Delta P_{\gamma} + \Delta P_{ю.макс} \tau_{ю} + \Delta P_{\gamma.макс} \tau_{\gamma} + \Delta P_{\lambda.макс} \tau_{\lambda} \\ &= 8760 \cdot 0,1 + 0,075 \cdot 3761 + 0,028 \cdot 4312 + 0,011 \cdot 2886 = \\ &= 1310,56 \text{ MВт} \cdot \text{соат} = 1310560 \text{ кВт} \cdot \text{соат}, \end{aligned}$$

$$\Delta W' = \frac{1310560 \cdot 100}{(25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500) \cdot 10^3} = 0,62\%$$

6.3. Мустақил ечиш учун масалалар

1. АС70/11 маркаи ўтказгичдан тайёрланган 30 км узунликдаги 35 кВ номинал кучланшли икки занжирли линиядан таъминланувчи истеъмолчининг (6.4,а-расм) давомийлик бўйича йиллик юклама графиги 6.4,б-расмда келтирилган.



6.4- расм

б

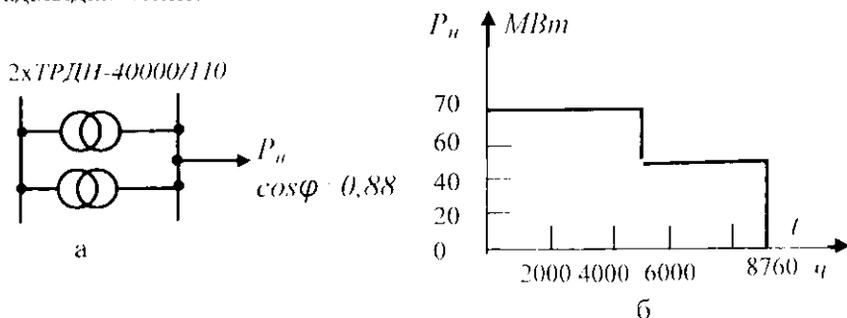
Истеъмолчининг максимал юкламадан фойдаланиш вақти, линияда йиллик энергия исрофи ва максимал исрофлар вақтини тошинг.

Линиянинг l 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.



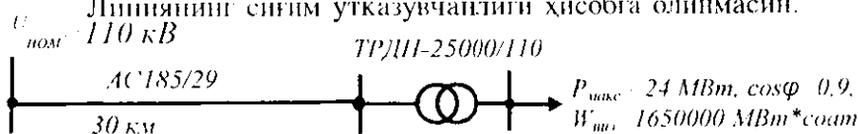
6.5-расм

3. Схемаси 6.6-расмда келтирилган электр тармоқдан таъминланувчи истеъмолчининг максимал юкласи 24 MВт бўлиб, у йил давомида $1650000 \text{ MВт} \cdot \text{соат}$ электр энергияни истеъмол қилади.

Электр тармоқда йиллик энергия исрофини тошинг.

Линиянинг солиштирма ҳисоб параметрлари ва трансформаторнинг каталог параметрлари қўлланма жадвалдан олинсин.

Линиянинг сўғим ўтказувчанлиги ҳисобга олинмасин.

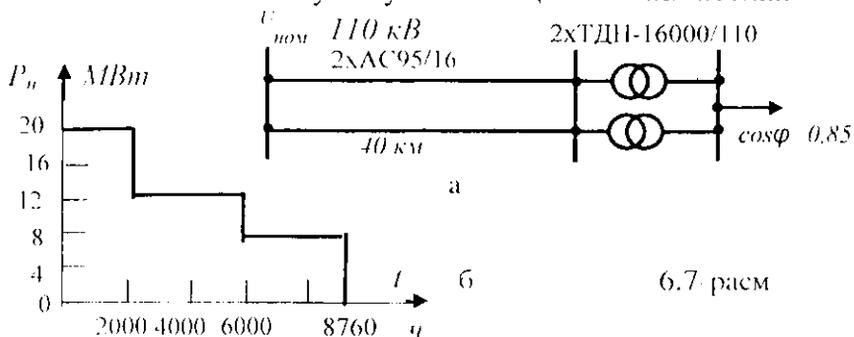


6.6-расм

4. Схемаси 6.7.а-расмда келтирилган электр тармоқдан таъминланувчи истеъмолчининг юклама графити 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 kesim ўтказувчанлиги ҳисобга олинмасин.



6.7. расм

7. ЭЛЕКТР УЗАТИШ ЛИНИЯЛАРИ ЎТКАЗГИЧЛАРИНИНГ КЕСИМ ЮЗАЛАРИНИ ТАНЛАШ

7.1. Ўтказгичнинг kesim юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш

Ўтказгичнинг kesim юзаси ЭУЛнинг муҳим параметридир. ЭУЛ ўтказгичи kesim юзасининг ортishi билан уни қуришдаги харажатлар ва улардан олинадиган чегирмалар ортиб боради. Шу билан бир қаторда уларда электр энергия исрофи ва уни қошлаш 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 kesim юзаси иқтисодий kesim юзаси деб аталади ва у F_m кўринишида белгиланади.

ЭУЛ учун келтирилган харажатлар ўтказгичнинг kesim юзасига боғлиқлигини таҳлил қиламиз.

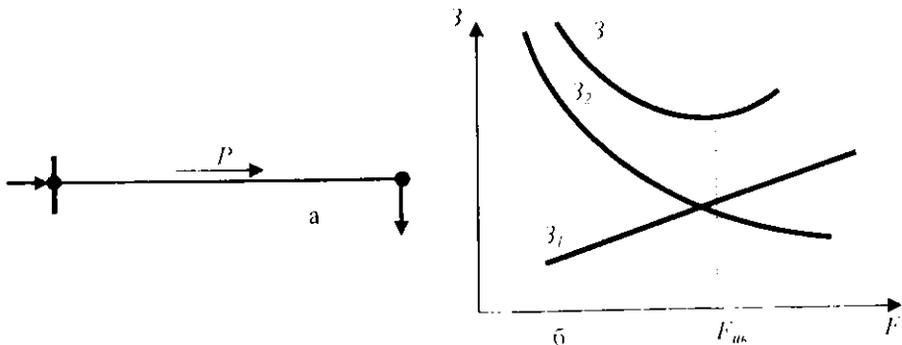
ЭУЛ ни қуриш учун сарф қилинувчи капитал харажатлар унинг узунлигига боғлиқ:

$$K = \kappa_0 l \quad (7.2)$$

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; ботқоқликларни қуришиш 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:

а - бир занжирли ЭУЛ; б - келтирилган харажатлар ва уларнинг таъкил элувчиларининг 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_{wv} ларнинг йиғиндисидан иборатдир:

$$I = I_a + I_v + I_{wv}$$

Амортизация ва хизмат кўрсатиш харажатлари ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқ бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$I_a + I_m = \alpha K = \alpha_j (a + vF) l, \quad (7.4)$$

бу ерда α_j - амортизация ва хизмат кўрсатиш харажатлари учун йиллик чегирма.

I_{wv} ўтказгичнинг кесим юзасига боғлиқ ҳолда қуйидагича ифодаланади:

$$H_{\text{ин}} = \beta W = \beta P_{\text{max}} \tau = \beta 3I_{\text{max}}^2 r_n \tau = \frac{3\beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F} \quad (7.5)$$

Бу ерда I_{max} - ЭУКнинг максимал ишчи токи; ρ - ўтказиш материалларининг солинтирма қаринчилиги; β - бирлик электр энергия нерофшининг нархи; τ - максимал нерофлар вақти.

(7.2) ва (7.5) ни (7.1) га қўйсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$Z(F) = (a + \alpha F)(p_n + \alpha) \delta l + \frac{3\beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F} = Z_1(F) + Z_2(F) \quad (7.6)$$

7.1-расмда бир занжирли ЭУЛ схемаси (7.1,а-расм) ва у учун келтирилган харажага, ҳамда уни ташкил этувчиларининг ўтказиш кесим юзасига боғланиш эгри чизиқлари кўрсатилган (7.1,б-расм).

$Z(F)$ функцияни F бўйича минимумлигининг зарур шартидан фойдаланиб, ўтказишнинг иқтисодий кесим юзаси учун формулани ҳосил қиламиз:

$$\partial Z / \partial F = (p_n + \alpha) \delta l - \frac{3\beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F^2} = 0,$$

$$F_{\text{ин}} = I_{\text{max}} \sqrt{\frac{3\beta \rho \tau}{(p_n + \alpha) \delta}} \quad (7.7)$$

Тоқнинг иқтисодий зичлиги - ЭУЛда оқувчи максимал тоқнинг ўтказиш иқтисодий кесим юзасига нисбатидир:

$$j_{\text{ин}} = \frac{I_{\text{max}}}{F_{\text{ин}}} \quad (7.8)$$

(7.7) ва (7.8) дан

$$j_{\text{ин}} = \sqrt{\frac{(p_n + \alpha) \delta}{3\beta \rho \tau}} \quad (7.9)$$

келиб чиқади.

Бу ерда (7.9) фақат $j_{\text{ин}}$ нинг маъносини тушуниш учун келтирилган бўлиб, у $j_{\text{ин}}$ ни ҳисоблаш учун фойдаланилмайди.

ЭУТКга мувофиқ $j_{\text{ин}}$ ўтказишнинг тури ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти T_{max} га боғлиқ ҳолда таъланаяди.

Амалда ЭУЛ кесим юзасини таңлаш учун аввало кўлланма жадвалдан j_{mk} таңланади, сўнгра 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 қилмайди.

Токнинг иктисодий зичлиги бўйича таңланган кесим юзалари иссиқлик, руҳсат этилган кучланиш исрофи M_{pva} ва механик мустаҳкамлик бўйича текшириб кўрилади. Агар j_{mk} бўйича таңланган ўтказгичнинг кесим юзаси бошқа шартлар бўйича татаб этилган кесим юзасидан кичик бўлса, бу шартлар билан белгиланган энг катта кесим юзасини таңлаш лозим.

Куйидаги тармоқларда кесим юзасини токнинг иктисодий зичлиги бўйича таңлаш 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 қилувчиларга чикувчи шохобчалар, саноат корхоналари, яшаш ва жамият биноларининг ёритиш тармоқлари; вақтинчалик ва шунингдек 3-5 йил муддатга хизмат қиладиган электр қурилмалар тармоқлари. Сўнги йилларда 35 кВ ва ундан юқори номинал кучланишли ҳаво ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзаларини токнинг иктисодий зичлиги бўйича таңлаш тавсия этилмайди. Амалда 35-750 кВ кучланишли ҳаводан ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзалари ток ва қувватнинг иктисодий нигерваллари бўйича таңланади.

1 кВ ва ундан юқори кучланишдаги кабелли ЭУЛда токнинг иктисодий зичлиги бўйича таңланган кесим юзалари иссиқлик, руҳсат этилган кучланиш, кучланишнинг оғиши ва кеска туташув тоқларида термик чидамлик бўйича текширилади.

j_{mk} бўйича кабелли ЭУЛ ўтказгичларининг кесим юзаларини таңлашда фақат (7.8) даги каби I_{max} дан эмас, балки ЭУЛдан фойдаланиш жараёнида юклама ўзгаришини ҳисобга олувчи

ҳисобий ток юкларидан, шунингдек, максимал юклардан фойдаланишдаги соатлар сонидан ҳам фойдаланиш тавсия этилади. Ҳисобий ток юкларини шунингдек 35-750 кВ кучлиликли ҳаводаги ЭУЛ кесим юзасини иқтисодий интерваллар бўйича танлашда ҳам фойдаланилади.

7.2. Ҳаво ЭУЛ ўтказгич 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, $j_{ин}$ учун (7.9) ифода капитал маблағнинг ЭУЛ узунлигига тўғри чиққли боғланишини кўзда тутати. Тўғри чиққли боғланиш унификацияланган таянчлардан фойдаланувчи ЭУЛларни ялпи қуришга ўтиш билан бузилади. Иккинчидан, $j_{ин}$ учун ифодани ҳосил қилишда келтирилган харажатлар ифодаси (7.6) да кесим юзаси узгирсиз деб ҳисобланган. Амалда эса кесим юзаси дискрет равишда ўзгаради ва шу сабабли уни (7.7) шартдан 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 Z нинг F бўйича ҳосиласини нолга тенглик шартини (7.7) дан, балки Z нинг энг катта ток бўйича ҳосиласининг ҳам нолга тенглик шартини топилши лозим.

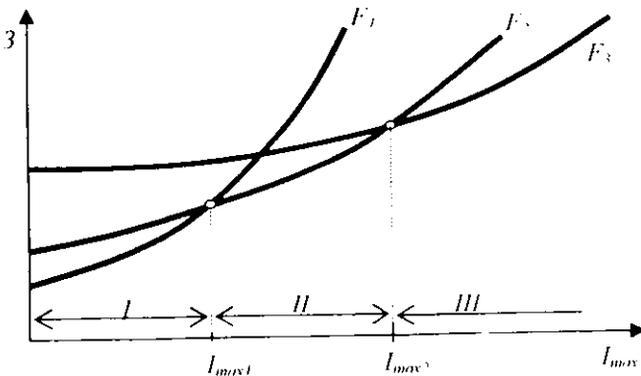
Линия ўтказгич юзини танлашнинг юқорида кўрсатилган камчиликлардан бартараф бўлган усулларида бири «иқтисодий интерваллар усули» деб юритилади.

Ўтказгич кесим юзасини танлаш учун ток юкларининг 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:

$$Z = (p_n + \alpha_n)K + 3I_{max}^2 r_n \tau \beta \quad (7.11)$$

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.

$$I_s = I_{max} \alpha_l \alpha_m, \quad (7.12)$$

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_l - 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 нини киймати 1,05 га тенг килиб, бундан юкори кучланишдаги ЭУЛ учун эса бу коэффициент киймати жадвалдан олинади.

35-750 кВ кучланишли ЭУЛнинг кесим юзалари учун токнинг иктисодий интерваллари кўллашма жадвалларда келтирилган. Бундай жадваллар барча стандарт кесим юзалари ва хар 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 кийматига айтиладики, бунда кучланишни ростлаш натижасида электр қабул қилгичдаги кучланиш оғиши ДавСт да белгиланган техник рухсат этилган кийматлардан ошиб кетмайди. Таксимловчи электр тармоғида рухсат этилган кучланиш исрофи донмо максимал кучланиш исрофидан кичик бўлмаслиги, яъни куйидаги шарт бажарилиши лозим:

$$U_{max} \leq U_{px} \quad (7.13)$$

Таъминлаш манбаи кучланиши тахминан ўзгармасдир. Агар $U_{max} \leq U_{px}$ бўлса, у ҳолда чекка тугундаги кучланиш киймати 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 солиштирма актив қаршилиги кесим юзасига тескари пропорционал равишда ўзгаради, реактив қаршилиги эса, кесим юзасига заиф боғланган. Таъминловчи электр тармоқларида F нинг ўзгариши билан x_n кам ўзгаради ва $x_n > r_n$. Бундай тармоқларда U ни ростлаш имкониятлари кўп ва ΔU ни камайтириш учун F ни ўзгартириш иктисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас. Шу сабабли F ни танлашда (7.13) ҳисобга олинмайди. Таксимловчи электр тармоқларида эса $r_n > x_n$.

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 чиқиб 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_{pxx} 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 ташқари топган ҳолат учун кесим юзаларини тўғридан-тўғри AU_{pxx} 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 белгиловчи яна бир шартни қапоатлантиради.

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

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

ЭУЛ тuzилиши ва ўтказгичларнинг маркалари аниқланган (кесим юзасидан ташқари), k - тугун қуввати S_k , тугунлар оралиқларидаги масофа l_{kj} , рухсат этилган кучланиш иерофи $\Delta U_{\text{ЭУЛ}}$ маълум.

ЭУЛда энг катта кучланиш иерофи қуйидагича тошелади:

$$\Delta U_{\text{ЭУЛ}} = \sum_{k=1}^m \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_n^{i-2}} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n^{i-2}} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n^{i-2}}, \quad (7.15)$$

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 кўрinishида ифодалаймиз:

$$\Delta U_{\text{ЭУЛ}} = \Delta U_{\text{ЭУЛ}a} + \Delta U_{\text{ЭУЛ}p} \quad (7.16)$$

бу ерда $\Delta U_{\text{ЭУЛ}a}$ - биринчи ташкил этувчи бўлиб, у гўё актив қаршиликдаги рухсат этилган кучланиш иерофидир; $\Delta U_{\text{ЭУЛ}p}$ - (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:

$$\Delta U_{\text{ЭУЛ}} = \Delta U_{\text{ЭУЛ}a} + \Delta U_{\text{ЭУЛ}p} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n^{i-2}} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n^{i-2}}; \quad (7.17)$$

бундан

$$AU_{\text{рхв.а}} = \frac{\sum_{k=1}^m P_k I_{k1}}{U_n}; \quad AU_{\text{рхв.р}} = \frac{\sum_{k=1}^m Q_k X_{k1}}{U_n}; \quad (7.18)$$

келиб чиқади.

Кесим юзаси ўзгарини билан солиштирма реактив қаршилиқ x_0 кам даражада ўзгаради. Шу сабабли тақсимловчи тармоқлар учун, ЭУЛ участкаларида кесим юзаси бир хил бўлганда, кесим юзасини танлаш қуйидаги тарғибда 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;

$$б) AU_{\text{рхв.р}} = \frac{\sum_{k=1}^m Q_k x_0 I_{k1}}{U_n}; \quad \text{ҳисобланади.}$$

в) $AU_{\text{рхв.а}}, AU_{\text{рхв.р}}, \Delta U_{\text{рхв.р}}$ бўйича руҳсат этилган кучланишнинг қўндаланг ташкил этувчиси аниқланади.

г) кесим юзаси F аниқланади.

ЭУЛ актив қаршилигидаги руҳсат этилган кучланиш исрофи:

$$AU_{\text{рхв.а}} = \frac{\sum_{k=1}^m P_k r_0 I_{k1}}{U_n};$$

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

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

Сўнгги иккита ифодадан

$$AU_{\text{рх.а}} = \sum_{k=1}^m P_{k1} I_{k1} = \gamma F \sum_{k=1}^m \sqrt{3} I_{k1} I_{k1} \cos \varphi_{k1}. \quad (7.19)$$

(7.19) дан кесим юзасини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{\sum_{k=1}^m \sqrt{3} I_{k1} I_{k1} \cos \varphi_{k1}}{\gamma AU_{\text{рх.а}}}. \quad (7.20)$$

Тошланган кесим юзаси F энг яқин стандарт кесим юзасига яхлитланади ва сўنгра у учун (7.13) шартининг бажарилиши текширилади. Агар бу шарт бажарилмасе, у ҳолда кесим юзасини ошириш лозим.

Кесим юзасини қувват исрофининг минимумлик шarti бўйича танлаш. Шунн кўрсатини мумкинки, қувват исрофининг минимумлигини ток зичлигининг ўзгармаслик ҳолатига тўғри келлади, яъни буида ЭУЛнинг барча участкаларида ток зичлиги бир хил бўлади:

$$j_{M1} = \frac{I_{M1}}{F_{k1}} = \text{const};$$

бу ерда j_M - руҳсат этилган қучланиш исрофи бўйича танланувчи ток зичлиги. Бу қўшимча шарт саноат корхоналарининг электр таъминоти системасе 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 камайитириш алоҳида аҳамиятга эга.

Ушбу ҳолатда фарк шундан иборатки, участкаларда кесим юзалари F_{k1} ҳар хил, бироқ ток зичлиги j_{M1} бир хил.

Таксимловчи 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) ифодалар бўйича $AU_{\text{рх.р}}$ ва $AU_{\text{рх.а}}$ 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:

$$j_M = \frac{AU_{\text{pxa}} y}{\sqrt{3} \sum_{k=1}^m I_{kj} \cos \varphi_{kj}}$$

Топилган 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 шarti 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:

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{AU_{\text{pxa}} U_n} \sum_{k=1}^n I_{kj} \sqrt{P_{kj}} ,$$

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 солиштирма қаршилиги.

Қолган участкаларнинг кесим юзатари қуйидаги муносабатлар асосида топилиши мумкин:

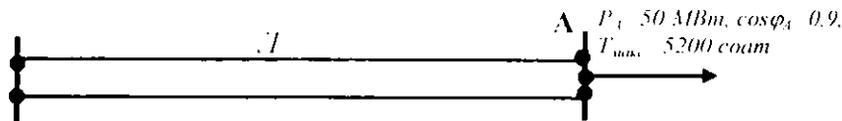
$$\frac{F_{12}^2}{P_{12}} = \frac{F_{23}^2}{P_{23}} = \dots = \frac{F_{(n-2)(n-1)}^2}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F_{(n-1)n}^2}{P_{(n-1)n}}$$

Таълиқ жараёнинини навбатдаги ишни, юқорида кўришган ҳолатлардагидек, топишган кесим юзаларини энг яқин стандартларига яқинлаш, уларни (7.13) шарт бўйича текшириш ва бу шарт бажарилмаган тақдирда таълиқган кесим юзасини оширинини назарда тутати.

7.4. Масалалар ечиш намуналари

7.1-масала. 7.3-расмда лойиҳалаштирилган 110 кВ қувватли электр тармоқнинг A юклама подстанциясини таъминлаш схемаси кўрсатилган. Максимал юклама, максимал юкламадан фойдаланиш вақти ва актив қувват коэффициентлари расмда келтирилган.

L линиянини ўтказичлари кесим юзасини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича таълиқ ва уни тожлавишга исроф ва атроф-муҳит ҳарорати $+15^\circ\text{C}$ бўлганда қизиш шартлари бўйича текширини.



7.3-расм

Ечиш. Линиянини максимал токнинг тонамиз:

$$I_{\text{макс}} = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{3} U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{50}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,146 \text{ кА.}$$

Марказий Осиё шаронгида $T_{\text{макс}} = 5200 \text{ соат}$ бўлган ҳолат учун токнинг иқтисодий зичлигини қўлланма жадвали бўйича аниқлаймиз: $j_{\text{ок}} = 1,3 \text{ А/мм}^2$.

Ўтказичнинг ҳисобий кесим юзасини тонамиз:

$$F = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{ок}}} = \frac{146}{1,3} = 111,92 \text{ мм}^2.$$

Стандарт кесим юзаси $F_{\text{см}} = 120 \text{ мм}^2$ бўлган, яъни $АС/120$ маркази ўтказич 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:

$$I_{pvy} = I_{kso} k_p$$

бу ерда I_{kso} - 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,

$$I_{pvy} = I_{kso} k_p = 390 * 1,1 = 432,9 \text{ A.}$$

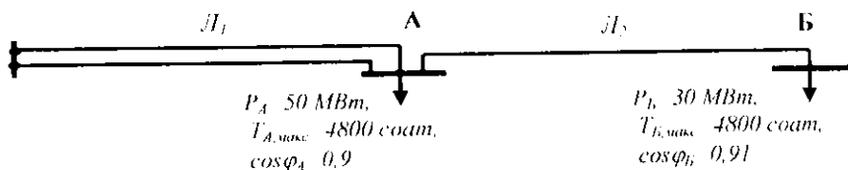
Энг катта ток юкламаси линиянинг битта занжири узишган ҳолда кузатилади:

$$I_{max} = 146,2 = 292 \text{ A} < I_{pvy}.$$

Демак, танланган ўтказгич авариядан кейинги ҳолатларда қизиш 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 интэрваллар бўйича танлаш ва L_1 линиясининг ўтказгичини атроф-муҳит ҳарорати +15°C бўлган ҳолатда қизиш шартлари бўйича текширинг.



7.4 -расм

Ечилиш. L_1 ва L_2 линияларнинг ҳар бирида оқувчи максимал ток:

$$I_{L2, \max} = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 79 \text{ A.}$$

$$I_{L1, \max} = \frac{80 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 210 \text{ A}$$

L_1 ва L_2 линияларнинг ҳар бир занжирининг ҳисобий ток юкламасини куйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$I_n = I_{\max} \alpha_i \alpha_r,$$

бу ерда α_i ишлатилишнинг ҳар йилида юкламанинг ўзгариб боришини ҳисобга олувчи коэффициент; $110 - 220 \text{ кВ}$ кучланишли линиялар учун у 1,05 га тенг деб қабул қилинади;

α_r максимал юкламдан фойдаланиш соатлари сони T_{\max} ва унинг энергетика тизими максимал юкламаси билан мос келиш коэффициенти k_n .

Биз кўраётган ҳолат учун қўлланма жадваллари бўйича $\alpha_r = 0,8$ эканлигини аниқлаймиз.

У ҳолда

$$I_{L2, n} = 79 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 66,36 \text{ A;}$$

$$I_{L1, n} = 210 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 176,4 \text{ A.}$$

Пулаталюминий ўтказгичлар учун ток юкламаларининг иктисодий интерваллар жадваллари бўйича куйидагиларни ташлаймиз:

L_2 линияси учун $F_{L2} = 70 \text{ мм}^2$, L_1 линияси учун $F_{L1} = 150 \text{ мм}^2$.

Танланган ўтказгичларни авариядан кейинги ҳолатлар учун қизиш шартлари бўйича текшираимиз.

Узоқ вақт давомида рухсат этилган тоқлар ҳарорат бўйича тўғриловчи коэффициент k_t ни ҳисобга олиб куйидагича аниқланади:

$$I_{pvt} = I_{\text{жад}} k_r,$$

Биз кўраётган ҳолатда $k_r = 1,11$.

У ҳолда

$$I_{pvt, L2} = 265 \cdot 1,11 = 294 \text{ A;}$$

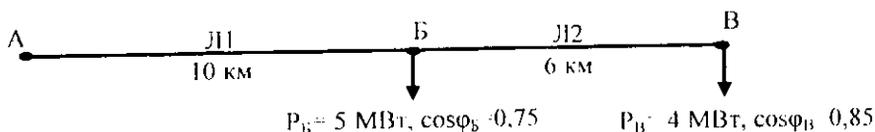
$$I_{pvt, L1} = 450 \cdot 1,11 = 500 \text{ A.}$$

L_1 линиясида энг катта ток юкламаси линиянинг битта занжири узилган ҳолатда кузатилади:

$$I_{\text{макс}, L1} = 210 \cdot 2 = 420 \text{ A} < I_{pvt, L1}$$

Демак, танланган ўтказгичлар авариядан кейинги ҳолатларда қизиш шартлари бўйича талабларга жавоб беради.

7.3-масала. *Б* ва *В* пунктларда жойлашган истеъмолчилар *А* подстанциянинг шинасидан пўлаталюминий ўтказгичдан тайёрланган битта 35 кВ кучланишли линия орқали таъминланади. $\cos\varphi=0,75$ бўлган ҳолда 5 МВт қувват истеъмол қилувчи *Б* пункт *А* подстанциясидан 10 км масофада жойлашган. Ўз навбатида $\cos\varphi=0,85$ бўлган ҳолда 4 МВт қувват истеъмол қилувчи *В* подстанцияси *Б* пунктдан 6 км масофада жойлашган (7.5-расм). Хар иккала истеъмолчи учун ҳам максимал юкламадан фойдаланиш вақти йилига 3000 соат ни ташкил этади.



7.5-расм

Пўлаталюминий ўтказгичларнинг кесим юзаларини 5% га тенг бўлган (бутун тармоқ учун токнинг зичлиги ўзгармас бўлишидан келиб чиққан ҳолда аниқланган) рухсат этилган кучланиш исрофи бўйича таъинланг.

Ечиш. L_1 линияси бўйича истеъмолчиларнинг юкламалари ва қувват оқимини аниқлаймиз:

$$S_B = 5 + j5 \cdot \frac{\sqrt{1-0,75^2}}{0,75} = 5 + j4,41 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_V = 4 + j4 \cdot \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} = 4 + j2,48 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{\Sigma} = 5+4+j(4,41+2,48)=9+j6,89 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Электр тармоқда рухсат этилган кучланиш исрофини аниқлаймиз:

$$\Delta U_{\text{рухс}} = 0,05 \cdot 35 = 1,75 \text{ кВ}.$$

Биринчи яқинлаштишда узунлик бирлигидаги индуктив қаршиликни $x_0=0,41 \text{ Ом/км}$ қабул қилиб, тармоқда индуктив қаршилик билан белгиланувчи кучланиш исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_p = \frac{6,89 \cdot 0,41 \cdot 10 + 2,48 \cdot 0,41 \cdot 6}{35} = 0,981 \text{ кВ}.$$

Демак, актив қаршиликларда рухсат этилиши мумкин бўлган кучланиш исрофи куйидагига тенг:

$$U_{a,рух} - U_{рух} - U_p = 1,75 - 0,981 = 0,769 \text{ кВ.}$$

Алюминийнинг солиштирма қаршилигини $\rho = 31,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$ деб ҳисоблаб, токнинг кучланиш исрофи топилган $U_{a,рух}$ 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,

$$j = \frac{\Delta U_{a,рух}}{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot (I_{ab} \cdot \cos \varphi_{a1} + I_{bv} \cdot \cos \varphi_{a2})} = \frac{769}{\sqrt{3} \cdot 31,5 \cdot (10 \cdot 0,794 + 6 \cdot 0,85)} = 1,08 \text{ А / мм}^2.$$

Хар 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 юзаларини таъминлашда белгилочи бўлиб рухсат этилган кучланиш исрофини таъминлаш талабларига жавоб берувчи шартлар ҳисобланади.

Демак, L_1 линия учун:

$$F_1 = \frac{S_{a1} \cdot \sqrt{9000^2 + 6890^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot j} = \frac{\sqrt{9000^2 + 6890^2}}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,08} = 173,1 \text{ мм}^2.$$

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.

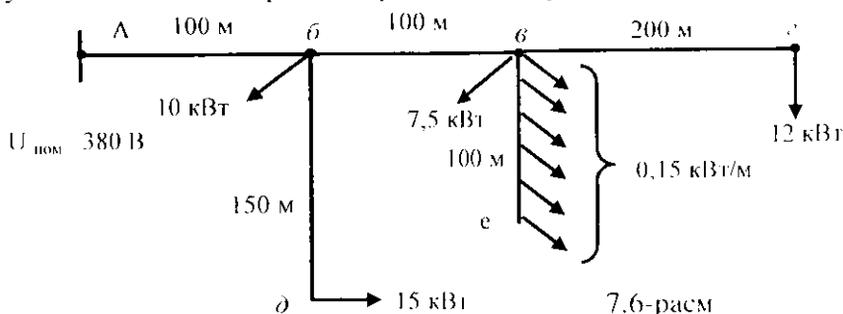
Ушбу маркадаги ўтказгичлардан қурилган линияларнинг узунлик бирлиги учун ҳисоб параметрлари куйидагича: $r_0 = 0,162 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,413 \text{ Ом/км}$ ва $r_0 = 0,306 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,434 \text{ Ом/км}$.

Таъланган ўтказгичлар учун кучланиш исрофининг 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, $\Delta U_{\text{кат}} < \Delta U_{\text{прв}}$ ва шу сабабли қабул қилинган маркадаги ўтказгичлар масаланинг шартини қаноатлантиради.

7.5-масала. 7.6-расмда лойиҳалаштириляётган 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. $\Delta U_{\text{прв}} = 5\%$ қабул қилин.

Ечили. 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 қуйидагига тенг:

$$\Delta U_{\text{прв}} = \frac{5}{100} \cdot 380 = 19 \text{ В.}$$

Кабелнинг кесим юзасини танлашда ушбу қиймат эътиборга олиниши лозим. Аг магистрал учун кесим юзасини аниқлаймиз (мис учун солиштирма қаршилик $\rho = 18,8 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$):

$$F_{\text{каб}} = \frac{\rho \cdot (P_{\text{Аб}} I_{\text{Аб}} + P_{\text{Гб}} I_{\text{Гб}} + P_{\text{Сб}} I_{\text{Сб}})}{\Delta U_{\text{прв}} \cdot U_{\text{ном}}} =$$

$$= \frac{18,8 \cdot [(10 + 15) \cdot 0,1 + (15 + 7,5) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{19 \cdot 380} = 30,8 \text{ мм}^2.$$

Кесим юзаси 35 мм^2 бўлган кабелни қабул қиламиз. Унинг

учун $r_0=0,602$ Ом/км. ϵ , ν ва δ нукталаргача кучланишнинг ҳақиқий исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_{\epsilon\nu} = \frac{r_0 \cdot (P_{10} l_{10} + P_{05} l_{05} + P_{12} l_{12})}{U_{ном}} =$$

$$= \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{380} = 18,7 < \Delta U_{\rho\nu};$$

$$\Delta U_{\delta\nu} = \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15+12) \cdot 0,2] \cdot 10^3}{380} = 14,8 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\delta\epsilon} = \frac{0,602 \cdot (10+15+7,5+15+12) \cdot 0,1 \cdot 10^3}{380} = 9,4 \text{ В}.$$

$\nu\epsilon$ шохобча учун рухсат этилган кучланиш исрофи ва кабелнинг унга мос келувчи кесим юзасини топамиз (бунда бир текис тақсимланган юкларнинг шохобчанинг ўртасида қўйилувчи жамланган юклар билан алмаштирилади):

$$\Delta U_{\nu\rho\nu} = 19 - 14,8 = 4,2 \text{ В},$$

$$F_{\nu\rho} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{4,2 \cdot 380} = 9,1 \text{ мм}^2.$$

Стандарт кесим юзаси 10 мм^2 ($r_0=2,1$ Ом/км) бўлган кабелни қабул қиламиз ва ϵ нуктагача ҳақиқий кучланиш исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_{\delta\epsilon} = 14,8 + \frac{2,1 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{380} = 14,8 + 4,15 = 18,95 \text{ В} \approx \Delta U_{\rho\nu}.$$

$\delta\delta$ шохобча учун ҳам шу каби ҳисоблашларни амалга оширамиз.

Рухсат этилган кучланиш исрофини ҳисоблаймиз:

$$\Delta U_{\delta\delta\rho\nu} = 19 - 9,4 = 9,6 \text{ В},$$

кабелнинг кесим юзасини топамиз:

$$F_{\delta\delta} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{9,6 \cdot 380} = 11,6 \text{ мм}^2.$$

Стандарт кесим юзаси 16 мм^2 ($r_0=1,32$ Ом/км) бўлган кабелни танлаймиз ва δ нуктагача ҳақиқий кучланиш исрофини топамиз:

$$\Delta U_{\delta\delta} = 9,4 + \frac{1,32 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{380} = 9,4 + 7,82 = 17,2 \text{ В}.$$

7.6-масала. Максимал юкламаси 3200 кВт ва $\cos\varphi=0,8$ бўлган қурилаётган заводни туман подстанциясининг 10 кВ қуриланиши шинасидап учта мис томирли кабеллардан қурилувчи иккита линия орқали таъминлаш кўзда тутилган. Ҳар иккала 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.

Ечиш. Лойиҳалаштирилаётган электр тармоғининг нормал ш ҳолатида кабеллардан оқувчи тоқларни ҳисоблаймиз:

$$I_{\text{кат}} = \frac{3200}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 115 \text{ A.}$$

$T_{\text{макс}} = 4000 \text{ соат}$ бўлганда мис томирли ва қоғоз изоляцияли кабеллар учун тоқнинг иқтисодий зичлиги $j_{\text{ок}} = 2,5 \text{ A/мм}^2$, шу сабабли кабель томирининг кесим юзаси қуйидагича аниқланади:

$$F_{\text{ок}} = \frac{115}{2,5} = 46 \text{ мм}^2.$$

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 руҳсат этилганлигини текшираимиз.

Ҳарорати 15°C бўлган ернинг тагида ётқизилган бундай кесим юзали битта кабель учун узок вақт давомида руҳсат этилган энг катта тоқ 180 А ни ташкил этади. Бу қиймат ЭУТҚ (ШУЭ) да келтирилган руҳсат 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 руҳсат этилган ўта юкланиш бўйича.

ЭУТҚдаги жадвалларга мувофиқ биринчи тўғрилаш коэффициенти 0,9, иккинчиси эса 0,94 га тенг экаллигини 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:

$$I_{\text{рух}} = 0,90 \cdot 0,94 \cdot 180 = 152 \text{ А.}$$

$I_{\text{катан}} = 0,68 I_{\text{рух}}$, яъни $I_{\text{рух}} > I_{\text{катан}}$ 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 топилган авария ҳолатида рухсат этилган ўта юкланиши 1,25 ни ташкил этади.

Бундай ҳолда

$$I_{\text{рух}} = 0,94 \cdot 1,25 \cdot 180 = 211 \text{ А,}$$

$$I_{\text{катан}} = 2 \cdot 115 = 230 \text{ А, демак } I_{\text{рух}} < I_{\text{катан}}.$$

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:

$$I_{\text{рух}} = 0,94 \cdot 1,25 \cdot 215 = 252 \text{ А.}$$

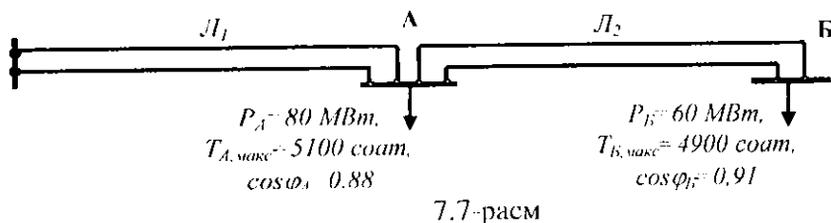
Бу ток заводнинг тўлиқ қуввати билан белгиланувчи энг катта тоқдан каттадир. Демак, томирларининг кесим юзаси 70 мм^2 бўлган кабеллар линиянинг нормал ва авария ҳолатларида ишлаш шароитларини қаноатлантиради. Шу сабабли лойиҳалаштирилаётган линия учун улар тапланиши лозим.

7.5. Мустақил ечин учун масалалар

1. 110 кВ номинал қучланишли икки занжирли ҳаво линияси орқали таъминланувчи истеъмолчининг максимал юклараси 40 МВт , актив қувват коэффициенти $0,9$ ва максимал юкларадан фойдаланиш вақти 5500 соат .

Линия ўтказгичини токнинг иқтисодий зичлиги бўйича танлаш ва уни тожланиш ва атроф-муҳитнинг ҳарорати $+20^\circ\text{C}$ бўлган ҳолатда қизиш шартлари бўйича текширинг.

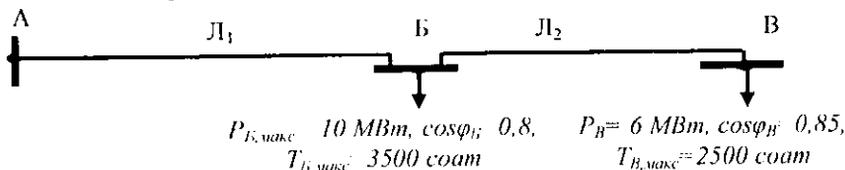
2. Схемаси 7.7-расмда тасвирланган 220 кВ номинал кучланишли электр тармоқ ҳаво линияларининг ўтказгичларининг токнинг иктисодий зичлиги бўйича танланг. Танланган ўтказгичларни тожланиш шarti ва атроф-муҳитнинг ҳарорати $+20^{\circ}\text{C}$ бўлган ҳолатда қизиш шартлари бўйича текширинг.



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 иктисодий зичлиги бўйича танланг.

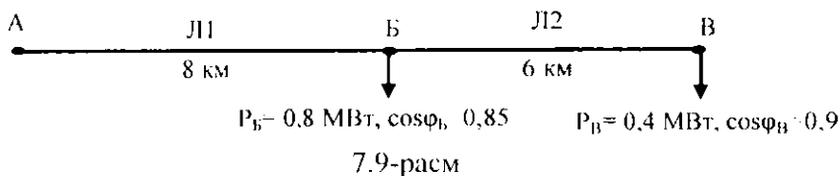
Истеъмолчиларнинг максимал юкламалари, актив қувват коэффициентлари ва максимал юкламадан фойдаланиш вақтлари схемада келтирилган.



4. B ва V пунктларда жойлашган истеъмолчилар A 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 тен бўлган руҳсат этилган кучланиш исрофи бўйича, бутун тармоқда

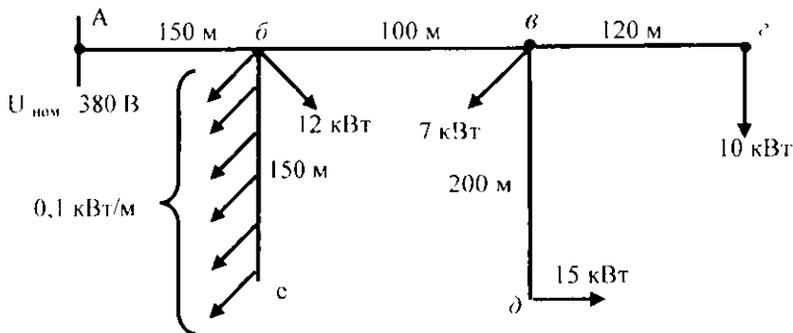
токнинг зичлиги ўзгармас бўлиши шартидан келиб чиқиб, таълиқ.



7.9-расм

5. Схемаси 7.10-расмда тасвирланган 380 В номинал қучланишли 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 қучланиш исрофининг руҳсат этилган қиймати бўйича таълиқ. Қучланиш исрофининг руҳсат этилган қиймати $\Delta U_{\text{пов}} = 5\%$ қабул қилинсин.



7.10-расм

6. Максимал юкласи 3,5 МВт, актив қувват коэффициентини $\cos\varphi = 0,75$ ва максимал юкламадан фойдаланиш вақти 4500 соат бўлган электр истеъмолчисини уҳта мис томирли кабеллардан тайёрланган 10 кВ номинал қучланишдаги икки занжирли кабель линияси орқали таъминлаш назарда тутилган. Кабеллар умумий траншеяда ораларида 100 мм масофа қолдириб ётқизишли шарт. Трасса давомидида тупроқнинг энг юқори ўртача ойлик ҳарорати $+20^{\circ}\text{C}$. Истеъмолчида ишлаб чиқариш жараёни

электр таъминотининг узилиб қолмаслигини талаб этади. Шу сабабли кабеллардан бири шидан чиққан тақдирда истеъмотчига барча қувватни иккинчи кабель орқали узатиш таъминлангани шарт.

Кабель томрларининг кесим юзасини танланг.

8. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ ИСРОФЛАРИНИ КАМАЙТИРИШ ТАДБИРЛАРИ

Электр тармоқларида исрофларни камайтириш 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 камайтириш 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 камайтиришнинг 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 ораликларига қўйилган тенгензлик кўринишидаги чегаравий шартлар ҳисобга олинади. Мақсад (оптималлаштирилувчи)

функция бўлиб, тармоқдаги актив қувват исрофи функцияси ΔP ҳисобланади.

Оптимальлаш 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, қуйидагича ифодаланади:

$$\Delta P \rightarrow \min \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} W_i &= P_i - P_{i0} = 0, \quad i \in \Gamma + H; \\ W_i &= Q_i - Q_{i0} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

$$U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max}, \quad i \in \Gamma + H; \quad (8.3)$$

$$Q_{i,\min} \leq Q_i \leq Q_{i,\max}; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (8.4)$$

$$K_{ll,\min} \leq K_{ll} \leq K_{ll,\max}; \quad l \in T_a; \quad (8.5)$$

$$\left. \begin{aligned} K'_{ll,\min} &\leq K'_{ll} \leq K'_{ll,\max} \\ K''_{ll,\min} &\leq K''_{ll} \leq K''_{ll,\max} \end{aligned} \right\} \quad l \in T_k; \quad (8.6)$$

$$P_{l,\min} \leq P_l \leq P_{l,\max} \quad l \in L_p; \quad (8.7)$$

$$I_{l,\min} \leq I_l \leq I_{l,\max} \quad l \in L_I; \quad (8.8)$$

Бу ерда P_p, Q_p, P_{p0}, Q_{p0} - i тугуннинг ҳисобланувчи ва берилган актив ва реактив қувватлари; $U_p, U_{i,\min}, U_{i,\max}$ - 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_p, I_l - актив қувват оқими ва токи назорат қилинувчи l -шоҳобчанинг ҳисобланувчи актив қуввати ва токи; Γ, H - генерация ва юклама тугунлари тўпламлари; Γ_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, тенлик кўрилишидаги чегаравий шартларни эса, номаълум Лагранж кўпайтувчилари орқали ҳисобга олиб, куйидаги шартсиз оптималлаш масаласи ҳосил қилинади:

$$L = \Delta P + III + \sum_{i \in I_1 + II} \lambda_i^1 W_i + \sum_{i \in I_1 + II} \lambda_i^2 W_i. \quad (8.9)$$

Бу ерда $III = \sum_{i \in I_1 + II} III_{I_1} + \sum_{i \in I} III_{O_1} + \sum_{i \in I_P} III_{P_1} + \sum_{i \in I_J} III_{J_1}$ бўлиб, у мос чегаравий шарт бажарилганда нолга тенг ва бузилганда бузилиш даражасига пропорционал тарзда тез ортувчи жарима функцияларнинг йиғиндиси; λ_i^1, λ_i^2 - номаълум Лагранж кўпайтувчилари.

Оптималланувчи параметрларнинг қийматлари, масалан оптимал кучланишлар, (8.9) функция минимумлигининг зарурий шартидан ҳосил қилинган куйидаги тенгламалар системасини ечиш асосида топилади:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial w_i} = P_i - P_{i1} - Q_i - \lambda_i^1 \cdot U_i - \lambda_i^2 \cdot \delta_i \\ \frac{\partial L}{\partial v_i} = Q_i - Q_{i1} - \lambda_i^1 \cdot U_i - \lambda_i^2 \cdot \delta_i \end{cases} \quad (8.10)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \delta_i} = \frac{\partial F}{\partial \delta_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \frac{\partial W_i^1}{\partial \delta_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \lambda_i^1 \cdot \frac{\partial W_i^1}{\partial \delta_i} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \frac{\partial W_i^1}{\partial U_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \lambda_i^1 \cdot \frac{\partial W_i^1}{\partial U_i} = 0 \end{cases} \quad (8.11)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial v_i} = \frac{\partial F}{\partial v_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \frac{\partial W_i^2}{\partial v_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \lambda_i^2 \cdot \frac{\partial W_i^2}{\partial v_i} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \frac{\partial W_i^2}{\partial U_i} + p \cdot I_i \cdot U_i \cdot \lambda_i^2 \cdot \frac{\partial W_i^2}{\partial U_i} = 0 \end{cases} \quad (8.12)$$

Бу ерда P_i, Q_i, P_{i1}, Q_{i1} - i -туғуннинг ҳисобий ва берилган актив ва реактив кувватлари; 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 тугундан ташқари); (8.11) подсистемани екинчи натижасида номаълум Лагранж кўпайтувчилари ва (8.12) подсистемани екинчи натижасида реактив қувват манбаига эга бўлган тугушларнинг оптимал кучланишлари модуллари топилади.

Ёпиқ контурларнинг ножинслигини 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

$$\frac{x_i}{r_i} = const.$$

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.

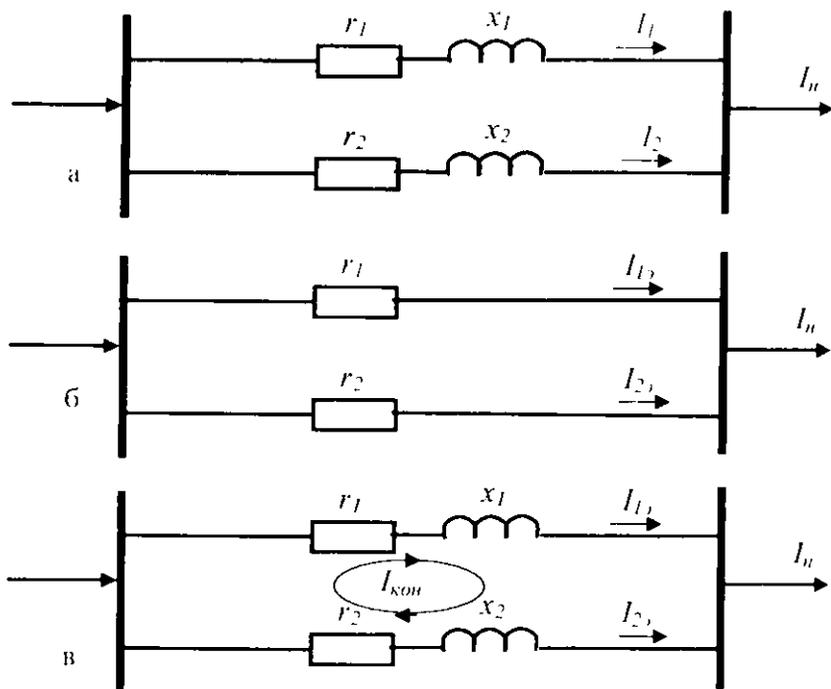
Ёпиқ тармоқда қувватнинг ундаги исрофни энг кам бўлиш ҳолатига мос келувчи иқтисодий тақсимланиши уни фақат актив қаршилик бўйича тақсимланиши билан бир ҳил бўлади.

Ножинсли ёпиқ электр тармоқда қувватлар оқимининг иқтисодий тақсимлаш имкониятларини ўрганиш учун бир контурли ёпиқ тармоқни кўриб ўтамиз (8.1,а-расм).

Схемаларда кўрсатилган I_n , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 тоқлар контурда қувватлар табиий ва иқтисодий тақсимланган ҳолатларга мос келиб, мазкур тармоқ учун уларнинг қийматлари Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонуиларидан фойдаланиб, қуйидагича ҳисобланиши мумкин:

$$I_1 = I_n \cdot \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)}, \quad I_2 = I_n \cdot \frac{r_1 + jx_1}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)},$$

$$I_3 = I_n \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad I_4 = I_n \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$



8.1-расм

Агар 8.1,а-расмда тасвирланган конгурда тармоқнинг пожинслилиги 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:

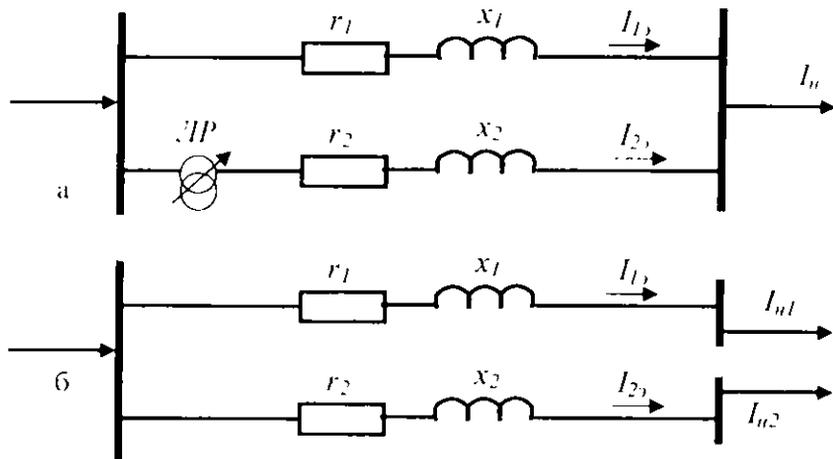
$$I_1 = I_{12} + I_{кон}; I_2 = I_{21} - I_{кон}.$$

Шундай қилиб, ёниқ электр тармоқларда қувват исрофини минималлаш учун уларда тенглаштирувчи тоқларни нолга келтириш лозим. Бу тармоқнинг пожинслилигини камайтириш ёки тенглаштирувчи тоқларни компенсациялаш орқали амалга оширилади.

Тармоқнинг пожинслилигини камайтириш 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 узатиш орқали (тармоқ контурларини очиш орқали) (8.2,б-расм).



8.2-расм

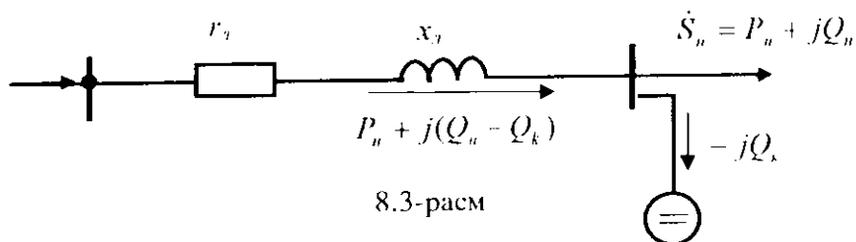
Компенсацияловчи тенглаштирувчи тоқларни ҳосил қилиш контурларга қўшимча ЭЮК киритиш орқали амалга оширилади. Ўз навбатида қўшимча ЭЮК линия ростлагичлари ҳисобига, яъни кучланишни бўйлама-кўндаланг ростлаш ёки мувозанатлашмаган трансформациялаш коэффициентлари ҳисобига ҳосил қилинади (8.2,а-расм).

Таъминловчи электр тармоқларда қўшимча ЭЮКнинг қийматини ёки контурни очиш нуқтасини аниқлаш учун унинг ҳолатини оптимallasиш масаласи ечилади. Бунинг учун юқорида келтирилган алгоритмдан фойдаланиш самаралидир.

8.2. Тақсимловчи электр тармоқларда қувват ва энергия исрофини камайтириш

Тақсимловчи электр тармоқлар таъминловчи тармоқлардан фарqli равишда доимо очик ҳолда ишлайди. Шу сабабли уларда исрофини камайтиришнинг 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 куйидагича 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 исрофи 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:

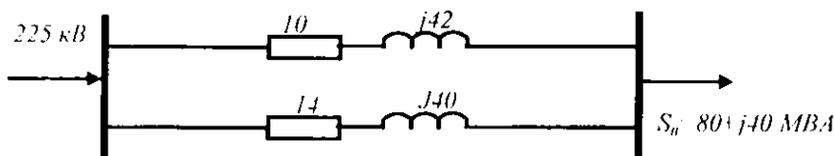
$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(Q_n - Q_k)}{U_n^2} \cdot r_l = 0 .$$

Шундай қилиб, кўрилатган тармоқ учун $Q_{k, \text{opt}} = Q_n$.

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

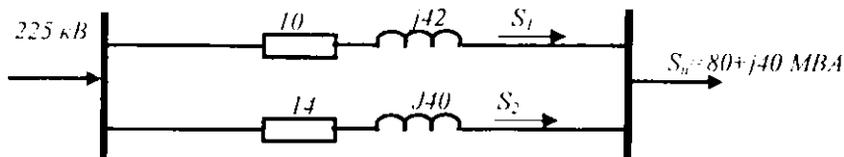
8.1-масала. Схемаси 8.4-расмда келтирилган ёпиқ электр тармоқда кувватлар оқимининг табиий ва иқтисодий тақсимланишини ҳисобланг. Тармоқнинг минимал исрофлар билан ишлаш ҳолатини конгурини очиш орқали таъминланг.



8.4-расм

Ечиш. Тармоқнинг шохобчаларида кувват оқимининг тақсимланишини Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонуларидан фойдаланиб тонамиз.

Табиий тақсимланишни ва бу ҳолатдаги актив кувват 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 кувват исрофини ҳисоблаймиз:

$$\dot{S}_{L_1} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{14}{24} \cdot (80 + j40) = 46,67 + j23,33 \text{ MVA},$$

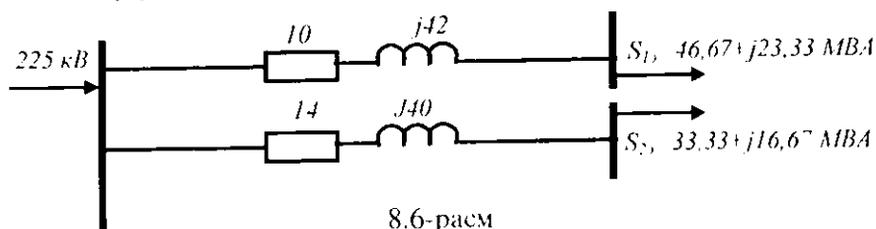
$$\dot{S}_{L_2} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_n = \frac{10}{24} \cdot (80 + j40) = 33,33 + j16,67 \text{ MVA},$$

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \frac{P_{L_1}^2 + Q_{L_1}^2}{U_n^2} \cdot r_1 + \frac{P_{L_2}^2 + Q_{L_2}^2}{U_n^2} \cdot r_2 = \\ &= \frac{46,67^2 + 23,33^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{33,33^2 + 16,67^2}{220^2} \cdot 14 = 0,962 \text{ MWm} \end{aligned}$$

Шундай қилиб, ушбу электр тармоғида қувват оқимининг иқтисодий тақсимланиши натижасида актив қувват исрофи

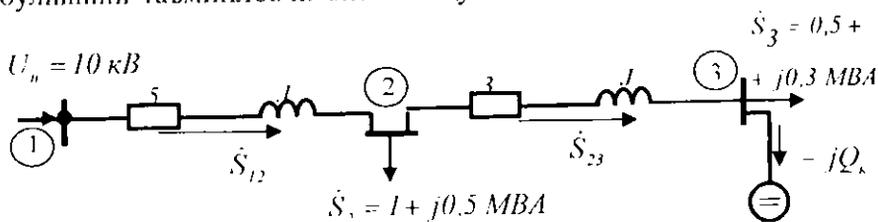
$\Delta \Delta P = \Delta P - \Delta P_s = 1,007 - 0,962 = 0,045 \text{ MWm}$ га, яъни 4,5% га камаяди.

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 очиқ электр тармоқнинг чекка пунктидаги истеъмолчисида уланувчи реактив қувват компенсаторнинг тармоқдаги исрофининг минимал бўлишини таъминловчи оптимал қувватини топинг.



8.7-расм

Ечиш. 1-2 ва 2-3 шохобчалардаги қувватлар оқимларини 2 ва 3- тугунлар 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 номинал ум 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 минимуминининг 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:

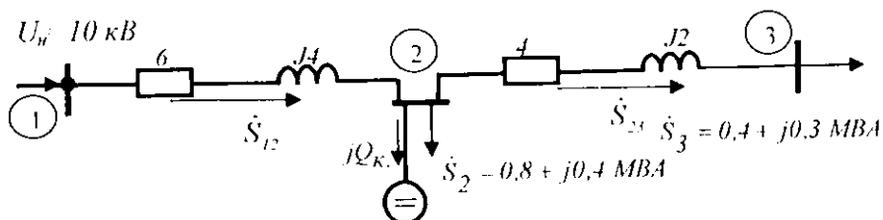
$$\Delta P_1 = \frac{1,5^2 + (0,8 - 0,612)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - 0,612)^2}{10^2} \cdot 3 = 0,117 \text{ МВт}.$$

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.

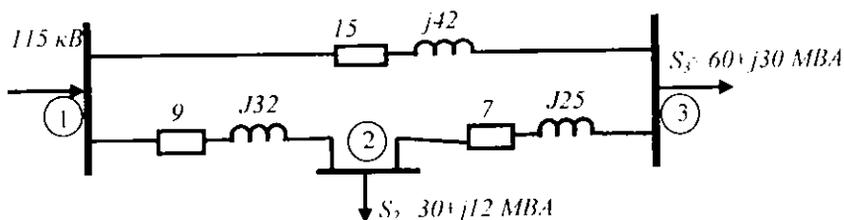
8.4. Муस्ताқил ечиш учун масалалар

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 ёшиқ электр тармоқда қувватлар оқимининг табиий ва иқтисодий тақсимланишини ҳисобланг. Тармоқнинг минимал исрофлар билан ишлаш ҳолатини контурни очиш орқали таъминланг.



8.9-расм

1. ХАВО ВА КАБЕЛЛИ ЭЛЕКТР УЗАТИШ ЛИНИЯЛАРИНИНГ ТЕХНИК МАЪЛУМОТЛАРИ

35 ва 110 кВ номинал қўчланмишдаги пўлаталюминий ўтказичли ҳаво 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

1.3- жадвал

Ҳаво линиялари пўлаталоминоний ўтказгичларининг диаметрлари ва узоқ вақт довомида руҳсат этилган тоқлари

Кесим 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
Кесим 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 хисобий маълумотлари (1 км учун)

Томирнинг қесим юзаси, мм ²	г ₀ , Ом		6 кВ		10 кВ		20 кВ		35 кВ	
	Мнс	Алю миний	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	-	-

110 ва 220 кВ номинал кучланишдаги мой тўдирилган ва пластмасса изоляцияли
кабелларнинг
хисобий маълумотлари (1 км учун)

Томирнинг кесим юзаси, мм ²	Мой тўдирилган				Пластмасса изоляцияли						
	T ₀ , ОМ	110 кВ		220 кВ		T ₀ , ОМ	110 кВ		220 кВ		
		X ₀ ОМ	q ₀ , кВ·АР	X ₀ , ОМ	q ₀ ОМ		X ₀ , ОМ	q ₀ , кВ·АР	X ₀ , ОМ	q ₀ , кВ·АР	X ₀ , ОМ
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	450	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	755	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	830	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	1040	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	1250	3700

II. ТРАНСФОРМАТОР ВА АВТОТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ТЕХНИК МАЪЛУМОТЛАРИ
 II – ИЛОВА

II.1 – жадвал
 6 ва 10 кВ қўтланишли уч фазали икки қўтғамли трансформаторлар

Тип	S _{ном} кВА	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар			
		Қўтғамларнинг ном.		U _с % κ	ΔP _н кВт	ΔP _т кВт	I _с %	R _т Ом	X _т Ом	ΔQ _{кВАР}	
		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 _{ном} кВА	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар			
		Чўлғамларнинг ном.		U _а %	ΔP, кВт	IP, кВт	I _с %	R _с Ом	X _с Ом	ΔQ _с кВАР	
		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.	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 қўчланниш уч фазали икки қўчламли трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Каталог маълумотлари						Ҳисобий маълумотлар			
		Чўлғамларнинг ном.		U _а %	ΔP, кВт	I _с %	R _с Ом	X _с Ом	ΔQ _с кВАР		
		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	36	
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 – жадвэлтнийг давамд

Түп	S _{мөв} МВА	Каталог мөвдүмдлэри					Хисобий мөвдүмдлэри				
		ЮН	КН	U _н %	ΔP _н кВ _м	ΔP _т кВт	I _н %	R _т Ом	X _т 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	

Эсвэлмэ: 1. ТМ ва ТД тиймдги трансформаторлар роелтлэи курилмэнтэ этэ эмэс. ТМН, ТДН ва ТРДН тиймдги трансформаторлар юкори томондга роелтлэи дилэлэони +10х1,5% дэллэ -8х1,55 тэллэ бүүлэн ЮОР курилмэнтэ этэ. 2. Күйи чулгэмдги парчелэлэн ТРДН тиймдги трансформаторлар учун X_{к1}=0; X_{к2}=X_{к3}=2X_{тн}

35 кВ кучланишли уч фазали икки чулгамли трансформаторлар

Тип	S, МВА	Ростлаш четарада рин	Каталог маълумотлари				Хисобни маълумотлар				
			Чулгаларини ном.	U, %	ΔP, кВт	ΔP, кВт	I, %	R _г , Ом	X _г , Ом		
										кучланишлари, кВ	%
			ЮН	КН							
ТМ-100/35	0.1	±2 Ч1.5%	35	0.4	6.5	1.9	0.5	2.6	2.41	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. Кучланишли ростлаш юкори томонда жойлашган ЮОР ёки КАУ курилмас ёрдамида амалга оширилади. 2. Кавда кўрсатилган ТН типдаги трансформаторлар юкори томонда ростлаш днапазони ±2 Ч2.5% булган КАУ курилмасна эга.

110 кВ кучлаништли уч фазали икки чулгамли трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Ростлаш чегаралари	Каталоғ маълумотлари				Ҳисобий маълумотлар				
			Чулгамларини номинал кучланишлари, кВ		U _н %	ΔP _н кВт	ΔP _т кВт	I _н %	R _т Ом	X _т Ом	ΔQ, кВАР
			ЮН	КН							
ТМН-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
ТДН-10000/110	10	± 9×1,78 %	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70
ТДН-16000/110	16	± 9×1,78 %	115	6,6; 11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ТДН-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
ТДНЖ-25000/110	25	± 9×1,78 %	115	27,5	10,5	120	30	0,7	2,5	55,5	175
ТДН-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
ТД-40000/110	40	± 2×2,5 %	121	3,15; 6,3; 10,5	10,5	160	50	0,7	1,46	38,4	260

II.4 – жадвалнинг давоми

Тип	S _н , МВА	Росглаш чегаралари	Қадалоч маълумотлари					Хисобин маълумотлар			
			ЮН	КН	U _н , %	ΔP _н , кВт	ΔP _к , кВт	I _н , %	R _н , Ом	X _н , Ом	ΔQ _н , кВАР
ТРДЦН-63000/110	63	± 9×1.78 %	115	6.3 6.5; 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

Э.с.таъки: 1. ЮОР кўрилмади кўпин кучланиш томоғида бўлган ТНН-2500/110 ва юқори кучланиш томоғида КАУ кўрилмади бўлган ТДНЦНга трансформаторлардан ташқари барча трансформаторларда кучланишни ростлаш жокори кучланиш чуқурлигининг негизларида жонлашган ЮОР кўрилмади ер янвали амалга оширилди. 2. Кўри томоғида номинал кучланиш 38.5 кВ ва 27.5 кВ (электрлаш ирилган) гемир вўзлар умун бўлган ТРДН ишлагаи трансформаторлар иккиламчи чуқурга парцаланмаган келиб ишлаб чиқарилдиш мүмкин.

110 кВ кучданшли уч фазаги уч чулганли трансформаторлар

Тип	S _{ном.} МВА	Каталог маълумотлари						
		Чулганларнинг ном. кучданшлири, кВ				U, %		
		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	
ТДТНЖ - 80000/110	80	115	38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6	

И.5 – жадвалнинг давоми

Тип	Каталоги маълумотлари			Ҳисобий маълумотлар									
	ΔP _к , кВт	ΔP _с , кВт	I _с , %	R - Ом			X _т - Ом			ΔQ _с , кВт	ΔQ _р , кВт		
				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			
ТДТН - 25000/110	140	45	0.7	1.5	1.5	1.5	56.9	33	0	250			
ТДТНЖ - 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 чулғамли ЮОР ±8×1.5% курилмасига эга бўлган ТДТНЖ -40000 трансформаторидан гашқари барча трансферматорлар юкори чулғамининг нейтралда ЮОР ±9×1.78% курилмасига эга.

220 кВ кучланишли уч фазали икки чулганли трансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Реглаш чегаралари	Каталог маълумотлари						Хисобни маълумотлар			
			Чулганларнинг ном. кучланишлари, кВ		U _н %	ΔP _н кВт	ΔP _с кВт	I _н %	R _г Ом	X _т Ом	ΔQ _с кВАР	
			ЮН	КН								
					ЮН	КН						
ТРДН-40000/220	40	±8×1,5%	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360	
ТРДЦН-63000/220	63	±8×1,5%	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504	
ТДЦ-80000/220	80	±2×2,5%	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480	
ТРДЦН-100000/220	100	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700	
ТДЦ-125000/220	125	±2×2,5%	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625	
ТРДЦН-160000/220	160	±8×1,5%	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960	
ТДЦ-200000/220	200	±2×2,5%	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900	

11.6 – жабданың давоми

Тип	S _н , МВА	Ростлаш чегаралары	Каталог маълумотлари				Хисобий маълумотлар				
			Чулгаларнинг ном. кучланишлари, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _с , кВт	I _к , %	R _к , Ом	X _к , Ом	ΔQ _к , кВАР
			ЮН	КН							
ТДЦ-250000/220	250	-	242	13.8; 15.75	11	650	240	0.45	0.55	25.7	1125
ТДЦ-400000/220	400	-	242	13.8; 15.75; 20	11	880	330	0.4	0.29	16.1	1600
ТЦ-630000/220	630	-	242	15.75; 18	12	130 0	380	0.35	0.17	11.6	2200
ТЦ-1000000/220	1000	-	242	24	11	220 0	480	0.35	0.2	6.7	3500

Эслатма: Чулгалнинг ростлаш юкори чулгалнинг нейтралда амалга оширилади.

И.7 – жадвал

220 кВ кучланишли уч фазаги уч чулғамли трансформаторлар ва автотрансформаторлар

Тип	S _{ном.} МВА	Ростлаш чегаралари	Каталог маълумотлари					
			Чулғамларнинг ном. кучланишлари, кВ					
			ЮН	УН	КН	Ю-Ў	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
АТДЦН 63000/220/110	63	±6×2%	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9
АТДЦН - 125000/220/110	125	±6×2%	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28
АТДЦН 200000/220/110	200	±6×2%	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20
АТДЦН 250000/220/110	250	±6×2%	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8

И.7 – жисабалнинг давоми

Тиг.	Каталог маълумотлари						Хисобий маълумотлар										
	AP _с кВт			AP _{сг} кВт			I _б %			R _{т, Ом}			X _{т, Ом}			ΔQ _с кВА	P
	Ю-У	Ю-К	У-К	Ю	У	К	Ю	У	К	Ю	У	К	Ю	У	К		
ТДТН-25000/220	135	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300			
ТДТНЖ-25000/220	135	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300				
ТДТН-40000/220	220	-	-	55	1,1	3,6	3,6	3,6	3,6	165	0	125	440				
ТДТНЖ-40000/220	240	-	-	66	1,1	3,9	3,9	3,9	3,9	165	0	125	440				
АТДЦПН-63000/220/110	215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315					
АТДЦПН-125000/220/110	305	-	-	65	0,5	0,55	0,48	3,2	59,2	0	131	625					
АТДЦПН-200000/220/110	430	-	-	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000					
АТДЦПН-250000/220/110	520	-	-	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250					

Эслатма: 1. Автотрансформаторлар учун куйин чулгамнинг куввати номинал кувватининг 50% га тенг. 2. Кучланишни ростлаш юқори чулгамнинг нейтралдаги ЮОР ±8x1,5%; ±12x1% ёки ўрта чулгам томонидаги ЮОР ±6x2% хисобига амалга оширилади.

500 кВ кучданишли уч фазади ва бир фазади автотрансформаторлар

Тип	S _{ном} МВА	Ростлаш чегаралари	Каталог маълумотлари						Чулгаларнинг S _{ном} га нисбатан куйрати, %		
			Чулгаларнинг ном: кучданишлари, кВ			Чулгаларнинг ном: кучданишлари, кВ			Ю	У	К
			ЮН	УН	КН	ЮН	УН	КН			
АТДЦТН-250000/500/110	250	± 8×1,4%	500	121	11; 38,5	100	100	100	100	40	
АТДЦТН-500000/500/220	500	± 8×1%, -8×1,25%	500	-	230	100	100	100	-	100	
АОДЦТН-167000/500/220	167	± 6×2,1%	500/√3	230/√3	11; 13,8; 15,75 20; 38,5	100	100	100	100	30; 40; 50	
АОДЦТН-167000/500/330	167	± 8×1,5%	500/√3	230/√3	10,5; 38,7	100	100	100	100	20	
АОДЦТН-267000/500/220	267	± 8×1,4%	500/√3	230/√3	10,5; 15,5; 20,2; 38,6	100	100	100	100	25; 30; 45	

II.8 жадвалнинг давомин

Тип	Каталог маълумотлари						Хисобни маълумотлар						АО, кВА р			
	U _{кВТ}			ΔP _с			I _н			R _т , Ом				X _т , Ом		
	Ю-У	Ю-К	У-К	Ю-У, кВт	Ю-У, кВт	У-К, кВт	%	Ю	У	К	Ю	У		К	Ю	У
АТДЦТН-250000/500/110	13	33	18,5	640	230	230	0,45	2,28	0,28	5,22	137,5	0	192,5	1125		
АТДЦТН-500000/500/220	11,5	-	-	1050	230	230	0,3	1,05	1,05	-	57,5	-	-	1500		
АОДЦТН-167000/500/220	11	35	21,5	325	125	125	0,4	0,58	0,39	2,9	61,1	0	113,5	2004		
АОДЦТН-167000/500/330	9,5	67	61	320	70	70	0,3	0,48	0,48	2,4	38,8	0	296	1503		
АОДЦТН-267000/500/220	11,5	37	23	490	150	150	0,35	0,28	0,28	1,12	39,8	0	75,6	2803		
										0,6						

III.1-жадвал

Электр истеъмолчиларида кучланишнинг рухсат этилган оғиши

Электр истеъмолчисининг тури ва ваияфаси	Кучланишнинг энг катта рухсат этилган оғиши, %	
	Электр моторлари	+10
Жамоат бинолари, саноат корхоналари ва ташқи прожектор қуришмаларининг 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
		$1,1U_{ном}$	$U_{ном}$			
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	864

Эслатма: Суратда КС2-1,05-60, махражда эса КСК2-1,05-125 типдаги конденсаторли батареялар учун маълумотлар келтирилган.

III.3-жадвал

Конденсатор қурилмаларининг асосені характеристикалари

Қурилманин тнши	Номинал кучланиши, кВ	Қуввати, кВАР	Солиштирма 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

Тнши	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

АДАБИЁТЛАР

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 иностранных странах/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 вузов. - 2-е изд. - М.: 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 кўрсатма. 1-қисм. - Тошкент: ТошДТУ, 1996. - 165 б.
10. Электрические сети и системы./Н.Б.Булова 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: Моля, 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. Гаїибов 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 регулируемыми 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. ГЛЪМИНЛОВЧИ 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 перофининг 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. Содда ёпиқ электр тармоқларда кувват оқимлари ва туғун кучланишларини ҳисоблаш.	43

4.2.	Мураккаб-ёпик 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 оптималлаш.	126
8.2.	Тақсимловчи электр тармоқларда қувват ва энергия исрофини камайтириш.	131
8.3.	Масалалар ечиш намуналари	133
8.4.	Мустакил 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 ҚЎЛЛАНМА

Муҳаррир: М.М.Ботирбекова

Босишга руҳсат этилди 9.10.2006 й. Бичими 60x84 1/16.
Шартли босма табағи 10. Нусхаси 68 дона. Буюртма № 447.
ТДТУ босмахонасида чоп этилди. Тошкент ш. Талабалар кўчаси 54.