

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRIGI
TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

O. Annaýew, A. Meredow

Elektrik ulgamlary we setleri

Hünär : “Elektrik üpjünçiligi”

Aşgabat 2010

SÖZBAŞY

Hormatly Prezidentimiziň ýolbaşçylygynda Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan döwletimiz gün–günden ösýär, özgerýär. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň ilkinji permanlarynyň biri ýurdumyzda bilim we ylym ulgamyny ösdürmek barada bolupdy. Şonda orta mekdeplerinde okuwyň möhletini 10 ýyla, ýokary okuw mekdeplerinde bolsa 5 ýyla, käbir hünärler boýunça 6 ýyla çenli uzaltmak göz önünde tutulypdy. Bu kararlaryň durmuşa geçirilmegi ýaşlara berilýän bilimleriň dünýä derejesine laýyk gelmegine mümkinçilik berdi.

Hormatly Prezidentimiz tarapyndan gol çekilen “Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakynda” Permany, “Bilim – terbiýeçilik edaralaryny işlerini kämilleşdirmek hakynda” we “Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň işi hakyndaky” taryhy Kararlary her bir bilim işgärlerini täzeçe, yhlasly işlemäge ruhlandyrdy.

Hormatly Prezidentimiz özüniň ýygnaclarynda, uly Döwlet maslahatlarynda milli maksatnamada göz önünde tutulan meseleleriň çözülişini, durmuşa geçirilişini esasy üns merkezinde saklaýar. Milli maksatnamada ilaty elektrik energiýasy bilen üpjün etmegi gowulandyrmak barada öňde goýulan wezipeleri üstünlikli durmuşa geçirmek üçin, energetika ulgamlarynda işlejek ýokary bilimli hünärmenleri dünýä derejesinde taýýarlamak esasy mesele bolup durýar.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýolbaşçylygynda, Beýik galkynyşlar we özgertmeler zamanasynda, biziň Garaşsyz, Baky Bitarap Türkmenistan döwletimiziň ykdysadyýeti, syýasaty, medeniýeti, ýaşayyş durmuşy uly depginde özgerýär. Ýurdumyzyň in bir ösüp barýan pudaklarynyň biri energetika pudagydyr. Ýagny täze elektrik stansiýalar, podstansiýalar guruldy we häzirki wagtda gurulýar. Onuň esasynda biziň gzel

paýtagtymyzy şeýlede onuň etegindäki obalaryň yşyklandyrylyşyny elektrik togy bilen doly üpjün etmäge mümkinçilik döredýär. Ol bolsa biziň ýurdymyzyň elektrik energiýasynyň has-da köpelmeginiň hem-de biziň at abraýmyzyň has-da ýokarlanmagyna itergi berer. Mundan başga hem energiýa üpjünçiliginiň ygtybarlygyny, durnuklylygyny ýokarlanmaga öz goşandyny goşar.

“Elektrik üpjünçiligi” hünäri boýunça bilim alýan talyp ýaşlaryň Türkmenistanyň syýasy – ykdysady ösüşlerini göz önünde tutup, Watanmyzyň gülläp ösmegi, halkymyzyň hal – ýagdaýynyň gowulanmagy üçin ýokary derejeli hünärmenleri taýýarlamagyň esasy bolup durýanlygy aýdyňdyr.

Hususy soraglardan energiýany ösdürmegiň häzirki zaman çeşmeleriniň, ulgamlarynyň işleýşi, ulanylyşy, olary kämilleşdirmek baradaky meseleleri çözmäge mümkinçilik berýän talyplaryň nazary pikirlerini ösdürmek meselesi dersiniň esasy bolup durýar.

GIRIŞ

Elektrik setleri we elektroenergetiki ulgamlar barada umumy düşünje

Elektrik setleri elektroenergetiki ulgamyň bir bölegidir

Elektrik setleri islendik elektroenergetiki ulgamyň bir bölegi bolany üçin seti öwrenmezden otri elektroenergetik ulgamlar bilen tanyş bolmalydyr. Elektroenergetik ýa-da elektrik ulgam diýilende, ilki bilen, energetiki ulgamyň elektrik bölegi göz önüne gelýär.

Şeýlelikde, energetik ulgamda elektrik öndürilişi, özgerdilişi, ýaýradlyşy, kabul edilişi, sarp edilişi umuman ähli elementleriň iş durkuna düşünilýär, dürli energiýa gatnaşygyna düşünilýär. Energetiki ulgamy düzýän enjamlar kändirler we dürli-dürlidirler : gazan enjamlary, turbina, generatorlar, boýlerler, elektrik liniýalary, ýylylyk liniýalary, transformatorlar, elektrodwigateller, yşyklandyryjylar, gyzdyryjy enjamlar, tok özgerdijiler, işçi maşynlar (stanoklar, nasoslar (sorujylar), ýelpewaçlar we başgalar). Sarp edijileri birleşen elektrik stansiýalardan iýmitlendirmek öňäýly hem-de tehniki-ykdysady nukdaý narazdan amatly bolýar, ygtybarlylyk artýar, elektrostansiýalardaky ätiýaçlyk kuwwaty azalýar.

Energetiki ulgamyň belläp geçmeli artykmaçlyklaryna ine, şulary aýtmak bolar :

- 1) elektrik öndürilişi, ýaýradlyşy, sarp edilişi hemmesi bir wagtda bolup geçýär (öndüriliş sarp ediliş bilen wagt birliginde mäkäm bagly). Özgerdişde, energiýa berilişde işçi elementleri hemmesinde energiýa ýitgisi bolýar.

- 2) elektrik prosesiniň çalt bolup geçýänligi sebäpli çalt we ygtybarly işläp bilýän awtomatik serişdeleri talap edýär.
- 3) elektrik ulgamy bilen halk hojalygynyň ähli pudagy bagly bolansoň, elektrik ulgamynyň ösüşi energiýa bolan islegiň ösüşinden öňürtmelidir.

B I R I N J I B A P

ELEKTROENERGETIKA DÜZÜMLERİ

§ 1-1 Elektroenergetik ulgamlary we geçirijileri

Elektroenergetiki ýa-da elektrik ulgamlary diýlende hemişe energetik ulgamyň elektrik bölegini göz önüne getirmeli. Diýmek, energetiki ulgam elektrik energiýany öndürmäge gerek bolan ähli enjamlaryň bütewi ýagdaýdaky işjeň birleşmesi bolup durýar. Elektroenergetik ulgamlaryň üsti bilen köplenç halatlarda elektrik energiýasyny öndürilýär, ýaýradylýar hem-de sarp edilýär, käbir halatlarda munuň üstüne ýylylyk energiýasyny hem ýaýradyp sarp edilşi amala aşyrylýar. Şeýlelikde energetiki ulgam bug gazanlaryndan, turbinalardan, generatorlardan, bug sowadyjylardan, elektrik geçirijilerden, ýylylyk geçirijilerden, transformatorlardan, elektrodwigatellerden, ýşyklandyryjylardan, ýyladyjylardan, tok özgeridijilerden, iş-maşynlaryndan (stanoklar, nasoslar, ýelpewaçlar we ş.m.) durýarlar.

Birnäçe elektroenergetik ulgamyň birleşmesine, ýagny bilelikdäki işlemegine birleşen energetiki ulgam (BEU) – diýip aýdylýar.

Ulgamlaryň bilelikdäki işlemeginiň tehniki hem-de ykdysady peýdasy ulydyr.

Ulanýan ilkinji güýje baglylykda elektrik stansiýalary aşakdakylar ýaly häsiýetli taraplara bölünýärler :

- ýylylyk elektrik stansiýalary
- suw elektrik stansiýalary

Ýylylyk elektrostansiýalarynda ýangyjyň dürli görnüşleri ulanylyp biliner (kömür, nebit, nebit önümleri, gaz, atom energiýasy).

Suw elektrostansiýalarynda bolsa suwuň güýji ulanylýar.

Elektrostansiýalarda öndürilen elektrik energiýasyny sarp edijilere ýetirmek üçin öňürti energiýanyň, tok hem-de potensial ululygyny özgertmeli bolýar. Bu özgerişlere kiçi stansiýalar (podstansiýalar) diýýärler, özgerdiji enjamlara bolsa transformatorlar diýip atlandyrylýar. Stansiýalarda öndürilýän energiýa kuwwatlyklary umuman uly tokly we kiçi potensially bolýar. Uzak aralyklara ýaýratmak üçin bolsa kiçi tokda we uly potensialda amatly bolýar. Munuň sebäbi, elbet-de, ýylylyk ýitiginiň, azalmagyny göz önünde tutulýanlygyndadyr.

Elektrik stansiýalaryndan ýa-da kiçi stansiýalardan geçiriji ulgamlaryna gönükdirilýän üç fazaly toguň simmetrik hem-de sinusoidal hemme ýagdaýlarynda doly kuwwatlyk kompleks san görnüşde aşakdaky ýaly kesgitlenýär.

$$\underline{S} = \sqrt{3} \underline{U} \underline{I} = \underline{P} + j\underline{Q}$$

bu ýerde $\sqrt{3}$ – geçirijiniň deňişli şahasynda tok ululygynyň kompleks bahasy;

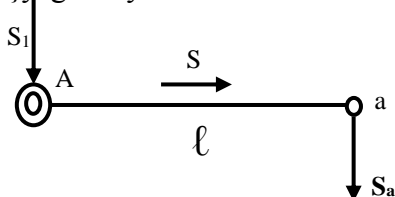
\underline{I} – deňişlikde seredilýän punktda faza potensialynyň

\underline{U} – esse ulaldylan kompleks bahasy ;

\underline{P} – aktiw kuwwatlyk ;

\underline{Q} – reaktiw kuwwatlyk;

Bir bölejik elektrik ýaýrawuna garalyň, onuň üçin 1-1-1-nji çyzga su ýüzleneliň.



“A” punkt energiýa çeşmesi, doly energiýa kuwwaty S_1 , ol çeşmeden l uzaklykda bolan “a” punkt sarp ediji S_a kuwwatlylygy bilen ýerleşen

1

1-1-1-nji çyzgy.
Energiýa geçirilişiniň şertli
şekili (sudury)

Elektrik suduryndan görnüşi ýaly naýza punkta gönükdirilen bolsa, ol energiýa çeşmesi hökmünde kabul edilýär, eger naýza punktdan daşa gönükdirilen bolsa, onda ol energiýa sarp edijini aňladýar. Naýzanyň ýanynda köplenç halatlarda doly kuwwatyň ululygy görkezilýär.

Edil şonuň ýaly-da kuwwatlyk ýaýradylanda geçiriji boýunça energiýanyň akys ugry hem ululygy naýzanyň ugry we onuň ýanynda san ululygy görkezilýär. (Ýagny, çyzgyda naýza “A” düwüninden “a” düwüne ugrukdyrylandyr we ýanynda doly kuwwatlylygy aňladýan “S” ululuk görkezilendir).

Ders öwrenilende ulanylýan birnäçe köp gaýtalanýan düşüňjeleri ýönekeýleşdirmе maksady bilen gysgaldylyp alnaýanynda hem ýeterlikli bolup biler. Mysal üçin tok ýa-da energiýa çeşmesi deregine gönderiji. (rusça “generasiýa”), elektrik geçirijileriniň deregine-geçirijiler ýa-da ýaýradyjylar (rusça “elektroperedatç”), elektrik energiýasyny kabul edijileriň ýerine sarp edijiler diýilende hem many ýitip gitmeýär.

Elektrik ulgamlarynda geçiriji setleriň käbir şertleýin toparlarda bölünişi

Häzirki zaman elektrik ulgamlarynyň çylşyrymly birleşmelerini göz önünde tutanynda olary häsiýetlendirip belli bir topara böläýmäge esas bolup biljek ýeke-täk kesgitleýjini tapýmak kyn. Eýsem-de bolsa, käbir şertli görkezijilere görä olara aýry toparlar diýip häsiýetlendirilse bolar.

Şeýle görkezijileriň, biri toguň görnüşi. Eýsem, onda hemişelik tok geçirijiniň hem-de üýtgeýän toguň geçirijilerine bölmek boljak ekeni.

Nominal potensiallaryna görä mysal, 10; 35; 110 kW, 330; 500 kW potensially elektrik geçirijilerine, kähallatlarda hetdenaşa potensially geçirijiler diýip häsiýetlendirilýär, emma welin häzirki wagtda 750; 1150 kW potensially elektrik

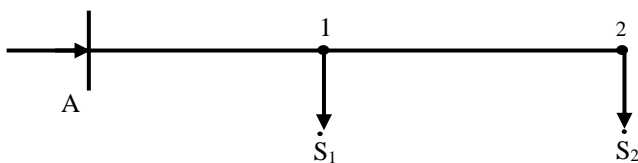
geçirijiler bir eýýämden bäri iş ýüzünde ulanylyp ýör. Şonuň üçin ulanylýan terminleriň käbiri şertli häsiýete eýedir.

Häzirkî zaman terminologiýa salgylansaň geçirijiler kiçi woltly (1000 W-dan aşakda) hem-de ýokary woltly häsiýetlerine eýe bolýar. Kärhanalarda elektrik geçirijilerini ýerli hem raýon bähbidini araýan manydaky görnüşine-de bölüp ýörler. Ýerli geçirijilerine 35 kW potensially we ondan aşakdakylar girýärler. Raýon bähbitli geçirijilerine bolsa 35 kW potensialdan ýokardakylar girýärler.

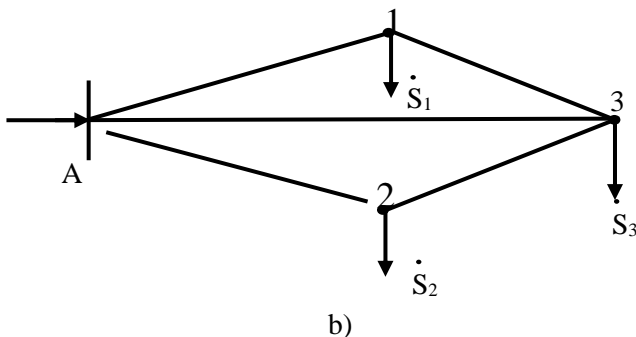
Ýene-de bir şertli bölünişik: ýmitlendiriji geçirijiler hem-de paýlaýjy geçirijiler ýmitlendiriji geçiriji energiýa çeşmesini diňe paýlaýjy punkt bilen baglaýar, aralykda energiýa sowgudy bolýar.

Paýlaýjy geçirijiler birnäçe transformator punktlary bilen baglydyr
ýa-da gönüden-göni sarp edijiniň elektrik enjamy bilen baglydyr.

Elektrik geçirijileriniň ýene-de bölünişik häsiýetnamasy ol hem bolsa olaryň düzüm aýratynlyklarydyr. Ýagny, açyk we ýapyk geçirijiler diýilýänleridir. Açyk geçirijilerde sarp edijiler diňe bir taraplaýyn ýmitlenip bilýär (1-1-2-nji a, çyzgy).



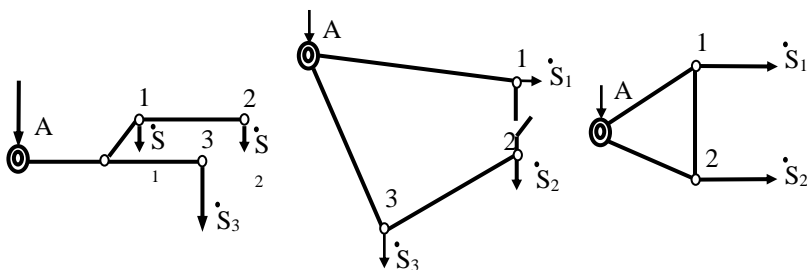
a)



1-1-2-nji çyzgy. Açyk we ýapyk geçirijiler.

Ýapyk geçirijilerde bolsa sarp ediji iň bolmanda iki tarapdan iýmitlenip bilýär. (1-1-2-nji b, çyzgy).

Şeýlelikde açyk geçirijide energiýa üpjünçiliginiň ygtybarlylygy ýapyk geçirijileriňkä garanyňda pes bolýar. Sebäbi, açyk geçirijiniň haýsy bir böleginde näsazlyk ýüze çykanda şol ýerden soňky sarp edijileriň işi togtaýar. Ýapyk geçirijileriň energiýa üpjünçilik ygtybarlylygy bolsa ýokarydyr, eýsem ol sarp edijiler näsazlyk çykan ýagdaýda beýleki bir tarapdan iýmitlendirip biler.



1-1-3-nji çyzgy.

- a) açyk geçiriji; b) ygtybarlygy ýokarlandyrylan;
 ç) ýapyk liniýalar açyk geçiriji liniýalar geçiriji liniýalar.

Howa liniýalarynyň umumy häsiýetnamasy, iş şertleri we olaryň gurnawy

Elektrik energiýasyny sarp edijilere ýetirmek üçin geçirijileriň dürli görnüşdäki gurnawlary ulanylýar. Ol gurnawlara elektrik geçirijileriň liniýalary diýilýär. Şeýle liniýalaryň hataryna howa hem-de kabel liniýalary girýärler. Howa liniýalary açyk simleriň sütünlerde izolýatorlaryň kömegi bilen asylan görnüşindedir. Howa liniýasynyň ýeriň üstünde belli bir bölegini tutup geçýän ugruna liniýa zolagy diýip atlandyrylýar.

Howa liniýalaryny düzýän esasy gurnaw elementler şulardan ybarat :

- 1) dürli görnüşli, dürli maksatlara ýaraýan köp hilli geçiriji simleri hem-de ýyldyrym goraýjy trosy asmak üçin sütünler;
- 2) sütünleriň fundamentleri;
- 3) elektrik energiýasyny geçiriji dürli simler;
- 4) liniýany ýyldyrymdan goraýjy troslar;
- 5) izolýatorlar ýa-da izolýatorlaryň düzümi;
- 6) simleri, troslary izolýatorlaryň üsti bilen sütüne berkidiji ownuk serişdeler;
- 7) ýyldyrym toguny ýa-da gysga birleşme wagtyndaky ýüze çykýan togy ýere birleşdirmek üçin ulanylýan enjamlar.

Ýokary woltly liniýalara edilýän talap, elbetde, kiçi woltly liniýalara edilýän talapdan has artyk.

35 kW potensially we ondan aşakdaky liniýalaryň üsti bilen takmynan 10-20 km aralyklara energiýa ýaýratmak maksada laýyk diýip hasap edilýär.

Uly kuwwatlyklary 30-dan tä 500 km çenli aralyklara geçirmekde köplenç halatlarda 110-dan 330 kW potentsially howa liniýalaryň kömegi arkaly amala aşyrylýar.

Arylyk has uly bolanda (1000-1200 km) we iberilýän kuwwatlylyk ägirt bolanda (1 mln. kilowatta barabar) 500 kW potentsially liniýalary gurmaly bolýar.

750 kW potentsially liniýalary gurmagyň zerurlygy berilýän kuwwatlylygyň mukdary 2 - 2,5 mln. kWt, geçirmeli aralyk bolsa 2000-2200 km ýetende ýüze çykýar.

Howa liniýalary açyk howada işleýär, şonuň üçin onuň işine howa ýagdaýy uly täsir edýär.

Ýeliň tizliginiň hasaba almaly liniýalar (potensiala baglylykda) :

16 m/s – potentsialy	1000 wolta çenli
21 m/s - -//-	35 kW çenli
25 m/s - -//-	110-330 kW
30 m/s - -//-	400 kW we ondan ýokary

Liniýalar üçin simiň daşyny örtýän buzuň hem hasabyny almaly. Ähli liniýalar üçin, ýagny potensial tä 300 kW çenli sim üstüniň buz örtüginin galyňlygyny 1,0 sm diýip hasap etmeli.

Taslamada, gurnawy ulanmada käbir düşünjelerden peýdalanýarlar

Anker sütüni – bu sütünlerde simleri, trosalary dartyý berkidýärler.

Anker aralyk – iki anker sütüniň aralygy.

Arylyk sütün – anker aralykda oturdylýan sütünler, bu sütünler simi berkitmän diňe saklamak üçin gerek.

Öwürüm burçy – liniýa zolagynyň ugruny üýtgedýän ýerindäki emele gelyän burç.

Geçirijiniň gabarasy – geçiriji simiň iň aşaky nokadyndan dik ýere çenli bolan aralyk.

Simleriň orun –geçiriji simleriň sütünlerde orun çalyşmasy.

Simleriň sallanmagy–simiň iki sütünindäki berkitme nokadyny birleşdirýän göni çyzykdan simiň islendik nokadyna dikligine bolan aralyk.

Simiň çekiş güýji – simiň ýa-da trosuň okuna düşýän güýç, ölçegi kg, tonna.

Simiň dartylmasy – çekiş güýjüniň udel ululygy, kg/mm^2 .

Sütün barada maglumatlar

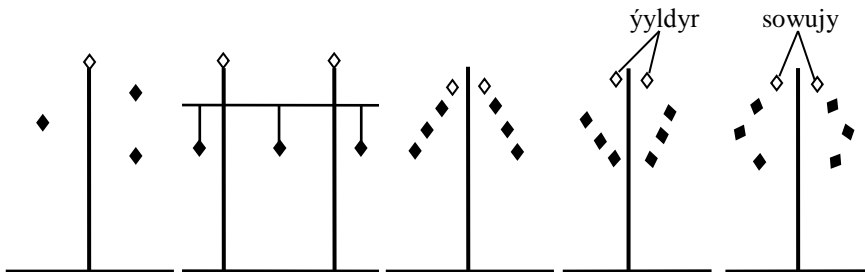
Sütün üçin ulanylýan materiallar, agaç, demirbeton, metal-her haýsynyň oňaýly, oňaýsyz taraplary bar, şonuň üçin bolsa dürli şertlere gabatlap almany bolýar :

Gurnaýyş aýratynlyklary, ulanmaga amatly ýerleri, dürli sortlary, dürli hilleri, dürli ygtybarlyklary.

Sütünlerden asylan simleriň sanyna görä bir gatly ýa-da iki gatly liniýalara bölünýärler. Bir gatly liniýalarda sütünleriň gurnalyş aýratynlygyna baglylykda geçiriji faza simleri ýa deňtaraply üçburçlygynyň depelerinde ýerleşýärler ýa-da II-harpyňy ýa-da salýan sütünde gorizontalk tekizlikde ýerleşýärler. Iki gatly liniýalarda faza simleriniň ýerleşişini “ýolkany” ýadyňa salýar, käbir halatlarda ters “ýolka” edip hem ýerleşdirilýär.

Köplenç ýagdyada “boçka” görnüşli ýerleşişe ündew edýärler.

Ine, ýokarda agzalan görnüşleriň sudur şekili aşakdaky ýaly bolýarlar.



Faza simleriniň sütünlerde köplenç halatlarda ýerleşşi

Kabel önümleri, olaryň taýýarlanyşy

Kabel önümi üçin tok geçirijiligi ýokary hilli bolan materiallar saýlanyp alynýar. Şeýle materiallara alýuminiý hem-de ýakylan mis simleri degişlidir. Birnäçe simi bilelikde alýarlar we oňa tow berýärler, şeýlelikde faza simi taýýar bolýar. Tow berilýän simiň sanyna görä faza siminiň kese kesigi üýtgäp durýar. Tow alan sime tok geçiriji damarlar ýa-da ýöne damarlar diýip aýdýarlar. Şol damarlaryň sanyna görä üç damarly, dört damarly, käbir halatlarda bolsa ýörite maksatlar üçin bir damarly kabel önümlerini taýýarlaýarlar. Kabel önümleriniň göwrümini peseltmek hem-de izolýasiýa üçin az material sarp etmek maksady bilen faza damarlaryna sektor formasyny berýärler. Faza damarlarynyň aýratynlykda daşyny ýöriteleşdirilen kabel kagyzy bilen dolaýarlar. Ol kagyza žgut, ýag sakyz garnuwy siňdirilýär, bu bolsa onuň izolýasiýa ukybyny artdyrýar. Ilki faza izolýasiýasyny, soňra bolsa guşak izolýasiýasyny ulanýarlar. Kabeliň içine çyg, howa barmaz ýaly alýuminden ýa-da gurşundan sepsiz örtük guşak edilýär.

Eger kabel ýerde ýa-da suwda goýmak üçin niýetlenen bolsa, himiki täsir etmezlik maksady bilen guşagyň daşyndan bituma ýatyrylan nah sapaklar bilen bir gat ýa-da iki gat edip saraýarlar. Bu sargylar bir wagtyň özünde kabel örtüğini tötänleýin tok aýlowyndan hem-de mehaniki şikeslerden goraýar, sebäbi bitumly sargylaryň üstünden polat lentalarynyň sargysyny ýerine ýetirýärler. Polat lenta sargylar kabeli daşky şikes ýetmelerden goraýar, şeýle şikesler bolsa kabel önümi bir ýerden başga bir ýerlere äkidilende, gurnalýan ýagdaýynda we ulanylýan ýagdaýynda ýüze çykmagy ähtimaldyr. Ahyrda polat lentadan edilen gorag sargynyň üstüne asfalt-bituma ýatyrylan nah sapaklar saralýar.

Jaý içinde ulanylmaga niýetlenen kabelleriň alýumin ýa-da gurşun örtüğiniň üstünden hiç-hili sargy edilmeýär, onuň

geregi hem ýok. Käbir ýagdaýlarda kabeliň izolýasiýasyny rezinden, poliwinilhloridden we polietilenden ýerine ýetirilýär.

Potensial ululygy 110-500 kW bolanda köplenç ýagdaýda içi ýagdan doldurylan 1 fazaly kabel görnüşinde taýýarlaýarlar. Şonuň ýaly ýagdaýda ýönekeý ýasalan bir fazaly kabeliň içini hem izolirleýji ýag bilen 10-15 atm basyşda doldurmak maksada has laýyk bolýar.

Içi gaz bilen doldurylan kabeller hem öndürilýär. Içki boşlugy inert gazy bilen 1-3 atm edip doldurylýar, şeýle kabeller 10-110 kW aralygynda kabel kagyzy bilen izolirlenen gurnamasynda duş gelinýär.

Kabel önümlerini bir-birine seplemek üçin kabel muftalary diýilýän ýörite enjamlar ulanylýar.

1000 W potensiala çenli kabeller üçin çoýundan ýasalan, iki bölekden ybarat muftalar peýdalanylýar. Muftanyň içini ýagly-bitun garnuwy bilen doldurýarlar. Potensialy 3-10 kW bolan kabeller üçin gurşun muftalary ulanylýar, onuň hem içi ýagly-bitun garnuwy bilen doldurylýar we ony çoýun gabawyň içinde ýerleşdirýärler. Soňky wagtlarda potensialy 1-10 kW kabeller üçin epoksit garnuwly muftalar ullanylyp başlandy, bu muftalar arzan hem ulanmaga örän amatlydyr.

Kabel liniýalaryny senagat gurnawlarynyň içinden hem-de açyk meýdandan geçirip bolýar. Jaýlaryň içinde geçirilende kabeliň daşky asfalt-bitum örtüginde hökmän aýyrmalydyr. Açyk ýerden geçirilende bolsa takmynan çuňlugy 10-80 sm bolan çukuryň düýbünde ýerleşdirýärler. Gazylan çukuryň düýbüne ilki galyňlygy 8-12 sm bolan ürgün çäge dököýärler, soňra onuň üstünde seresaplyk bilen kabel liniýasyny goýýarlar we onuň üstüni bir gat ürgün çäge bilen basyrýarlar, çägäniň üstünden bolsa setir edip kerpiç goýýarlar, soňra onuň üstüni öňki çukurdan çykan gum bilen doldurýarlar we synçygyllaýarlar (trambowka). Şäherde trotuarlardan, gatnawly ýerlerden geçirilende bolsa kabeli asbesto-sement trubalarda ýa-da bolmasa beton bloklarda geçirýärler, takmynan 25-72 m aralyklardan bolsa kabel guýujyklary diýip atlandyrylýan

guýyjyklary oturdýarlar bu ýagdaý örän amatlyklary üpjün edýär.

Elektrik setleriniň potensiallary we transformatorlaryň neýtrallarynyň iş durky

Setler we transformatorlar hemişe özara bagly ýagdaýda işleýärler. Transformatorlaryň set bilen birleşme sargylarynyň neýtralynyň iş durky neýtralyň ýer bilen birleşme ýa-da birleşmezlik (izolirlenen) ýagdaýynda bagly bolup durýar. Şonuň üçin setleri isle ýokary woltly bolsun, isle-de pes (kiçi) woltly bolsun ýer bilen petik bagly (gluhoýe zazemleniýe) hem-de ýerden üzňe (izolirowannoý neýtralýu) setlere bölýärler.

Eger set transformatoryň neýtraly duga öçüriji sargynyň üsti arkaly ýer bilen birleşen görnüşine çatylan bolsa, ol hili setlere kompensirlenen setler diýilýär.

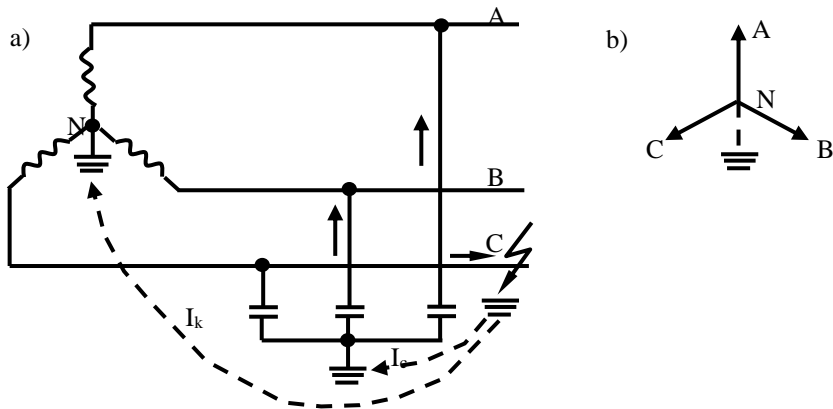
Diýmek, üç görnüşli setler bar eken :

1. Petik bagly setler .
2. Üzňe setler .
3. Kompensirlenen setler .

Ýer bilen petik bagly setiň işine garalyň. Bu hili setler ýer bilen uly tok birleşmesini häsiýetlendirýärler ($I_z > 500 \text{ A}$). Hakykatdan-da, oňaly iş şertlerinde işçi togundan örti sygym toklary-da I_c akýar. Bu I_c toklar faza sygymlarynyň üsti bilen özara birleşýärler. Üç fazada simmetrik ýagdaý bolanda $\Sigma I_c = 0$ neýtralda tok bolmaýar. Eger-de bir faza ýer bilen birleşme emele getiräýse (köp halatlarda ýüze çykýan ýagdaý), mysal üçin C faza bilen, onda birleşme nokatdan neýtrala tarap tok akar I_k (1-1-4-nji çyzgy ştrih liniýalar).

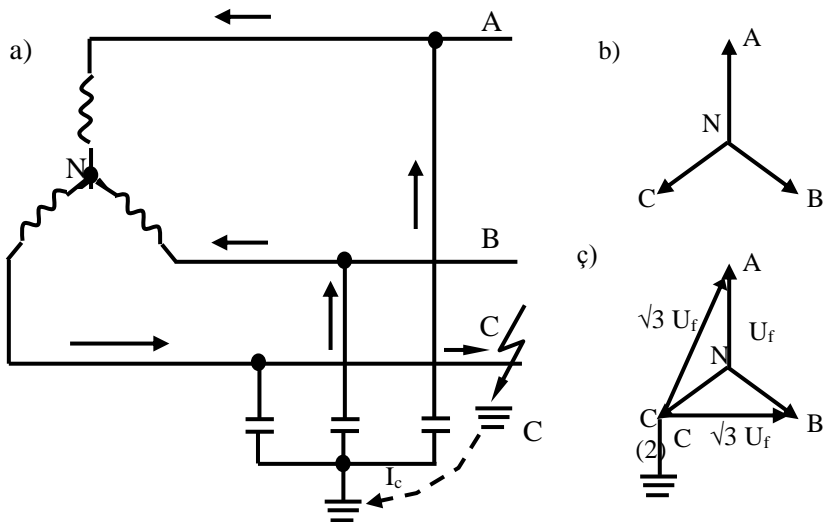
I_k tok uly, sebäbi ýeriň garşylygy az. Şonuň üçin hem petik setleri fazanyň ýere birleşmesi gysga birleşme emele getirýär, set gorag serişdeleriniň kömegi bilen öçürilýär. Sygym garşylygy uly bolany üçin $[1/\omega c]$ ýer birleşme nokadyndan

sygymlara akýan tok I_c has az, I_k tok bilen deňeşdirlik däl, şonuň üçin bolsa sarp edijileriň işine hiç- hili täsiri bolmaýar.



1-1-5-nji çyzgy. Petik bagly set (a) we wektoriagrammasy (b).

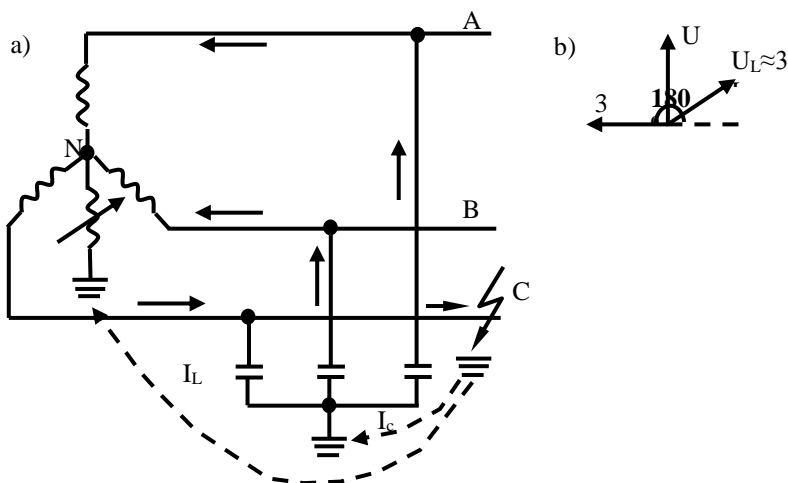
Indi üzne setiň iş ýagdaýyna garalyň (1-1-6-njy çyzgy).



1-1-6-njy çyzgy. (a) üzne set ; (b) setiň kadaly ýagdaýyndaky wektor diagrammasy; (ç) bir fazanyň ýere birleşme ýagdaýyndaky we wektor diagrammasy.

Üzňe seti ýere az tokly birleşme hasabynda görülyär. Üzülen fazanyň birleşme nokadyndan (C) tok I_c abat fazalaryň sygymlaryna tarap akýar (A we B fazalaryň), soňra ol faza liniýalaryň üsti bilen neýtral nokada baryar we ýene-de zaýa liniýa bilen öňki ýer birleşme nokadyna (C) gelýär. Tok I_c uly däl (sebäbi sygym garşylyklary uly), liniýa ölçemýär, sarp edijiler işini dowam edýärler. Sarp edijileriň potentsiallary üýtgemedi, öňküsi ýaly liniýa potentsially, ýöne olaryň fazalarynyň potentsialy üýtgedi. Dogurdan hem, eger sarp edijileriň faza izolýasiýasy kadaly ýagdaýda faza potentsialynda bolan bolsa, ýer birleşme halýnda ýer hamala süýşüp C nokadyna düşýär (1-1-6-njy, çyzygy) we faza izolýasiýasy liniýa potentsialynda galýar, ýagny onuň potentsialy kadaly ýagdaýa garanyňda $\sqrt{3}$ esse artýar. Şeýlelikde sarp edijileriň işi togtamaýan hem bolsa, olaryň izolýasiýasy ýokary potentsiala hasaplanan bolmalydyr.

Kompensirlenen setlere hem ýere az tokly birleşme hökmünde garalýar. Transformatoryň neýtralyny duga öçürýji, ýagny sygym toguny kompensirleýji (ýok ediji) sargynyň üsti bilen ýere çatýarlar. Simmetrik iş durkunda neýtralyň we ýeriň potentsiallary deň hasap etse bolýar. Şonuň üçin sargynyň üstünden tok geçmeýär diýen ýaly. Haçan-da, haýsam bolsa bir faza ýer bilen birleşse onda üzňe setdäki ýagdaý ýaly, abat fazalaryň faza izolýasiýasy liniýa potentsialyna hasaplanan bolmalydyr, sebäbi potensial $\sqrt{3}$ esse artýar. Neýtral nokat bilen ýeriň arasyndaky potensial ululygy bolsa faza potentsialyna deňdir. Şol potensial zerarly ýer birleşme nokadyndan kompensirleýji sarga tarap tok I_l akýar we şol bir wagtda bolsa abat fazalaryň sygymlaryndan I_c tok akýar. Ýer birleşme nokadynyň togy bu iki toguň algebroik jemine deňdir. Netijede toklar biri-birini ýok edýär (kompensirleýär).



1-1-7-nji çyzgy.

(a) - neýtralny kompensirlenen set; (b) - wektor diagrammasy.

Neýtraldaky komplusirleýji sargynyň reaktiw (induktiv) garşylygyndan başga aktiw garşylygy hem bar, şonuň üçin hem I_c we I_L toklaryň arasyndaky burç göni 180° deň bolmaýar, birneme azrak burç bilen ugrugan bolýarlar. Eger, induktiw tok I_L bilen sygym tok I_C deň bolsa, onda şeýle kompensasiýa rezonansly kompensasiýa diýip atlandyrylýar.

Ýer bilen petik bagly setlere 110 kW hem-de ondan ýokary potensialy bolan setler we potensialy 380/220 w bolan 4 simli liniýalar, 3 simli hemişelik toguň liniýalary degişlidir.

Ýerdenň üzňe (ýer birleşmesi bolmadyk) setlere potensiallary 6-35 kW bolan 3 fazaly liniýalar we potensialary 220-660W 3 simli 3-fazaly liniýalar degişlidir. Bu hili setlere 2-simli ortaky nokady izolirlenen hemişelik toguň liniýalary girýär.

Potensialy 220 kW setlerde transformatorlaryň neýtrallary hökman ýer bilen petik baglaşmalydyr, 110 kW potensialy setlerde bir ýerde bir näçe transformator oturdylan bolsa, olaryň bir böleginiň neýtrallaryny petik baglamak ýeterlik bolýar.

Kompensirlenen setlere potensiallary 6-35 kW bolan ähli kabel liniýalar degişlidir. Eger, potensialy 35 kW bolan howa liniýalarynyň jemi uzynlygy 110 km-den artsa, onda bu halda hem transformatoryň neýtraly reaktiw sargynyň üsti bilen ýere birleşdirilen bolmalydyr.

Ýeri gelende ýaňzysak, näme üçin setiň potensialyny hemişe diýen ýaly ýokarlandyrmagyň höwesi aňylýar, sebäbi, potensialy $\sqrt{3}$ gezek artdysak metal harçlanmasy 3 esse azalýar, ýagny simiň kese-keseği potensialyň kwadratyna ters proporsionaldyr

$$F = \frac{PI}{\Delta U \% \cdot \gamma U^2} \cdot 100\% \quad (1.1.2.)$$

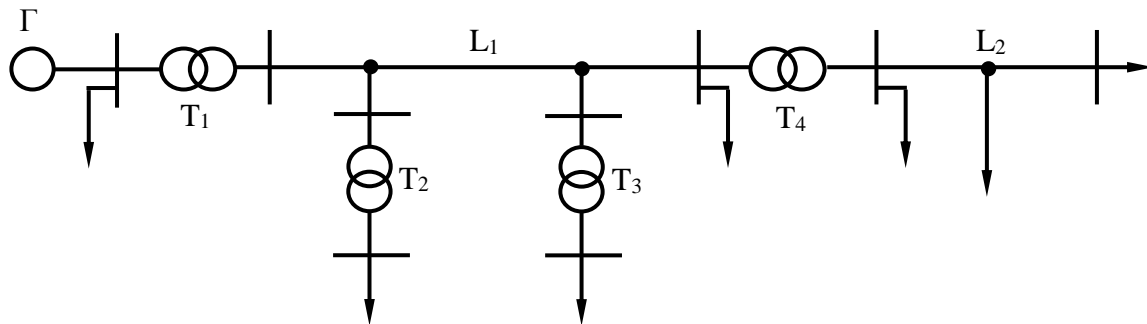
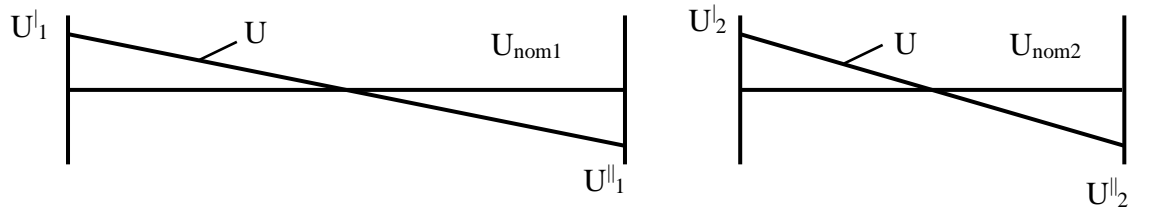
§1-2 Elektrik ulgamlarynda energiýany kabul edijiler hemde sarp edijiler barada umumy düşüňjeler

Elektroenergiýany hala kabul ediji bolsun, sarp ediji olaryň işleýşi belli bir potensialda dowamly hem-de ygtybarly bolmaly. Şeýle potensiala bolsa kabul edijiniň nominal potensialy diýip atlandyryrlar. Elektrik geçirijileriň nominal potensialy kabul edijiniň nominal potensialyna deň bolýar.

Generatorlaryň, transformatorlaryň, geçirijileriň we sarp edijileriň potensiallarynyň arasynda belli bir gatnaşyk saklanylýar.

Generatorlary, transformatorlary, liniýalary we sarp edijileri öz içine alýan elektrik ulgamlarynyň bir bölejigine seredip geçeliň, (1-2-1-nji çyzgy). Bu ýerde generatorlar bir

ekwiwalent generator bilen görkezilendir, sarp edijiler bolsa naýzajyklar görnüşindedir.



1-2-1-нји чызгы.

Çyzgydan görnüşi ýaly potensial ýitgisi zerarly liniýanyň aýry-aýry nokatlaryna birleşdirilen sarp edijiler aýry-aýry potensiallarda işleýärler. Mysal üçin, şol bir liniýa (*LI*) birleşen peseldiji transformatorlaryň *T2*, *T3* we *T4* birinji sargylary özara tapawutly potensiallarda durlar, bu ýagdaý sarp ediljilere-de täsir edýär. Bu ýagdaýa garamazdan, nominal potensialy bolan şol bir liniýa birleşen sarp edijileriň ählisine deň nominal potensialyny mümkingadyr üpjün etmeli. Şeýle edilmedik ýagdaýynda elektrik enjamlaryny seriýalaýyn goýberilişini üpjün edip bolmazdy we olary ulgamlarda ulanmak asla mümkin hem bolmazdy, sebäbi elektrik ulgamlarynyň iş durky hemişe diýen ýaly üýtgäp durýar. Bir giden sarp edijileriň potensiallary bir-birinden kän tapawudy bolmaz ýaly olaryň nominal potensialyny liniýanyň potensialyna deň alýarlar. Birinji liniýa (*LI*) üçin transformatorlar *T2*, *T3* we *T4* sarp ediji roluny oýnaýarlar, şonuň üçin hem olaryň birinji sargysynyň nominal potensialyny liniýanyň nominal potensialyna deň edip alýarlar.

Bu düzgüne diňe täze goýberilýän 110 we 220 kW transformatorlar gabat gelmeýär. Mysal üçin, köne göberilişde olaryň birinji sargysynyň potensiallary $U_1=110\text{ kW}$, $U_1=220\text{ kW}$, a ikinji sargylaryň potensiallary $U_2=121\text{ kW}$, $U_2=242\text{ kW}$. Täzeke goýberilişinde bolsa $U_1=115\text{ kW}$, $U_1=230\text{ kW}$, a ikinji sargysynda potensiallar üýtgemän galan, ýagny, $U_2=121\text{ kW}$, $U_2=242\text{ kW}$.

Eger transformatorlaryň birinji sargysy generator bilen birleşen bolsa, onda ol sargynyň nominal potensialy generatoryň nominal potensialyna deň bolmaly, a şol bir wagtyň özünde bolsa generatoryň nominal potensialyny onuň bilen bagly liniýanyňkydan 5 % artyk alynýar.

Bu ýagdaýyň sebäbi, liniýanyň bütin ugrunda nominal potensiala barabar potensial saklamak üçin edilýär. Şeýlelikde, liniýanyň başynda nominal potensialda az – kem ýokary potensialy üpjün edip boljak ekeni. Ortaça, liniýanyň başynda we ahyrynda potensial tapawudy takmynan $\approx 10\%$ ýetýär.

Edil şu hakda aýdylana çalymdaş pikiri transformatorlaryň ikinji sargysynyň nominal potensialyn kesgitlemelerinde hem göz önünde tutulýar. Suratda getirilen grafige we belliklere ýüzleneliň. Ikinji liniýanyň (L_2) başyndaky potensialy kesgitleliň, onuň üçin birinji sargynyň potensialyny hem-de transformasiýa koefisiýentini bilmek ýeterlikdir, ýagny :

$$K_T = \frac{U_{I(0)}}{U_X}, \quad (1.2.1.)$$

bu ýerde : $U_{I(0)}$ – transformatoryň birinji sargysynyň ýüksiz ýagdaýdaky potensialy,
 U_X – transformatoryň ikinji sargysynda işlenilýän potensial.

Transformatoryň birinji sargysyna nominal potensial berilipdir diýip hasap edeliň. Onda transformatoryň sargylarynda 5 % potensial ýitipdir diýip hasap etsek, onuň ikinji sargysynyň ujundaky potensial :

$$U'_2 = (U_{nom1} - 0,05U_{nom1}) \frac{1}{K_T} = 0,95 U_X; \quad (1.2.2)$$

Biziň isleýän (желаемый, желательный) potensialymyz $U'_2 = 1,05, U_{nom2}$ onda

$$1,05U_{nom2} = 0,95 U_X; \quad (1.2.3.)$$

$$bu \ ýerden \ U_x = \frac{1,05}{0,95} U_{nom2} \approx 1,1 U_{nom2} \quad (1.2.4.)$$

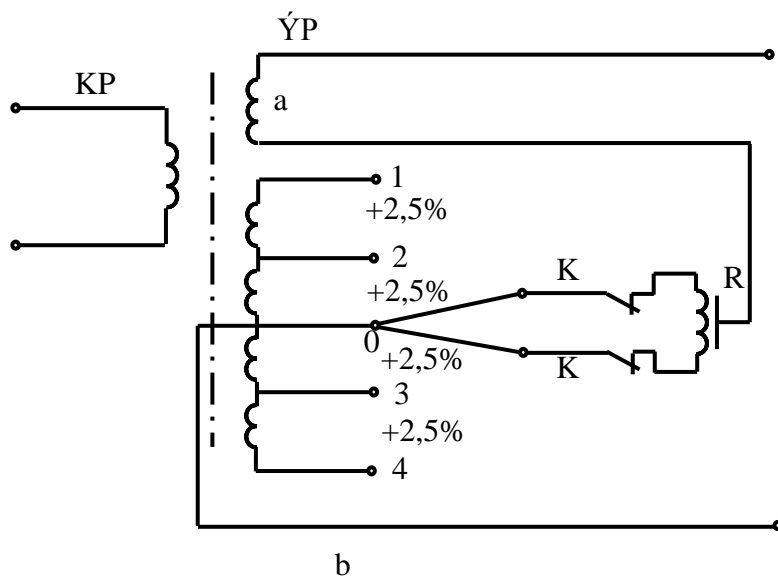
Şu ýokardaky gatnaşyga laýyklykda, köplenç halatlarda transformatorlaryň ikinji sargysynyň nominal potensialyny oňa

birleşýän liniýanyň nominal potensialyndan 10 % artyk alýarlar.

Transformatorlaryň kuwwaty kiçi bolanda ikinji sargynyň potensialyny oňa birleşýän liniýanyňkydan 5% artdyryp almaklyk ýeterlikdir, sebäbi, olardan çykýan liniýalar uzak bolmaýarlar, ondan başga-da az kuwwatly transformatorlaryň induktiw garşylygy hem az bolýar.

Ýokarda agzalan talaplary ýerine ýetirmek hem sazlamak maksady bilen transformatorlar ýasalan wagtynda transformasiýa koeffisiýentini üýtgedip durar ýaly edip goýberýärler.

Häzirki zaman örän kuwwatly transformatorlarda üýtgewi 16% ýetýär. Köplenç transformasiýa koeffisiýenti $\pm 5\%$ üýtgetmek ýeterlik bolýar, şonda 2,5 % basgançak bilen azaldyp ýa-da köpeldip bolýar.



1-2-2-nji çyzgy.

Transformatoryň üýtgew transformasiýa koeffisiýenti üpjün etmek maksady bilen transformatorlaryň iki hili konstruktiv görnüşini goýberýärler : birisiniň üýtgew sowgudyny transformatory öçürüp (с отключением, с ПБВ – переключе-ние без возбуждения), we beýleki birinde bolsa öçürmän (с РПН – регу-лирование без возбуждения) peýdalanylýar bolýar.

Üýtgew sowgudyny potensialyň ýokary sargysynda ornaşdyrýarlar, şeýle edilende sowgut enjamlaryna az material harjy bilen ýerine ýetirip bolýar, ýeňles bolýar.

Ýokardaky (1-2-2 çyzgyda) transformatory setden öçürmezden potensial sazlanysy ýerine ýetirip bilýän sowgudyň işleýiş prinsipi getirilendir. Bu çyzgydan görnüşi ýaly transformatoryň ýokary potensially ÝР sargysy iki bölekden durup, bir bölegi (a) esasy bölek, üýtgewsiz sargy, ikinji bölegi (b) bolsa üýtgewli sargy (sazlaýjy sargy).

Sargynyň sazlaýjy bölüminde dört sany sowgut bar. Sowgutlaryň 1-2 bölegi esasy sargynyň ugruna saralan we olar ulanylanda transformasiýa koeffisiýenti artýar. Sowgutlaryň 3-4 bölegi esasy sargynyň garşysyna saralyp olardan peýdalanylanda bolsa transformasiýa koeffisiýenti kiçelýär. Ýokary potensially sargynyň esasy sowgudy bolsa nol (0) nokady bolup durýär.

Energiýa geçiriji setiň potensialynyň ýokarlanmagyna aýratyň üns berilýär, onuň sebäbine garalyň. Potensial ýokarlanmasy bilen setde ulanylan reňkli metal (mis, aýlýuminiň) harçlanmasy azalýar. Diýeliň, set boýunça aktiw kuwwat berilýär ($\cos \varphi=1$), onda kuwwat we potensial ýitgileri ü fazaly tok üçin aşkda getirilen aňlatmalarda kesgitlenerler :

$$\Delta P = 3I^2 R \quad \text{we} \quad \Delta U = \sqrt{3}IR, \quad (1.2.5.)$$

bu ýerde : ΔP – aktiw kuwwat ýitgisi, Wt ;

ΔU – potensial ýitgisi , W ;

I – liniýadan geçýän tok ,A ;

R – bir fazanyň aktiw garşylygy , Om.

Tok ululygyny kuwwat üsti bilen aňladyp, soňra bolsa ýokarda getirilen aňlatmalarda goýup kesgitläris :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U}, \quad (1.2.6.)$$

$$\Delta P = \frac{P^2 R}{U^2} \quad we \quad \Delta U = \frac{PR}{U}$$

ýa-da göterim hasabynda

$$\Delta P\% = \frac{PR}{U^2} \cdot 100\% \quad we \quad \Delta U\% = \frac{PR}{U^2} \cdot 100\% \quad (1.2.7.)$$

Aktiw R garşylygy materialyň udel garşylygy – ρ , uzynlygy - ℓ we onuň kese-kesigi – F bilen aňladyp, ony ahyrky aňlatma goýup simiň kese-kesegini taparys :

$$F = \rho \frac{P \cdot \ell}{\Delta P\% U^2} \cdot 100\% \quad we \quad F = \rho \frac{P \cdot \ell}{\Delta U\% U^2} \cdot 100\% \quad (1.2.8.)$$

Getirilen aňlatmalardan görnüşi ýaly, haçanda kuwwat we potensial ýitgileriň göterim ýitgileri deň bolanda simiň kese-kesiginiň meýdany (sim ýogynlygy) potensialyň kwadratyna ters gatnaşykda bolýar.

Mysala ýüzleneliň, 380 W potensialy 10 kW potensial bilen çalşyranymyza reňki metal tygşylylygy 690 esse bolar.

Elbetde, bu ýagdaýy nazaryýetde kabul edip bolar, iş ýüzünde bolsa tygşylylyk örän pesdir. Seti energiýa ýitgisine görä hasap edilende simiň kese-kesigi potensialyň ikinji derejesine bagly bolman onuň birinji derejesi bilen kesgitlenilýär. Her niçikde bolsa, potensiallar $\sqrt{3}$ basgançakda tapawutlanýarlar, diýmek, iň bolmanynda tygşylylyk iki essä

golaý bolanynda-da potensialy galdyrmagyň peýdasy mese-mälindir.

1-2-1-nji tablisada orta (3-35 kW), ýokary (110-220 kW) hem-de has ýokary (330-750 kW we ondan-da ýokary) potensially setleriň nominal we artyk iş potensiallary getirilen.

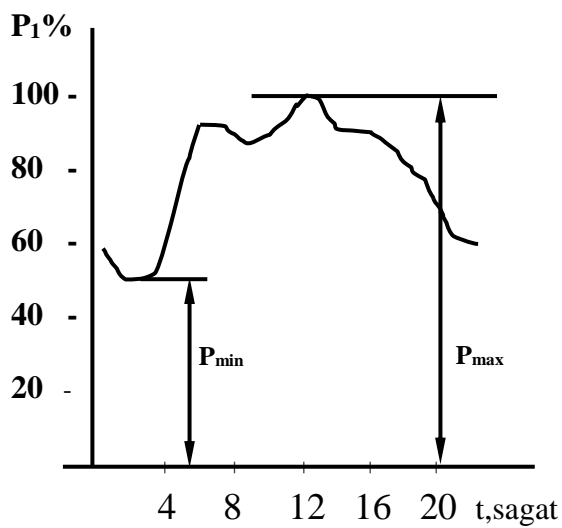
1-2-1-nji tablisa

Setler we sarp edijiler,kW	Generator we sinhron kompen-satorlar, kW	Transformatorlar we awtotransformatorlar				Iň ýokary işçi poten-sialy, kW
		PIIH-li		PIIH-siz		
		birinji sargy, kW	ikinji sargy, kW	birinji sargy, kW	ikinji sargy, kW	
6	6,3	6 we 6,3	6,3 we 6,6	6 we 6,3	6,3 we 6,6	7,2
10	10,5	10 we 10,5	10,5 we 11	10 we 10,5	10,6 we 11	12
20	21	20	22	20 we 21	22	24
35	-	35	33,5	35 we 36,75	38,5	40,5
110	-	-	121	110 we 115	115 we 121	126
220	-	-	242	220 we 230	230 we 242	252
330	-	330	347	330	330	363
500	-	500	525	500	-	525
750	-	750	787	750	-	787
(3)	(3,15)	(3 we 3,15)	(3,15 we 3,3)	-	(3,15)	(3,6)
(150)	-	-	(165)	(158)	(158)	(172)

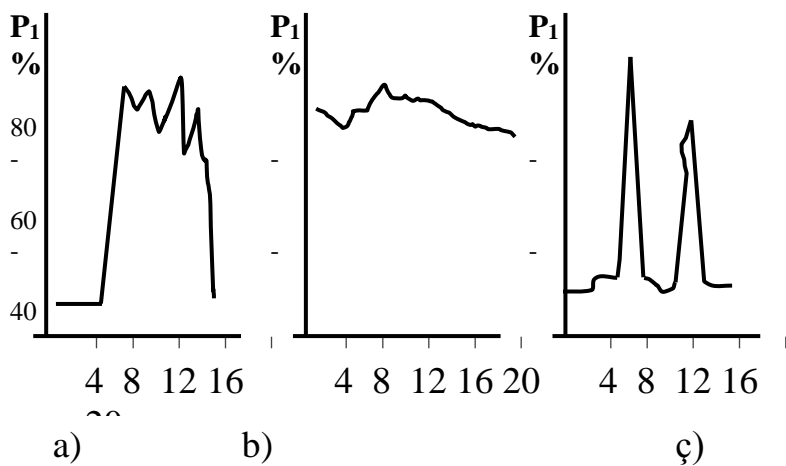
§1-3 Elektrik ýükleri we olaryň aýratynlyklary

Elektrik stansiýalarynda öndürilen elektrik energiýany elektrik liniýalarynyň üsti bilen sarp edijilere ýetirmeli bolýar. Elektrik energiýasyny sarp edilişiniň möçberi hem-de hili boýunça-da sarp edijä bagly bolýar, ýagny birnäçe sarp edijiler üçin diňe aktiw kuwwatlyk ýeterlik bolsa, başga bir topar sarp edijiler üçin aktiw hem-de reaktiw kuwwatlyk gerek bolýar. Galyberse-de energiýa sarp ediliş mukdary sarp edijiniň ýüklenişine bagly bolýar. Birnäçe sarp edijiniň ýüki az bolsa aktiw kuwwat talapy azalyp reaktiw kuwwat talapy artýar. Bu ýagdaý bolsa ýitginiň artmagyna hem-de iş enjamlarynyň peýdaly täsir koefisiýentiniň peselmegine getirýär. Şonuň üçin sarp edijileriň ýüke görä energiýa harçlaýşyny anyklamak esasy meseleleriň biri bolup durýar, sebäbi, ýük häsiýetlerini öwrenilse göwnējaý elektrik setleriniň taslamasyny ýerine ýetirip bolýar, ol ýagdaý bolsa setiň iş durkunyň oňaly bolmagyny üpjün edýär.

Sarp edijileriň ýüklerini aýratyn häsiýetlendiriji ululyklaryň biri olaryň aktiw we reaktiw kuwwatlyklary harçlaýyşlarydyr. Mysal edip senagat kärhanasyny alsak, onda onuň kuwwat talapy ondaky işleýän stanoklaryň sanyna, birlikdäki işleýşine tehnologik prosesse, yşyklandyryjylaryň sanyna, görnüşine we başgalara bagly bolýar. Elbet-de, kärhananyň kuwwat talaby gije-gündiziň dowamynda-da birnäçe gezek üýtgäp durýar, ýagny, arakesme wagtymy, howa ýagtylygymy, çalşykly işmi ýa-da çalşyksyz, gijemi ýa gündiz we şuna meňzeşler. Ýüküň şeýle üýtgew häsiýetlerini ýük grafikleri diýilýän çyzgylaryň üsti bilen aňladýarlar. Bu grafikleri göniburçly koordinat oklarynyň üstünde endigan, döwük ýa-da basgançakly egrileriň görnüşinde getirýärler, ýagny ordinata okunda kuwwat birligini görkezilse, absissa okunyň üstünde bolsa wagt aralygy görkezilýär (1-3-1-nji surat).

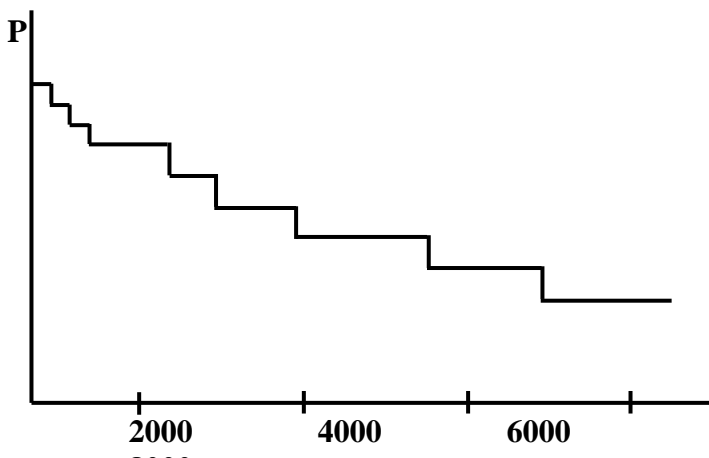


1-3-1-nji çyzgy.



1-3-2-nji çyzgy.

Ýokarda getirilen çyzgyda şeýle grafikleriň birnäçesi görkezilendir. Şeýle grafiklere sutkalaýyn grafikler diýilýär. Grafikden görnüşleri ýaly olar biri-birinden örän tapawutlydyrlar (a) elektrotehniki serişdeleri öndürýän zawod b), süýt zawody ç) mekdep. Her grafik üçin umumy mukdar görkezijisini kabul etmek oňaýly hem maksada laýyk bolýar. Şeýle görkezijiler hökmünde ilki bilen ýüküň iň uly (P_{max}) we iň kiçi (P_{min}) kuwwatlyklary alynýar (1-3-3-nji çyzgy).



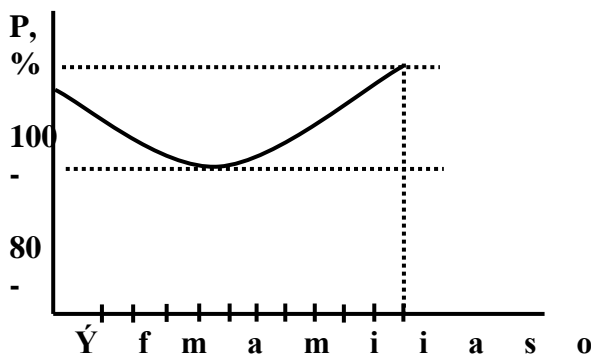
1-3-3-nji çyzgy.

Sutkalaýyn grafikleriň görnüşi belli bir derejede üýtgäp durýar, ýagny diňe işçi günleri alynypmy ýa-da işçi günleri bilen dynç alyş günleri hem goşulypmy. Şol bir sarp edijiniň sutkalaýyn grafigi ýylyň dowamlylygynda wagta baglylykda-da üýtgäp durýar, sebäbi, günün dowamlylygy, işleýän işçileriň sanynyň dynç alyşa gitmeklerine baglylykdaky üýtgewi, jaýlaryň sowadylyş hem-de ýyladylyş şertleri we beýlekiler täsir edýär. Şu görkezilen ýagdaýlar kuwwat sarp edilişini bir sutkalaýyn grafik bilen häsiýetlendirmäge ýol bermeyär.

Şu sebäplere görä, köplenç halatlarda takmynan hem bolsa, kuwwat sarp edilişi barada doly maglumat almak üçin sutkalaýyn grafikleriň üç häsiýetleýin görnüşlerinden peýdalanýarlar : gýşky, tomusky we ýaz-güýzki. Şu pasyllar üçin ýüküň iň ýokarsyny (P_{max}) we iň aşagyny (P_{min}) belleýärler. Şeýlelikde, P_{max} gýşky grafikden we P_{min} tomusky grafikden almaklyk maksada laýykdyr.

Görkezilen pasyllaryň häsiýetli grafikleri we olaryň sutkalaýyn sanlary ýükleriň ýyllyk grafigini almaga mümkinçilik berýär. Şeýle grafikleriň bir görnüşi ýüküň ýyl içinde dowamlylygydyr. Bu grafikler belli bir wagt aralagynyda, deňişlilikde ýuwaş-ýuwaşdan peselip gaýdýan diagrammalardyr. Şonuň ýaly grafiklerden setiň taslamalary ýerine ýetirilende hem-de setler ulanylyş döwürlerinde peýdalanýarlar. Diagrammada her basgançak şol görkezilen wagt aralygynda sarp edijä deňişli kuwwatlyk ýylyň dowamynda berilmelidigini görkezýär (1-3-3-nji çyzgy).

Ýyllyk grafigiň ýene bir görnüşine ýokary ýüküň grafigi (grafik maksimumow nagruzki) diýilýär (1-3-4-nji çyzgy). Şeýle grafiklerde absissada tertip boýunça aýlar goýulýar, ordinata okunda bolsa ýüküň aýdaky iň ýokary ýüki (P_{max}) goýulýar.



1-3-4-nji çyzgy.

Sutkalaýyn ýa-da ýyllaýyn ýük grafikleriň kömegi bilen sarp edijiniň aýdaky, sutkadaky ýa-da ýyldaky harçlan energiýasyny hasaplap bolýar.

Eger sarp edijiniň az wagt aralygynda harçlan energiýasyny tapmaly bolsa, onda onuň kuwwatyna baglylykda

$$\Delta A_{\dot{y}} = P_{\dot{y}} \cdot \Delta t \quad (1.3.1.)$$

ýa-da çäklendirme bilen

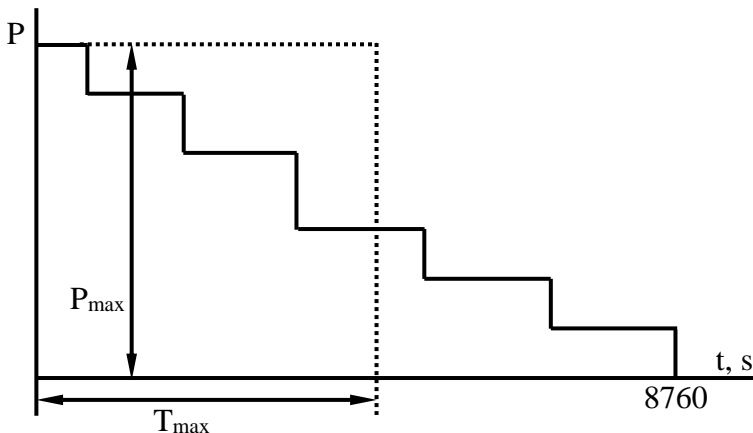
$$dA_{\dot{y}} = P_{\dot{y}} \cdot dt \quad (1.3.2.)$$

Eger t -wagt aralygyndaky energiýa mukdary kesgitlenýän bolsa, onda ýokarky aňlatmany integrirläp alarys.

$$A_{\dot{y}} = \int_0^t p_{\dot{y}}(t) dt \quad (1.3.3.)$$

Alnan aňlatma koordinat oklary bilen we ýük grafiginiň arasyndaky çäklendirilen meýdany aňladýar; eger ýük grafigi basgançakly görnüşde berlen bolsa ony tapmak bolsa kynçylyk döretmeýär. Eger ýük grafigi döwür ýa-da endigan liniýalarda berlen bolsa, onda onuň hasabyny (ýagny energiýa hasabyny) göniburçluk, trapesiýa ýa-da parabola – trapesiýa usullaryny ullanyp aňsatlyk bilen tapmak bolar.

Ýük grafiklerini ýokary ýükli wagt görkezijisi (T_{max}) bilen häsiýetlendirmek has amatly bolýar. Ýagny, wagt aralygyny bir ýyl diýip alsak, onda sarp edijiniň bir ýyldaky hakyky grafik boýunça harçlan energiýasyny taparys. Şol energiýany wagt görkezijisi bilen aňlatsak, onda sarp ediji özüniň iň uly (P_{max}) kuwwatynda işlemelidir. Şeýlelikde, ýyl dowamyndaky basgançakly grafigiň tutýan meýdany bilen esasy T_{max} we beýikligi P_{max} bolan göniburçlygyň meýdany deň bolmalydyr, bu ýagdaý 1-3-5-nji çyzgy bilen görkeziler.



1-3-5-nji çyzgy .

$$A = \int_0^{8760} p(t) dt \text{ we}$$

$A = P_{\max} \cdot T_{\max}$ özara deňdirler, onda,

$$T_{\max} = \frac{\int_0^{8760} P_{(t)} dt}{P_{\max}} \quad (1.3.4.)$$

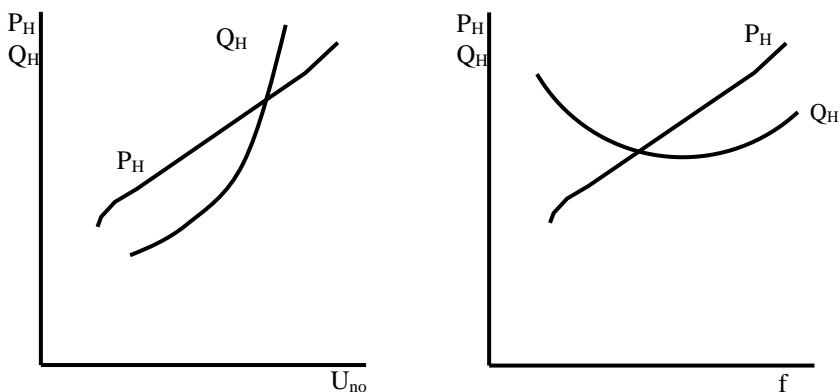
Şeýlelikde, maksimum ýüküň wagt görkezijisi hakyky yük grafiginiň tutýan meýdany bilen maksimum ýüküň özara gatnaşygyna deň bolýan ekeni. Onda bu wagt görkezijisini ulanmak örän amatly bolup durýar. Şeýlelikde, tejribede toplanan ululyklary käbir toparlara bölünen sarp edijiler üçin ulanmaklyk elektrik ýükleri baradaky meseläni çözmekde esli ýeňillikleri döredilýär. Wagt görkezijisiniň ululyk araçäkleri käbir topar sarp edijileri üçin 1-3-1-nji tablisada getirilendir.

Ýyl dowamynda maksimum aktiw ýüküň ulanylyş dowamlylygy (wagt görkezijisiniň çäkleri).

1-3-1-nji tablisa

№	Sarp edijiler topary	T _{max} , sagat
1.	Içki yşyklandyryjylar we ýaşaýyş abzallary	2000-3000
2.	Senagat kärhanalary - 1 çalşuwly	1500-2200
3.	- // - - 2 çalşuwly	3000-4500
4.	- // - - 3 çalşuwly	5000-7000

Ýeri gelende aýtsak ýük häsiýetlerine potensial ululygy hem-de toguň ýygylgy täsir edýär. Aktiw ýük üýtgewi toguň ýygylgyna özüniň täsirini artykmaç duýdurýar, reaktiw ýük üýtgewi bolsa potensiala. Ýükleriň statiki häsiýetleri surat 1-3-6-njy çyzgyda getirilendir.



1-3-6-njy çyzgy.

§1-4 Elektrik ýükleriniň esasy häsiýetleri we sete goýulýan talaplar

Elektrik ýükleri diýip nämä düşüňýäris ? Senagat kärhanalaryny, demir ýol transportyny, oba, şäher öýlerini, keselhanalary, teatrlary we ş.m.elektrik energiýasyny sarp edijilerini göz önüne getirýäris. Elektrik energiýasy bilen üpjün etmek üçin elektrik liniýalaryny ulanýarlar. Ýokarda agzalan sarp edijileriň kuwwatlyklary liniýalar üçin elektrik ýükleri bolup durýar. Ýükleriň häsiýetine (işleýiş kadasy) baglylykda liniýalara goýulýan talaplar hem dürli hili bolýar. Her halda hem iň ýokary ykdysady netijelilikde ygtybarly ýokary hilli energiýa üpjünçiligini amala aşyrmaly. Şonuň üçin hem elektrik ýükleriniň häsiýetlerini bilmeklik iň bir wajyp meseleleriň biri bolup durýar, sebäbi, bu mesele dogry çözülen-de liniýalary, gurmak üçin taslamalar işlenende, liniýalaryň gelejekki özgerişlerini kesgitlenende, şeýle hem iň amatly, maksada laýyk iş durky kesgitlenende gerek bolýar.

Ýokary hilli energiýa ýokary hilli işi üpjün edýär. Hil görkezijilerine nämeler girýär, ine şular : potensial ululygy, ýygylýk ululygy, potensial simmetriýasy we formasy. Şu ýokarda agzalan hil görkezijileriniň diňe biriniň iş täsirine garalyň.

Potensial nominal ýagdaýyndan ulalsa-da, kiçelse-de oňaly däl. Potensial kiçelende ýşyklandyryjylaryň ýagtylygy peselýär, göreje zyýan ýetirýär, zähmet öndürijiligini peseldýär we başga-da zyýanlary bar. Potensial artsa, ýşyklandyryjylaryň ömri gysgalýar. Mysal üçin, potensialy 5 % artsa ýşyklandyryjynyň ömrüni 2 esse azaldýar, eger potensial 10 % artsa, onda onuň ömrüni 3 esse azaldýar. Şeýlelikde, potensial kiçelse-de ulalsa-da ykdysady ýitgä eltýär [E.2].

Sarp edijileri tarapyndan harç edilen aktiw hem reaktiw energiýanyň mukdary elektrik ýükleriniň iň esasy häsiýetlendiriji ululyklarynyň biridir. Bu ululyk sarp edijileriň sanyna hem-de her biriniň aýratynlykda iş durkuna baglydyr.

Şeýle häsiýetlendirijiler ýükleriň grafikleri diýilýän egriler kömegi bilen görkezýärler, ol egriler dürli görnüşde bolup bilýärler, meselem, endigan, döwürli we basgançakly. Göniburçly koordinatlar okunda ordinatada kuwwat, absissada bolsa wagt görkezilýär. Wagta görä, sutkalaýyn ýük grafigi, aýlaýyn ýük grafigi ýa-da ýylyň ýük grafigi diýip atlandyrylar. Grafiklere umumy mykdar görkezijilerine girizmeklik oňaýly hem maksada laýyk bolýar.

Şeýle görkezijileriň biri hem kuwwatyň i ň ýokary [1-3-1; 1-3-2-nji çyzgylar] we i ň kiçi bahasydyr. i ň ýokary bahasynda P_{max} , i ň kiçi bahasynda bolsa P_{min} diýip atlandyrylar.

Grafige mahsus pursatlar we oňa degişli sutka sanlary belli bolsa, onda ýüküň ýyl grafigini görkezip bolar. Liniýalaryň taslamasynda we ulanylýan döwründe peýdalanylýan şeýle grafikleriň biri 1-3-5-nji çyzgyda getirilendir. Bu grafik aktiw kuwwatlylygyň ýuwaş-ýuwaşdan peselýän diagrammasydyr. Kuwwatyň her bir bahasynda belli bir wagt degişlidir, şol wagt aralygynda bolsa şol ululyk ýyl dowamynda talap edilýär. Ýyllyk ýük grafiginiň ýene bir görnüşi 1-3-5-nji çyzgyda görkezilendir, ol grafiginiň adyna ýük maksimumynyň grafigi diýilýär. Sarp edijileriň harç eden energiýasynyň mukdaryny sutkalaýyn ýa-da ýyllaýyn grafikleriniň üsti bilen degişli wagtda tapmak bolýar. Eger elektrik ýüküniň kuwwaty belli bolsa onda onuň belli bir wagt aralygyndaky sarp edijiniň harç eden energiýasyny tapyp bolýar.

Asinhron ýükleriň statiki we dinamiki häsiýetleri dürli bolýar, sebäbi, dwigateliň skolženiýasy çalt üýtgände onuň sargysynda erkin toklaryň ýüze çykması bolup geçýär.

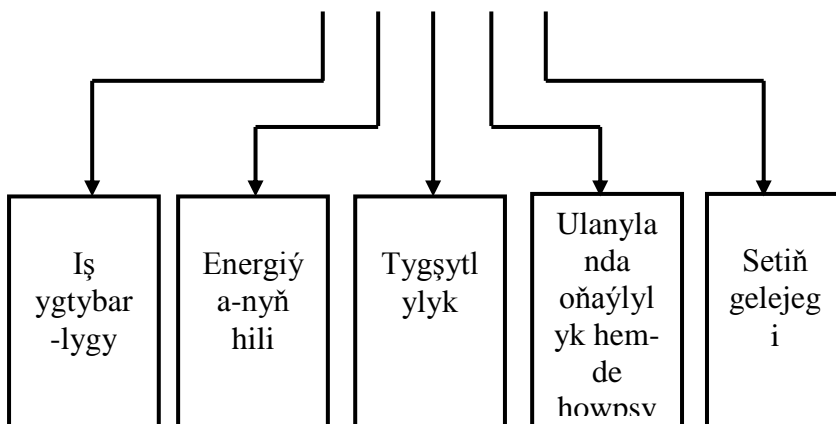
Asinhron dwigatelleri setden hem aktiw hem reaktiw energiýany talap edýärler. Aktiw energiýa işçi-maşynlary herekete getirmäge harçlanýar, reaktiw energiýa bolsa magnit meýdanyna harçlanýar. Asinhron dwigatelleriň aktiw kuwwat talapy toguň ýygylýk üýtgewini güýçli duýýar. Asinhron dwigatelleriniň rekativ kuwwatlygy sarp edişleri dwigatelleriň

ýükleniş ýagdaýyna baglylykda aktiw kuwwatyna gatnaşdyranyňda 50-100 % aralygynda üýtgäp bilýär [E.1]. Ondan başga-da onuň üýtgewi potensial üýtgewine hem-de toguň ýygylgynyň üýtgewine hem bagly bolýar 1-3-6-njy çyzgy.

Näderejede energiýa üpjünçiligini talap edýändigine baglylykda elektrik sarp edijileri energiýa üpjünçiligi ygtybarlylygy nukdaýnazardan 3 kategoriýa : I-kategoriýa degişli sarp edijiler üçin aýratyn ýokarlandyrylan ygtybarlylykly energiýa üpjünçiligi talap edilýär. Şeýle sarp edijilerde garaşylmadyk ýagdaýda energiýa akymy kesilse adam ölümine getirmek howpy döreýär, iş enjamlary hatardan çykmagy mümkin, partlaýyş howpy abanýar we başgalar. Bular ýaly sarp edijiler üçin iki taraplaýyn iýmitlendirmeden ötri üçünji (awariýa ýagdaýy üçin) iýmitlendiriş ätiýaçlyk çeşmesi göz önünde tutulmalydyr. II-kategoriýaly elektrik sarp edijilerinde energiýa bökdenciligi örän kän mukdardaky önüm goýberilişini togtadýar, iş mehanizimleri işsiz galýar, işçi güýçleri peýdalanylman galýar we başgalar. Bu kategoriýaly elektrik sarp edijileri üçin az wagtlaýyn, ýagny, ätiýaçlykdaky energiýa çeşmesine birleşdirilýänçä energiýa kesilmesi rugsat edilýär.

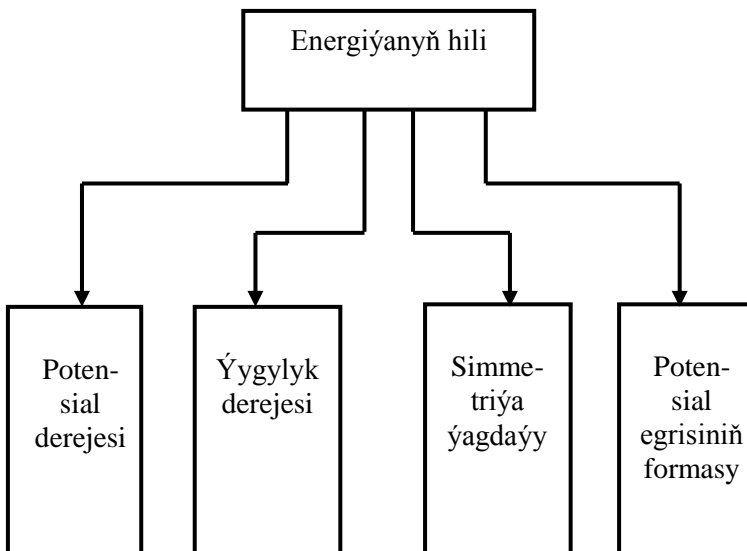
Ýokarda agzalan kategoriýalara degişli bolmadyk galan ähli sarp edijiler III-kategoriýa degişlidirler. Energiýa bökdenciligi I sutkadan artmaly däldir. Elektrik setlerine umuman 5 sany esasy talaplar ýüklenilýärler we olaryň düzümleri aşakdaky ýaly häsiýetlendirilýär (1-4-1-nji çyzgy). Ondan ötri ýene-de awtomatikanyň hem-de rele goragynyň ygtybarly herekete girişi enjamlary bolmalygyr : awtomatiki gaýtadan çatyjylar (АПБ-автоматическо́е по́вторное включе́ние), awtomatiki ätiýaçlyk çeşmäni çatyjylar (АБП-автоматическо́е вкля́уче́ние ре́зерва), awtomatiki generatoryň aýlow sanyna görä ýüki azaldyjylar (АЧР-автоматическо́е ча́стотно́е разгру́зка) we başgalar.

Sete goýulýan talaplar



1-4-1-nji çyzgy. Sete bolan talaplaryň düzümi sudury.

Energiýanyň hili barada aýdylanda her bir elektrik sarp ediji ýokary hilli elektrik energiýasy bilen üpjün edilmelidir. Energiýanyň hili onuň potensialynyň ululyk derejesi bilen; toguň ýygylýgy bilen; potensial simmetriýasy bilen hem-de potensial egrisiniň formasy (görnüşi) bilen kesgitlenilýär (1-4-2-nji çyzgy).



1-4-2-nji çyzgy. Energiýanyň hil görkezijileriniň düzümi sudury.

Potensial dereje. Öň ýokarda belläp geçişimiz ýaly potensial pesligi hem potensial artmagy energiýa sarp edijileriniň işine ters täsir edýär. Potensial derejesini durnukly saklamak üçin liniýalarda ýörite potensial sazlaýjylar ulanýarlar, transformatorlarda sazlaýjylar ulanylýar, reaktiw kuwwat çeşmelerinden peýdalanýarlar we ş.m.

Ýygýlyk derejesi. Bu babatda aýdanymyzda bolsa kada boýunça $\pm 0,1$ Gs üýtgew rugsat edilýär. Ýygýlyk üýtgewiniň täsirini 1-3-6-njy çyzgydan hem görüp bilersiňiz.

Simmetriýa ýagdaýy. Potensial simmetriýasynyň bozulmagy bir fazada işleýän sarp edijileriň faza boýunça deň çatuwynyň bolmanlygyndan hem-de faza parametrleriniň sazlaşykly bolmanlygyndan ýüze çykýar.

Simmetriýa bozulmasy ters hem-de nol yzygiderli tolkunlaryň ýüze çykmasya getirýär. Bu ýagdaý üç fazada işleýän dwigatelleriň aýlowynyň peselmesine getirýär, kuwwat

ýitgisi artýar, elektrostansiýada işläp duran generatorlaryň rotorlary ters tolkunlar zerarly artykmaç gyzýarlar.

Potensialyň nol yzygiderli tolkunlary nol yzygiderli toklaryň döremegine getirýär, ol toklar bolsa, ýitgini artdyrýar we ýakyndaky aragatnaşyk liniýalaryň işine päsgel berýär. Nol yzygiderli toklar ýer boýunça akyp ýerasty gurnawlary çüredýär. Bu agzalanlardan başga-da nul yzygiderli potensial hem-de tok ýüze çykması we ters tolkunyň ýüze çykması rele goragynyň näsaz işlemegine getirip biljegi iki uçsyzdyr.

Potensial egrisiniň formasy. Köp energiýa sarp edijiler üçin potensial egrisiniň sinusoidal formasy örän wajypdyr. Elektrodwigateller üçin sinusoidal formanyň ýitmegi, ýagny garmoniklaryň ýüze çykması artyk ýitgi döredýär, sandyrama bolýar, sebäbi aýlow momenti diňe birinji garmonikadan döreýär. Forma ýitmegi generatoryň ehg formasynyň sinusoidal bolmazlygyndan, sistemada magnitdan doýgun haldaky polatly elementleriň bolmagyndan, göneldiji enjamlardan we başgalardan döreýär.

Tygşytllyk. Set tygşytlly bolmagy üçin maksada laýyk konfigurasiýasy, potensialy, sim ýogynlygy we başgalar bolmalydyrlar. Şonuň üçin bir topar wariantlary özara deňeşdirip, bir ýyla getirilen çykdaýjysy az sete ündew edilýär.

Sete ulanyşda howpsuzlyk hem-de oňalylyk. Howpsuzlyk çäreleri bolan ýere birleşmeler gabow serişdeleri, duýduryş çäreleri ýörite eşikleri bilen üpjün bolmalydyr. Ulanylyşda oňaly ýagdaýlary göz önünde tutmaly, ýagny, gözegçilik üçin geçelgeler, mysal üçin kabel tunellerinde, bejeriş işleri üçin barylýan aralyklar, dürli ugurlara çatys işlerini geçirmek oňalylyklary we başgalar.

Setiň gelejegi. Elektrik ýükleriniň hemişe artyp durmagy, täze-täze enjamlary bilen üpjün edilip durulmagy setiň ýaýrawynyň artdyrmagyna hem-de täzelemek çäreleriniň geçirilip durulmagyna eltýär. Takmynan her ýylda azyndan 5-6 % täze set we enjamlar gurnalýar. Şonuň üçin ulgamlar taslamalary taýýarlananda gelejekdäki in bolmanynda 5-10

ýyllyk aralygyndaky elektrik ýük artmagy we enjam täzeleniş meseleleri göz önünde tutulmalydyr.

§ 1-5 Howa hem-de kabel liniýalarynyň aktiw we induktiv garşylygy

Aktiw garşylyk geçirijiniň materialyna we onuň kesegine bagly bolýar. Häzirki wagtda liniýalarda esasan mis, alýumin we polatly alýuminiý simler ulanylýar.

Geçirijileriň aktiw garşylygy döwlet standarty bilen kadalaşandyr. Simler özara belli bir belgilere eýedir, olaryň diametrleri bilen bilelikde garşylyklary degişli tablisalarda getirilýär. Aktiw garşylyk ondan başga-da simiň udel garşylygynyň üsti bilen hem kesgitlenilip biliner. Udel garşylyk aşaky tablisada getirilendir (1-5-1-nji tablica).

Materialyň udel ululyklary

1-5-1-nji tablica

Ululyk	Simiň materialy	
	Mis	Alýuminiý
Udel geçirijiligi, m/om*mm ² , γ	53	31,7
Udel garşylygy, om*mm ² /km, ρ	18,8	31,5

Udel garşylygynyň ρ üsti bilen simiň 1 km uzynlygynyň garşylygyny kesgitläp bolar.

$$r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1000}{\gamma F} \quad (1.5.1.)$$

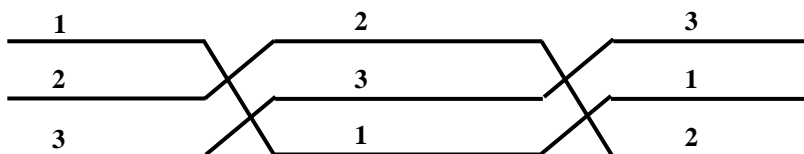
bu ýerde: F-simiň kes-kesiginiň meýdany, mm².

Simiň aktiw garşylygy has takygyny alanyňda onuň temperaturasyna baglydyr, şonuň üçin howa hem-de kabel

liniýalarynda has dogrusy, gurşap alan iş şertine bagly bolup durýar. Şol sebäplere görä, tablisalaryň kömegi bilen ýa-da udel garşylyklaryň üsti bilen kesgitlenen sanlar ol ululyklaryň ilkinji ýakyn bahalarydyr. Emma, şol ýakyn bahalar liniýalarda hasap geçirmäge doly mümkinçilik berýär, sebäbi, howa hem kabel geçirijilerinde beýleki berilen ululyklaryň takyklygy hem şeýle bir ýokary bolmaýar.

Howa hem-de kabel geçirijileriniň içinde hem daşynda döreýän magnit meýdany ol geçirijileriň induktiw garşylygyny kesgitleýär. Şol magnit meýdanyň täsiri astynda geçirijide e.h.g döreýär ol bolsa reaktiw täsir edýär (ýagny toga garşylyklaýyn täsir edýär). Ine, ol hem bolsa induktiw garşylygy ýüze çykarýar. Eýsem, onda induktiw garşylyk faza simleriniň özara ýerleşiş ýagdyýyna bagly bolup durýar. Eger simleriň ýerleşişinde olaryň üstünde geçýän magnit akymalary özara deň bolsa, onda induktiw garşylyklary hem deň bolýar. Beýle ýagdaý diňe howa liniýalarynda haçan-da faza simleriniň sütünlerde deň taraply üçburçlygyň depelerinde ýerleşen ýagdaýynda ýüze çykýar.

Faza simleriniň ýerleşişini gorizontalk tekizlikde bolsa, olaryň magnit akymy bilen kesip geçişleri deň bolmaýar, onda induktiw garşylyklary hemdeň bolmaz. Şeýle ýagdaýda deň garşylygy gazanmak üçin orunçalşyрма usulyňy ulanýarlar, ýagny, belli bir aralyklarda faza simleriniň ornuny çalşyryp durýarlar (1-5-1-nji çyzgy).



1-5-1-nji çyzgy. Faza transpozisiýasy.

Faza simleri reňkli metal bolan üç fazaly toguň bir fazasynyň induktiw garşylygy aşakda getirilen aňlatma bilen tapylýar (Om/km)

$$X_0 = 0,14411g \frac{D_0}{R} + 0,016 \quad (1.5.2.)$$

bu ýerde : D_0 – orta geometrik aralyk (faza simleriniň)
 R – simiň radiusy

Bir gät üç fazaly toguň howa liniýasynda simleriň orta geometrik aralygy şeýle tapylýar :

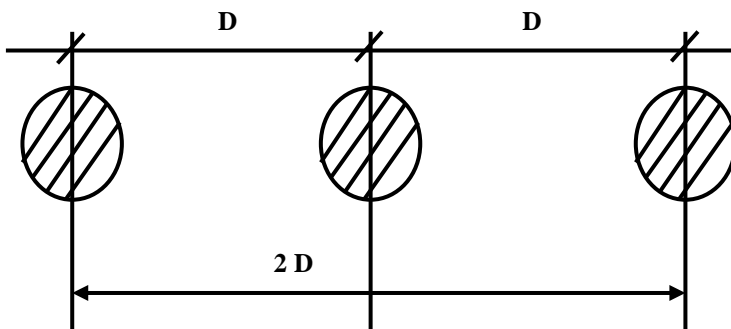
$$D_0 = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}},$$

bu ýerde : D_{12}, D_{13}, D_{23} – simleriň özara daşlygy.

Eger faza simleri deňtaraply üçburçlygyň depesinde ýerleşen bolsa, onda simler özara deň aralyklarda bolýarlar, bu halda $D_{12} = D_{13} = D_{23} = D$, şeýlelikde
 $D_0 = D$.

Eger faza simleri gorizonta ýagdaýda ýerleşen bolsalar, onda

$$D_0 = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = D\sqrt[3]{2} = 1,26D$$



1-5-2-nji çyzgy. Faza simleriniň ýerleşişleri.

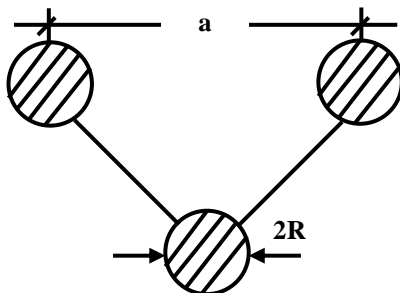
Aňlatmadan görnüşi ýaly faza simleri ýakyn ýerleşende induktiw garşylyk kiçi bolýar, şonuň üçin hem howa

liniýalarynyň induktiw garşylygy kabel liniýalaryňkydan deňeşdirip bolmajak artykdyr. Kabel liniýalarynyň induktiw garşylygy örän az bolany üçin, köplenç halatlarda ol garşylygy hasap hem etmeýärler.

Has uly potensially howa liniýalarynda (330 kW ondan hem ýokary) garşylygy azaltmak maksady bilen her faza simini birnäçe simlere bölýärler we hemmesini bir aýlaw çatýarlar. Şeýle edilende hamala, faza siminiň diametrini ulaldylana barabar bolýar. Şeýle usul induktiw garşylygy 25-30 % azaltmaga mümkinçilik berýär.

Sim bölünende ekwiwalent radius şeýle tapylýar (1-5-3-nji çyzgydy) getirilen.

$$R_{\text{э}} = \sqrt[n]{R \cdot a_0^{n-1}}$$



1-5-3-nji çyzgy. Faza siminiň birnäçe simlere bölünişi.

- R – ýeke bir bölünen simiň radiusy
- n – simleriň sany (1 fazadaky)
- a_0 – simleriň bir fazadaky orta geometrik aralygy

$$X_0 = 0,144 \lg \frac{D_0}{R_s} + \frac{0,016}{m} \quad (1.5.3.)$$

Elektrik liniýalarynda aktiw hem reaktiw geçirijilik

Elektrik energiýasy geçirilende faza simleriniň arasynda, hem-de ýeriň arasynda elektrostatik meýdan döreýär, ol sebäpli bolsa “süýşýän tok” ady bilen tok geçirijilik ýüze çykýar. Bu ýagdaý reaktiw geçirijiligi şertlendirýär. Bu ululyk empirik aňlatma bilen tapylýar :

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg(D_0 / R_s)} \cdot 10^{-6} \frac{1}{Om \cdot km} \quad (1.5.4.)$$

(1.5.4.) aňlatmada D_0 edil (1.5.2.) aňlatmasyndaky ýaly faza simleriniň orta geometrik aralygydyr.

Liniýa energiýa berlende simiň töweregindäki howa bölejikleri ionlaşýarlar. Bu ionlaşma has hem beter ýüze çykýar, haçanda elektrik meýdanynyň dartgynlygy (naprýažýonnost E - kW/sm) özüniň aňyrbas ululygyndan artyp başlanda (kritiçeski bahadan artanda $28 \cdot kW/sm$). Bu hadysa “korona” hadysasy diýilýär hem-de set gurlanda, taslamalarda ünsden düşmeli dälidir. “Korona” ýitgisi elektrik meýdanynyň dartgynlylygyna bagly bolup, faza simlerinde deň bolmaýar, mysal üçin gorizonta ýerleşen faza simlerinde ortaky simiň elektrik dartgynlygy 10 % artdyrylan bolýar, sebäbi ol sim iki gyraky simleriň täsiri astynda durýar.

Korona ýitgisini tapmak üçin ilki bilen elektrik meýdanynyň işçi dartgynlylygyny (naprýažýonnost) tapmaly. Dagadylan faza simleriniň çetki simleri üçin elektrik dartgynlygy, kW/sm ,

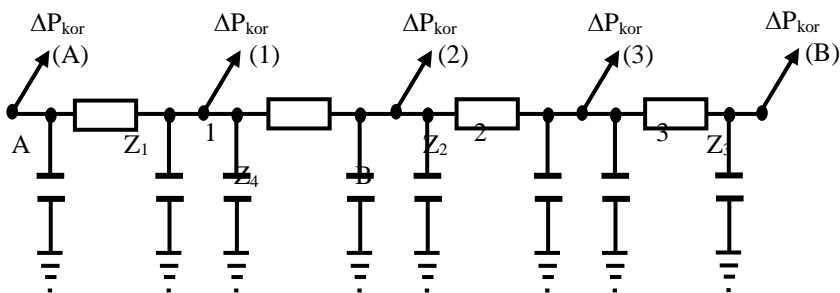
$$E_{kr} = \frac{0,354U}{n \cdot R \lg(\frac{D_0}{R_e})} (1 + 0,25 \lg n) \quad , \quad (1.5.5.)$$

bu ýerde: U -liniýa potentsialy;
 n -fazadaky sim sany;
 R -her simiň radiusy;
 R_e, D_0 – öň ýokarda kesgitlenendir.

Korona ýitgisine degişli howa liniýalarynda belli bir aktiw geçirijilik ýüze çykar, emma iş ýüzünde ol aktiw geçirijiligiň deregine korona ýitgisiniň özüni hamala diýersiň bir goşmaça ýük birleşen ýaly edip her 200-300 km liniýa aralygyna çatýarlar.

Howa liniýalaryna garanynda kabel liniýalarynda süýşme toguň aktiw bölegi ep-esli artykdyr. Şol birwagtyň özünde reaktiw sygym toguň (zarýad) täsiri hem has ýokarydyr. Bu ýagdaý kabel simleri bilen ýere birleşmeli faza simlerini gurşap alan gürşun ýa-da alýumin örtügiň aralarynyň iňňän ýakyndygy bilen düşündirilýär. Her niçikde bolsa, kabel liniýalarynda aktiw geçirijilik göz önünde tutulyp hem durmaýar. Munuň tersine reaktiw geçirijilik 10 kW potensialdan ýokarda hasaba alynmalydyr.

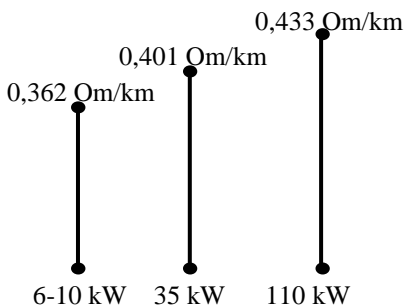
Şeýlelikde, ýokary woltly aşa uzyn howa liniýalarynyň orunçalşyрма sudury aşakdaky hala eýe bolýar (1-5-4-nji çyzgy).



1-5-4-nji çyzgy. Ýokary potentsially uzak aralykly howa liniýasynyň orunçalşyрма sudury.

§ 1-6 Raýon we ýerli setleriň parametrleriniň häsiýetli gatnaşyklary hem-de olaryň ýönekeýleşdirilen orunçalyşma sudurlary

Howa liniýalarynyň ýa-da kabel liniýalarynyň faza simleriniň kese-kesigini üýtgetsek, onda onuň aktiw garşylygy esli derejede üýtgär, sebäbi aktiw garşylyk kese-kesige ters proporsionallykda bolýar. Simiň induktiw garşylygyny (1.5.3.) aňlatma bilen tapylýar, ol aňlatmada liniýanyň konstruktiw ululyklary logariflenmeli bolýarlar, şonuň üçin hem induktiw garşylyk ol ululyklara az garaşly bolýar. Aýdylanlary teswirleme maksady bilen (1-6-1-nji çyzgyda) potensialyň üç ululygynda olara mahsus bolan simiň kese-kesiginde we sim aralyklarynda induktiw garşylyklaryň diagrammasy getirilendir.

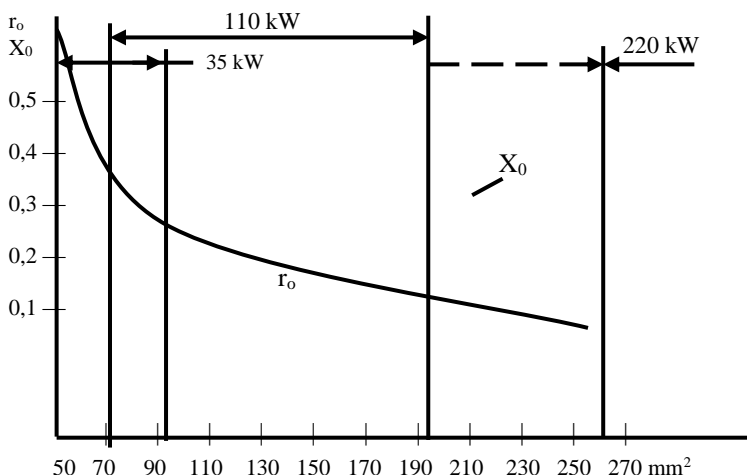


1-6-1-nji çyzgy. Dürli potensially liniýalaryň induktiw garşylyklarynyň diagrammasy.

Howa liniýasy ýalňyz simden gurnalanda onuň induktiw garşylygy takmynan $X_{o.or} = 0,4 \text{ Om/km}$ bolýar. Faza simini birnäçe ekwiwalent bolan simplere bölünende welin onuň induktiw garşylygy birneme azalaýar. Faza simini üç ekwiwalent sime bölenerinde onuň induktiw garşylygy $X_0 = 0,29 \text{ Om/km}$ bolýar.

Konstruktiv ululyklaryna az bagly bolan ululyklaryň biri hem howa liniýasynyň sygym geçirijiligidir, onuň ortaça bahasy ýalňyz simden bolan ýagdaýynda $b_{o,or} = 2,75 \cdot 10^{-6} \text{ l/Om} \cdot \text{km}$. Eger faza simi ekwiwalent birnäçe üç sime bölünen bolsa, onda onuň sygym geçirijiligi $b_0 = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ l/Om} \cdot \text{km}$ bolýar.

Polat simli alýuminiň simiň dürli ýogynlyklaryndaky udel aktiw garşylygynyň üýtgewi 1-6-1-nji çyzgyda getirilendir we hem-de şol ýerde sim ýogynlygyna baglylykda induktiv garşylygyň üýtgew häsiýeti görkezilendir.



1-6-1-nji çyzgy. Simiň aktiw hem-de induktiv garşylyklarynyň sim ýogynlygyna baglylygy.

Çyzgydan görnüşi ýaly simiň kese-kesiginiň kiçiligine, ýagny 50-70 mm² aktiw garşylyk induktiv garşylykdan uly ýa-da oňa deň. Şeýle ýogynlykdaky simler ýerli setlerde ulanýarlar. Ýerli setleriň potensialy 35 kW ýa-da ondan kiçi potensially bolýar. Şeýlelikde, diýmek, orunçalyşma sudurda yzygider aktiw hem-de induktiv garşylyklaryň setiň iş durkuna edip biljek täsiri hasaba alynmalydyr. Simiň 185-240 mm² kese-kesiklerinde we ondan ýokarda induktiv garşylygyň

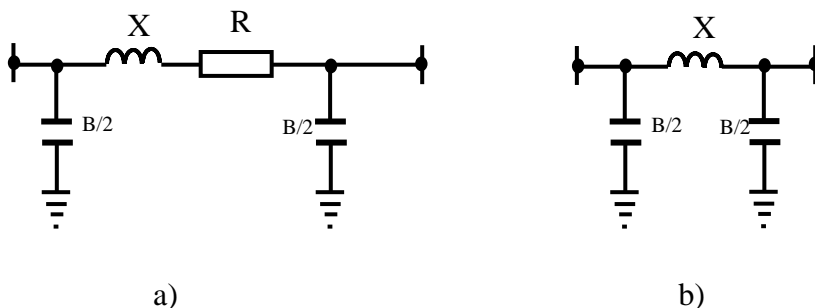
aktiw garşylykdan has ýokarydygy görnüp dur. Şonuň üçin hem potensial 110 kW we ondan uly bolanda setiň diňe induktiw garşylygyny suduryň yzygider böleginde hasaba almak ýeterlikdir. Şeýle ýagdaý potensialy 220 kW we ondan ýokary bolanda şeýle liniýalaryň hil aýratynlyklaryna serenjam bermek üçin aktiw geçirijiliginiň we aktiw garşylygynyň hasaba alynmak zerurlygynyň ýokdugyny aňladýar. 110 kW potensialy bolan liniýalara 70-150 mm² simler degişli, şonuň üçin ol liniýalarda aktiw we induktiw garşylyklar orunçalyşma sudurlarynda hasaba alynmalydyr. Elebetde, her halda-da tehniki ykdysady hasaplamalar amala aşyrylanda aktiw geçirijiligi we aktiw garşylygy ünsden düşürmek bolmaz.

Ýerli setleriň sygym geçirijiligi (ýomkostnaýarowodimost) potensial ululygy 110 we 220 kW bolan raýon setleriniň sygym geçirijiligine deňiräk hasaplanylýar, emma, degişli sygym (süýşme) toklary we olara degişli bolan reaktiw zarýad kuwwatlyklary Q'_c we Q''_c ýerli setiňki bilen raýon setiňki örän tapawutlydyrlar. Sebäbi bu agzalan kuwwatlyklar diňe bir sygym geçirijiligine bagly bolman, setiň nominal potensialyna hem-de uzynlygyna hem baglydyr :

$$Q_c = Q'_c + Q''_c \approx U_{nom}^2 \cdot b_0 \cdot \ell \quad (1.6.1.)$$

Hasap geçirilende şeýle ululyklar anykklan, ýagny, potensialy 110 kW bolan liniýada döreýän zarýad kuwwatlyk liniýa boýunça berilýän reaktiw kuwwatlygyň takmynan ≈ 10 %-ne barabardyr, şol wagtyň özünde potensialy 220 kW bolanynda ol ululyk takmynan ≈ 30 %-ne çenli baryp ýetýär. Haçanda liniýa potensialy 500 kW bolsa, bu ýagdaýda liniýada döreýän zarýad kuwwatlygynyň möçberi liniýadan berilýän aktiw kuwwatlygyň derejesine baryp ýetýär. Şonuň üçin liniýanyň iş durkuna serenjam berlende zarýad kuwwatlygyny hemişe hasaba almaly. Potensialy 35 kW we ondan hem aşakdaky ýerli setlerdäki döreýän zarýad kuwwatlyk uly bolmaýarlar, onuň üçin olary hasaba alynman hem biliner.

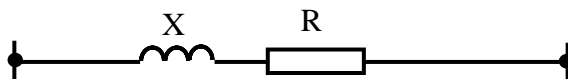
Raýon ähmiýetli howa elektrik setiniň orunçalşyrma sudury 1-6-2-nji çyzgyda getirilendir.



1-6-2-nji çyzgy. Raýon ahmiýetli howa setiniň orunçalşyrma sudury.

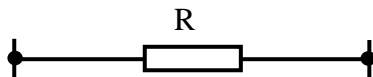
Liniýadan has uly kuwwatlyklar berlende onuň orunçalşyrma sudury 1-6-2-nji, b çyzgydaky ýaly bolýar, sebäbi sim ýogynlygy aşa uly, onuň üçin aktiw garşylyk örän az.

Ýerli howa setiniň orunçalşyrma sudury 1-6-3-nji çyzgyda görkezilendir. Bu setde sygym geçirijilik az bolýar, onuň üçin sudurdan düşürlendir.



1-6-3-nji çyzgy. Ýerli ähmiýeti bolan howa setiniň orunçalşyrma sudury.

Kabel liniýalarynyň potensialy 6-10 kW we ondan kiçi bolanynda onuň reaktiw garşylygy juda az bolýar, şeýle halatlarda induktiw garşylyk orunçalşyrma sudurynda düşüp galýar (1-6-4-nji çyzgy).



1-6-4-nji çyzgy. Potensialy 6-10 kW we ondan aşakda bolan kabel liniýalarynyň orunçalşyрма sudury.

Bu ýagdaýyň sebäbi kabelde tok geçiriji simler örän ýakyn ýerleşen, şonuň üçin magnit meýdany her sim bilen ujypsyzja galtaşýar ol sebäpden bolsa induktiw garşylyk çaksyz az bolýar.

Öň belläp geçişimiz ýaly, elektrik liniýalarynyň islendik potensialynda aktiw hem reaktiw geçirijiligi mahsusdyr, onuň ululygy liniýanyň ýüküne bagly däl. Ol ululyklar liniýanyň gurnawyna, uzynlygyna hem-de potensialyna baglydyr. Liniýanyň potensialy ulaldykça onuň uzynlygy hem artýar, şonuň üçin bolsa beýle liniýalaryň sygym toklary we ýitgi toklary uly bolýar. Emma, ýerli liniýalarda bu toklar hasaba alarlyk däl.

Şeýlelikde, liniýanyň aktiw hem reaktiw garşylygyndan başga-da, aktiw hem reaktiw geçirijiligini-de raýon ähmiýetli liniýalarda hasaba alynýar.

Elektrik geçirilişiniň uzaklygy takmynan 300 km bolanda orunçalşyрма sudurynda geçirijilik hamala liniýanyň ortasynda jemlenen, garşylyklary bolsa liniýanyň iki ujunda jemlenen diýip hasap etmeli, ýa-da tersine, geçirijiler liniýanyň iki ujunda jemlenip, garşylyklar liniýanyň ortasynda diýip hasap etmeli [E.1]. Orunçalşyрма suduryny düzenimizde T hem-de II-görnüşli (kirillisada) sudurlary alarys. (shema zameşşeniýa)

Köp halatlarda orun çalşyрма suduryny ýönekeýleşdirýärler. Howa liniýalarynda 35 kW, kabel liniýalarynda bolsa 10 kW potensiallary öz içine alýan setlerde aktiw hem reaktiw garşylygy hasaba alaymaly bolýar.

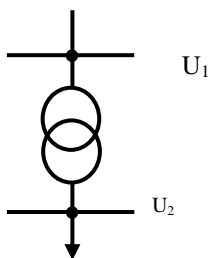
110-220 kW potensialy bolan liniýalarda geçirijilik düşünjäniň deregine olaryň täsir ululygyny görkezmek

ýeterlikdir, ýagny, eger sygym geçirijiligini üýtgemeyän ululyk diýip hasap etsek, onda onuň sudura täsirini görkezämeklik ýeterlikdir $Q_I = U_{nom}^2 * B$. Ýerli liniýalarda bolsa, aktiw we rekatiw garşylyklary görkezmek ýeterlikdir ($B = b_0 \cdot \ell$).

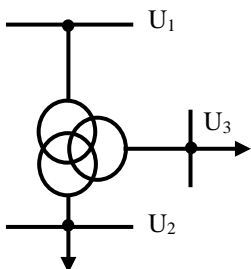
§1-7 Transformatorlaryň orunçalşyрма sudury

Iki sargyly transformatoryň orunçalşyрма suduryňy T -harpy görnüşinde görkezmek bolar. Bu ýerde R_T we X_T – deňşililikde aktiw hem rekatiw garşylyklar, G_T – transformatoryň aktiw geçirijiligi, bu ululyk transformatoryň demirindäki ýitgini şertlendirýär, B_T – induktiw geçirijiligi, magnit akymyny döredýän tok ululygyna bagly.

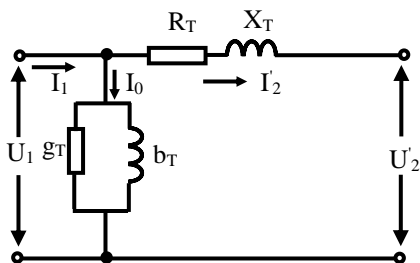
Transformatoryň geçirijiligindäki tok örän az (nominal toguna garanynda bir näçe prosent), onuň üçin raýon ähmiýetli liniýalarda transformatoryň orunçalşyрма suduryňy F -harpy görnüşinde görkezmek bolar, bu bolsa hasaplama işlerini ýeňilleşdirýär, alnan netijä kân bir ýalňyşlyk girmeýär. Hasaplamaný has hem ýeňilleşdirip bolýar, onuň üçin transformatoryň geçirijiligindäki ýitgini transformatoryň boş işindäki ýitgi bilen çalşyrmaly, ol ýitgini üýtgemeyän ululyk hökmünde alyp bolýar. Diýmek, aktiw we rekatiw geçirijiliginiň deregine üýtgemez elektrik ýüki çatylan hökmünde garaýmaly. Ýagny, $\Delta S = \Delta P_{OT} - j \Delta Q_{OT}$. Bu ýerde birinji bölek transformatoryň demirinde ýitýär, ikinji bölegi bolsa magnit meýdanyny döredýär.



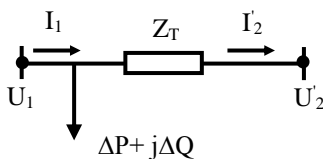
1-7-1-nji çyzgy. Iki sargyly transformatoryň şertli belgisi.



1-7-2-nji çyzgy. Üç sargyly transformatoryň şertli belgisi.



1-7-3-nji çyzgy. Iki sargyly transformatoryň Γ – harpy görnüşli orunçalyşma sudury.



1-7-4-nji çyzgy. Iki sargyly transformatoryň ýönekeýleşdirilen orunçalyşma sudury.

$$\Delta Q_0 = \frac{I_{xx} \%}{100} \cdot S_{Tnom} \quad , \quad (1.7.1.)$$

bu ýerde: $I_{0\%}$ - transformatoryň ýüksiz iş togy.

Transformatoryň nominal ýükünde aktiw garşylygy :

$$R_T = \frac{\Delta P_{m.n} \cdot U_{T.nom}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{T.nom}^2}, [Om] \quad (1.7.2.)$$

$\Delta P_m \approx \Delta P_k$ – sargydaky ýitgi (transformatoryň nominal ýükündäki ýitgi)

$$U_K \% = \frac{\sqrt{3} Z_T \cdot I_{nom}}{U_{T.nom}} \cdot 100 = \frac{Z_T \cdot S_{T.nom}}{10 \cdot U_{T.nom}^2} \quad (1.7.3.)$$

bu ýerde $S_{T.nom} - [kW \cdot A]$, $U_{nom} - [kW]$

$$Z_T = \frac{10 \cdot U_K \% \cdot U_{T.nom}^2}{S_{T.nom}}, [Om] \quad (1.7.4.)$$

$$X_T = \sqrt{Z_{T*}^2 - R_T^2}, \quad (1.7.5.)$$

Uly kuwwatly transformatorlaryň sargysynyň aktiw garşylygy örän az bolýar, şonuň üçin bolsa $R_T \approx 0$, onda

$$X_T = Z_T = \frac{10 \cdot U_K \% \cdot U_{T.nom}^2}{S_{T.nom}}, [Om] \quad (1.7.6.)$$

Üç sargyly transformatorlaryň parametrleriniň tapylyşy birneme üýtgeşigräk, sebäbi sargylarynyň ýasalýş aýratynlygyna bagly. Üç sargyly transformatorlaryň üç hili gurnawy bolýar, ol sargylaryň kuwwatlyk ululygyna bagly. Eger ählisiniň kuwwatlylygy deň bolsa, onda 100/100/100 diýip belleýärler. Ikinji gurnawynda, iki sargynyň kuwwatlylygy deň we 100 % nominal kuwwatlylygy bar, üçünji sargynyň kuwwatlylygyny bolsa 1,5 esse az edip gurnaýarlar. Şeýlelikde 100 % / 1,5 = 66,7 % nominal kuwwatlylygy bolýar. Onda ikinji gurnawyň kuwwat gatnaşygy 100 % / 100 % / 66,7 % bolýar. Üçünji gurnawynda kuwwat gatnaşyklaryny 100 % / 66,7 % / 66,7 % edip alýarlar.

Orunçalşyrma sudury (1-7-5-nji çyzgy) getirilendir.

Eger 2-nji sargyny gysga birleşdirip, 1-nji sarga potensial bersek, onda

$$r_1 + r_2 = \frac{\Delta P_{k.z} (1-2) \cdot U_{nom}^2}{S_{nom}^2} , \quad (1.7.7.)$$

$$X_{12} = X_1 + X_2 = \frac{U_k (1-2)\% \cdot U_{T.nom}^2}{100 \cdot S_{nom}} , \quad (1.7.8.)$$

Beýleki sargylaryň arasynda hem şeýle tejribe edilse netije aşakdaky ýaly bolar:

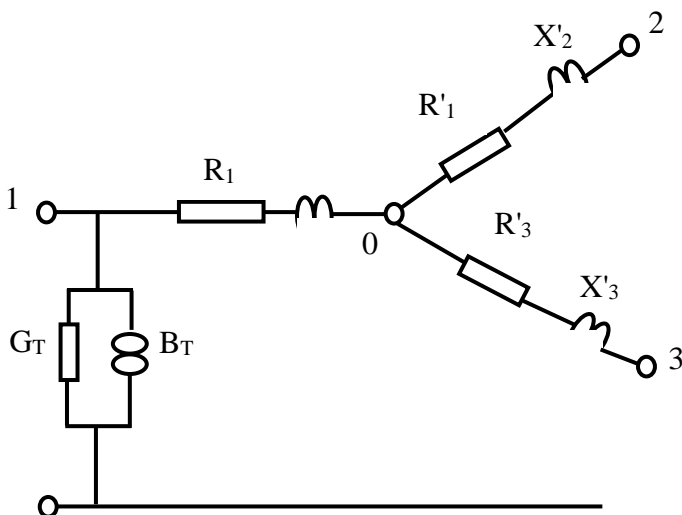
$$\begin{aligned} X_{13} &= X_1 + X_3 \\ X_{23} &= X_2 + X_3 \\ (1.7.9.) \end{aligned}$$

Soňra her sargynyň hususy induktiw garşylygyny aşakdaky aňlatmany ulanyp kesgitleýärler.

$$X_1 = \frac{X_{12} + X_{13} - X_{23}}{2}$$

$$X_2 = \frac{X_{12} + X_{23} - X_{13}}{2} \quad (1.7.10.)$$

$$X_3 = \frac{X_{13} + X_{23} - X_{12}}{2}$$



1-7-5-nji çyzgy. Üç sargyly transformatoryň orunçalyşma.

Transformatorlara deňişli ululyklaryň hemmesi, şol sanda gysga birleşmäniň potensial bahalary $U_{k(1-2)}\%$, $U_{k(1-3)}\%$, $U_{k(2-3)}\%$, deňişli edebiýatlaryň tablisalarynda görkezilýär. Gysga birleşme wagtyndaky kuwwat ýitgisiniň bahasyny kähalatlarda iň uly ýitgili birleşmäniňkini görkezýärler, käbir halatda bolsa, üç birleşmäniňki hem görkezilýär. Mysal :

100 / 100 / 100% gatnaşykly sargylarda

$$r_1 = r_2 = r_3 \frac{\Delta P_{k.z} \cdot U_{T.nom}^2}{2 S_{T.nom}^2}, \quad (1.7.11.)$$

100 / 100 / 66,7% -bolanda,

$$\frac{r_{66,7\%}}{r_{100\%}} = \frac{100\%}{66,7\%}, \text{ bu ýerde } r_{66,7\%} = 1.5 r_{100\%} \quad (1.7.12.)$$

Haçanda, üç birleşmäniň gysga birleşme ýitgisi berlen bolsa, onda :

$$\Delta P_{k.z.1} = \frac{\Delta P_{k.z.(1-2)} + \Delta P_{k.z.(1-3)} - \Delta P_{k.z.(2-3)}}{2}, \quad (1.7.13.)$$

$$\Delta P_{k.z.2} = \frac{\Delta P_{k.z.(1-2)} + \Delta P_{k.z.(2-3)} - \Delta P_{k.z.(1-3)}}{2}, \quad (1.7.14.)$$

$$\Delta P_{k.z.3} = \frac{\Delta P_{k.z.(1-3)} + \Delta P_{k.z.(2-3)} - \Delta P_{k.z.(1-2)}}{2}, \quad (1.7.15.)$$

Soňra, her sargynyň hususy aktiw garşylygyny aşakdaky aňlatmany

$$r_T = \frac{\Delta P_{k.z.} \cdot U_{nom}^2}{S_{nom}^2}, \quad \begin{array}{l} \text{ulanyp } r_1, r_2 \text{ we } r_3 \text{ garşylyklary } \Delta \\ P_{k.z.1}, \Delta P_{k.z.2}, \text{ we } \Delta P_{k.z.3} \text{ üsti} \\ \text{bilen kesgitlemek bolar.} \end{array}$$

§ 1-8 Awtotransformatorlar

Dürli potensially setleriň özara baglanşygyny üpjün edip bilýän awtotransformator ady bilen belli bolan enjamlar, soňky wagtlarda örän giň peýdalanylýar. Awtotransformatoryň üç sargysy bolup, onuň orta potensially (A) sargysy bilen ýokary potensially (B) sargysynyň özara elektromagnit baglanşygyndan ötri elektrik birleşmesi hem bardyr.

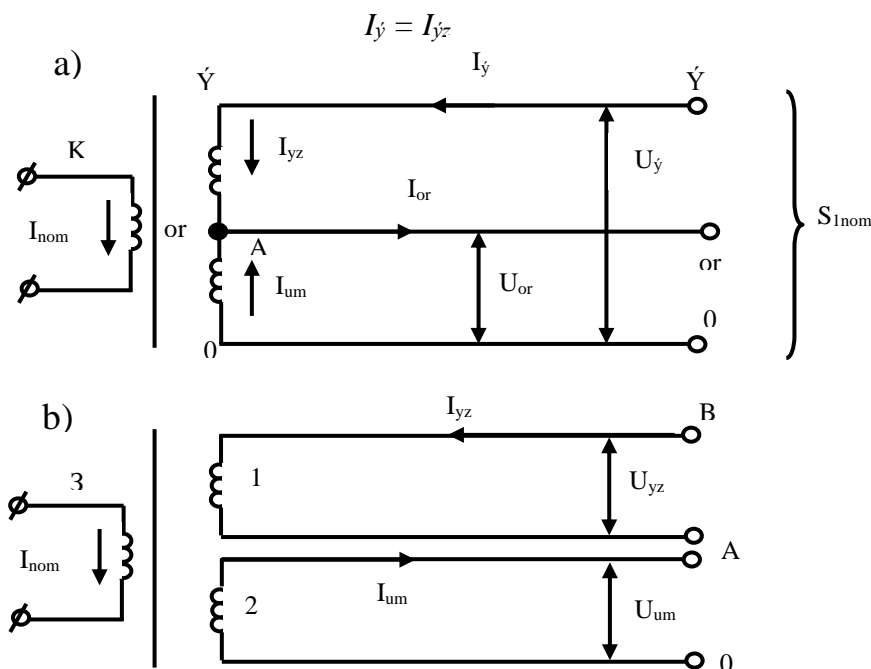
Şeýlelikde, orta potensially sargy (A) ýokary potensially sargynyň (B) bir bölegi bolup durýar. Eýsem, ýokary potensially (B) sargy iki bölekden durýan eken: yzygider sargy (последовательная) B we A nokatlar aralygynda ýerleşip onuň üstünden diňe ýokary potensially I_y tok akýar we umumylykdaky sargy .

A we O nokatlar aralykda ýerleşip, üstünden garşylykly ugur boýunça ýokary hem orta potensially sargylaryň toklary akýar. Netijede bolsa, umumylykdaky sargynyň üstünden iki toguň

algebraik tapawudy bolan tok akýar, ýagny, orta potensially (*OP*) hem-de ýokary potensially (*ÝP*) liniýalaryň tok tapawudyna deň bolan tok geçýär.

$$I_{um} = I_{or} - I_{\dot{y}} \quad (1.8.1.)$$

Yzygider sargynyň üstünden akýan ýokary potensially $I_{\dot{y}}$ tok başgaça yzygider sargynyň togy ýaly edip hem häsiýetlendirilýär, ýagny,



1-8-1-nji çyzgy. Awtotransformatoryň sargylarynyň birleşme sudury.

Kiçi potensially sargy (*K*) beýleki sargylar bilen diňe elektromagnit baglanyşyklydyr. Eger, orta (*or*) we ýokary (*Ý*) sargylaryň deňişlilikde kuwwat ululyklary 100% bolsa, onda

kiçi sargynyň kuwwat ululygy 20 - 50% bolýar. Kiçi sargy (K) hemişe üçburçlyk görnüşinde birleşdirilendir, sebäbi şeýle edilende üçünji garmonikaly togy kompensirläp bolýar (ýok edip bolýar).

Awtotransformatorlaryň artykmaçlygy olaryň bahasynyň arzanlygy, gabarasynyň, agramynyň, ondaky bolup geçýän ýitginiň pesligi bilen düşündirilýär. Olaryň kemçiligi hökmünde elektrik baglanyşygynyň bolanlygy bilen aňladylýar.

Eger awtotransformatorda yzygider sargy bilen umumy sargy aralykdaky elektrik baglanyşygy aýryp işe goýbersek, onda bize öň mälim bolan ýonekeý üç sargyly transformatory alarys.

Şu ýagdaýda transformatoryň hem-de awtotransformatoryň sargylaryndaky we demirindäki bolup geçýän hadysalar (prosesler) deň bolar. Onda olaryň gabarasy hem üýtgeşsiz, demirdäki we sargydaky ýitgiler hem deň. Ýöne, awtotransformator ýagdaýynda onuň üstünden berilýän kuwwat artykdyr. Aýdylanlaryň teswirlemesini ýeňilleşdirmek üçin ýitgi meselesini aradan aýryp 1-8-1-nji çyzgyda getirilen birleşme sudurlaryny deňeşdirsek, onda

$$\left. \begin{array}{ll} U_{\dot{Y}} = U_{\dot{Y}Z} + U_{um} & I_{\dot{Y}} = I_{\dot{Y}Z} \\ U_{or} = U_{um} & I_{or} = I_{\dot{Y}Z} + I_{um} \end{array} \right\} \quad (1.8.2.)$$

bu ýagdaýy (1.8.1.) aňlatma hem tassyklaýar.

Awtotransformatoryň nominal kuwwaty hökmünde onuň ýokary sargysynyň ($\dot{Y}W$) ýa-da orta sargysynyň (OW) özara elektrik baglanyşygy bolan ýagdaýyndaky kuwwaty kabul edilýär. Bu kuwwat ululygyna kä halatlarda "akyp geçiji" ýa-da "akyp geçýän" kuwwat hem diýip atlandyryýarlar.

$$\left. \begin{array}{l} S_{1\,nom} = \sqrt{3} \, U_{\dot{Y}} \cdot I_{\dot{Y}} = \sqrt{3} (U_{yz} + U_{um}) \cdot I_{\dot{Y}z} \\ S_{2\,nom} = \sqrt{3} \, U_{or} \cdot I_{or} = \sqrt{3} \, U_{um} (I_{\dot{Y}z} + I_{um}) \\ S_{1\,nom} = S_{2\,nom} \end{array} \right\} \quad (1.8.3.)$$

Transformatoryň gabarasy, ondaky ýitgi möçberi we başgalar onuň "tipli kuwwaty" atly kuwwat bilen kesgitlenilýär. Ol kuwwat ululy ýokary potentsially sargylaryň elektrik baglanşygynyň ýok wagtynda, ýagny, ýokary (Y) hem-de orta (O_r) sargylaryň aýratynlykda işlänlerinde haýsysynyň hem bolsa biriniň kuwwatyna deň bolýar .

$$S_1 = S_2 = \sqrt{3} U_{yz} \cdot I_{yz} = \sqrt{3} U_{um} \cdot I_{um} = S_{tip} \quad (1.8.4.)$$

$$\frac{S_{tip}}{S_{nom}} = \frac{\sqrt{3} U_{yz} \cdot I_{yz}}{\sqrt{3} (U_{yz} + U_{um}) I_{yz}} = \frac{U_{yz}}{U_{yz} + U_{um}} = \frac{U_y - U_{or}}{U_y}$$

ýagny

$$\frac{S_{tip}}{S_{nom}} = 1 - \frac{1}{K}; S_{nom} = \frac{S_{tip}}{1 - \frac{1}{K}}, \quad (1.8.5.)$$

bu ýerde: $K = \frac{U_y}{U_{or}}$ - transformasiýa koeffisiýenti

Şeýlelikde, awtotransformatoryň "tipli" kuwwaty onuň berip biläýjek nominal kuwwatyndan kiçidir. Mysal üçin, ýokary (B) we orta (A) sargylaryň deňşililikde potentsiallary 220 we 110 kW bolsa, ýagny $K = \frac{220}{110} = 2$ bolanda aňlatma laýyklykda $S_{nom} = 2 S_{tip}$

Şeýlelikde, awtotransformatoryň kömegi bilen şol bir energiýa ýitgide transformatora garanyňda 2 esse artyk kuwwat berip boljak ekeni. (1.8.5.)-den aňlatmanyň görnüşi ýaly, transformasiýa koeffisiýenti "tipli" kuwwat bilen nominal kuwwatyň gatnaşygyny üýtgedýär. Koeffisiýent "K" näçe uly bolsa, ýagny, sargylaryň potentsiallary näçe özara tapawutlansa (330/110; 500/110 we başgalar), onda şonça-da bu täsin effekt az bolýar. Başgaça aýdanymyzda awtotransformatorlary ulanylanda olaryň ýokary potentsialy özara elektrik birleşmeli sargylarynyň ýakyn potensial gatnaşygy wajypdyr.

Awtotransformatoryň aktiw garşylygy R_{tr}

Awtotransformatoryň her jübit sargysy üçin onuň arasyndaky aktiw kuwwat ýitgisi görkezilýär, ýagny ΔP_{y-or} , ΔP_{y-k} we ΔP_{or-k} , onda

$$\begin{aligned} \Delta P_{k.y} &= 0,5 (\Delta P_{k.y-or} + \Delta P_{k.y-k} - \Delta P_{k.or-k}) : \\ \Delta P_{k.or} &= 0,5 (\Delta P_{k.y-or} + \Delta P_{k.or-k} - \Delta P_{k.y-k}) \end{aligned} \quad (1.8.6.)$$

Değişlilikde

$$\left. \begin{aligned} R_{tr.y} &= \Delta P_{k.y} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}^2}; \\ R_{tr.or} &= \Delta P_{k.or} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}^2} \end{aligned} \right\} \quad (1.8.7.)$$

$R_{tr.k}$ sargynyň kuwwatyna baglylykda üç sargyly transformatoryňky ýaly kesgitlenilýär.

Awtotransformatoryň induktiw garşylygy X_{tr}

Awtotransformatoryň induktiw garşylygy edil üç sargyly transforma-torlaryňky ýaly kesgitlenilýär.

Geçirijilikleri bolsa sargylaryň birleşişine bagly bolmany üçin edil iki sargyly transformatorlaryňky ýaly kesgitlenilip biliner.

Awtotransformatoryň kiçi potensially sargysy ýokary potensially sargylar (B) we (A) bilen diňe magnit aragatnaşygynda bolýar (galwaniki baglylygy ýokdur), şoňa göräde olary goýberýän zawodlar tarapyndan ýokary potensially sargylaryň kiçi potensially sargy bilen özara gysga birleşme ýitgilerini we potensiallaryny, ýagny $\Delta P_{k.y-k}$, $\Delta P_{k.or-k}$ hem-de $U_{k.y-k}\%$, $U_{k.or-k}\%$ "tipli" kuwwatlyga degişli edip getirýär. Şonuň üçin hem bolsa, köplenç halatlarda bu bahalary

nominal bahasyna degişli edip almaly bolýar. Şeýle bolanda nominal we "tipli" kuwwatlyklaryň gatnaşýşyny göz önünde tutmaly bolýar hem-de olaryň kwadrat gatnaşyklaryny S_{nom}^2/S_{tip}^2 ýaly edilip alynmalydyr, sebäbi, ýitgi kuwwatyň kwadratyna proporsionallykda bolýar.

$$\left. \begin{aligned} \Delta P'_{k.y-or} &= \Delta P_{k.y-or} \\ \Delta P'_{k.y-k} &= \Delta P_{k.y-k} \left(\frac{S_{nom}}{S_{tip}} \right)^2 \\ \Delta P'_{k.or-k} &= \Delta P_{k.or-k} \left(\frac{S_{nom}}{S_{tip}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.8.8.)$$

Gysga birleşme potensiallaryny nominala getirilende kwadrata göterilmeýär, sebäbi, gysga birleşme potensialy nominal tokda ölçenip, kuwwata proporsional bolýar :

$$\left. \begin{aligned} U'_{k(1-2)} \% &= U_{k(1-2)} \% \\ U'_{k(2-3)} \% &= U_{k(1-3)} \left(\frac{S_{nom}}{S_{tip}} \right) \% \\ U'_{k(2-3)} \% &= U_{k(2-3)} \left(\frac{S_{nom}}{S_{tip}} \right) \% \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} U'_{k.y-or} &= U_{k.y-or} \\ U'_{k.y-k} &= U_{k.y-k} \left(\frac{S_{nom}}{S_{tip}} \right) \\ U'_{k.or-k} &= U_{k.or-k} \left(\frac{S_{nom}}{S_{tip}} \right) \end{aligned} \quad (1.8.9.)$$

Soňra induktiw garşylygyň kesgitleniş usuly üç sargyly transformatoryňky ýaly bolýar.

§ 1-9 Awtotransformatorlaryň orunçalışyryma sudury, parametrleri we ýitgisi

Dürli ululykdaky potensial liniýalary çatmakda köplenç ýagdaýlarda awtotransformatorlar ulanylýar. Awtotransformatoryň şertli bellenişi [E.1, 1-2-1-nji] çyzgyda görkezilen. Beýleki transformatorlar ýaly awtotransformatorlar hem üç fazaly ýa-da bir fazaly görnüşde ýasaýarlar. Bir fazaly awtotransformatorlardan podstansiýalarda kä halatlarda üç fazaly awtotransformatorlar gurnaýarlar.

Awtotransformatorlar hem beýleki transformatorlar ýaly nominal potensialy we nominal kuwwatlylygy bilen häsiýetlendirilýär. Awtotransformatorlaryň nominal kuwwatlylygy hökmünde onuň ýokary potensialy sargysynyň üstünden iň uly kuwwatlylygy geçirip biljek ulylygyny kabul edýärler.

Şeýlelikde

$$S_{nom} = \sqrt{3} I_{\dot{y}(nom)} \cdot U_{\dot{y}(nom)} , \quad (1.9.1.)$$

Awtotransformatory ýene-de häsiýetlendirýän ulylyk hökmünde tipowoý kuwwaty göz önünde tutulýar, şol kuwwatlylyga bolsa yzygider 1 sargynyň hasaby çykarylýar. Kiçi potensialy sargyda elektrik ýüki ýok ýagdaýynda bu kuwwatlylyk şeýle kesgitlenilip biliner.

$$S_T = \sqrt{3} I_{\dot{y}(nom)} \cdot (U_{\dot{y}(nom)} - U_{0(nom)}) = \sqrt{3} I_{(nom)} \cdot U_{\dot{y}(nom)} \left(1 - \frac{U_{0(nom)}}{U_{\dot{y}(nom)}}\right) = S_{nom} \cdot \alpha , \quad (1.9.2.)$$

$$\text{Bu [erde } \alpha = 1 - \frac{U_{0(nom)}}{U_{\dot{y}(nom)}} = 1 - K_{2(nom)} \quad - \quad \text{peýda getiriji koeffisiýentdir.}$$

(1.8.1.)garanymyzda peseldiji awtotransformatoryň umumy sargysynyň togy ýokary hem orta potensialy sargylaryň toklarynyň tapawudyna deňligini görýäris. Şonuň üçin bolsa, umumy 2 sargynyň hasaby awtotransformatoryň nominal

togundan kiçi toga gönükdirilendir. Umumy sargynyň kuwwaty awto-transformatoryň "tipowoý" kuwwaty diýilýäne deňdir. Kiçi potensially sargy (K) hem "tipowoý" kuwwata hasaplanandyr.

Şeýlelikde, awtotransformatoryň gurnawy öz üstünden sargylaryň hasaplanýş kuwwatlyklaryndan has artyk kuwwatlyklary geçirip bilýär. Şonuň üçinem, peseldiji awtotransformatorlar üç sargyly deň kuwwatly transformatorlardan epesli arzandyr, az aktiw material sarp edýär, az aktiw energiýa ýitýär.

Peýda beriji koeffisiýente garap geçenimizde awtotransformatoryň baglanyşdyrýan liniýalarynyň potensially näçe bir-birine golaý boldugyça onuň artykmaçlyklary ägirt bolýar.

$$\alpha = 1 - \frac{U_{0(nom)}}{U_{y(nom)}} = \frac{U_{y(nom)} - U_{0(nom)}}{U_{y(nom)}}$$

Awtotransformatorlary hem üç sargyly transformatorlaryňky ýaly ýitgileri, boş işlän wagtyndaky togy bilen ($\Delta P_0, I_\mu = I_0$) we üç sany gysga birleşme potensiallary bilen häsiýetlendirýarlar. Tablisalarda awtotransformatorlaryň gysga birleşmedäki üç ýitgisi görkezilýär, olaryň birisi bolsa ($\Delta P_{k.z.(y-0)} = \Delta P_{k.z.(1-2)}$) awtotransformatoryň nominal kuwwatyna degişlidir, beýleki ikisi bolsa köplenç awtotransformatoryň "tipowoý" kuwwatyna degişlidir. Edil şonuň ýaly edip gysga birleşme potensiallary hem görkezilýär, olaryň biri ($U_{k.(y-0)} = U_{k.(1-2)}$) nominal kuwwatyna degişli beýleki ikisi bolsa – "tipowoý" kuwwatyna degişlidirler.

$$(\Delta P_{k.z.(y-1)} = \Delta P_{k.z.(1-3)}, \Delta P_{k.z.(0-k)} = \Delta P_{k.z.(2-3)})$$

Bu ýagdaý awtotransformatorda gysga birleşme parametrlerine gabat gelýär. Kiçi potensially sargynyň gysga birleşmesinde toguň ululygynyň derejesine "tipowoý"

kuwwatyň togunyň ululygyna ýetirýärler, sebäbi ol sargynyň kuwwaty "tipowoý" kuwwata deňdir.

Şonuň üçin gysga birleşme potensialynyň ululygy üýtgeşik bolýar. Orta sargynyň gysga birleşmesinde we potensialy ýokary sarga berenimizde potensialyň ululygyny yzygider sargydaky toguň ululygy bilen kesgitleýärler, eger bu tok nominal kuwwatlylygyň derejesine ýeten bolsa, ine şu wagtky potensial ululyk gysga birleşmäniň potensialy bolýar.

Awtotransformatorlaryň hem orunçalışyрма sudury edil üç sargyly transformatorlaryňky ýalydyr.

$$\Delta P_0 \approx U_{nom}^2 g_T, \text{ şeýle hem } \Delta Q_0 \approx U_{nom}^2 b_T,$$

bu ýerden

$$g_T = \frac{\Delta P_0}{U_{nom}^2}; \quad b_T = \frac{\Delta Q_0}{U_{nom}^2}; \quad (1.9.3.)$$

Reaktiw garşylyklary bolsa üç sargyly transformatorlaryňky ýaly tapylýar.

$$X_{12} = X_1 + X_2 = \frac{U_k(1-2)\% * U_{T.nom}^2}{100 * S_{nom}} \quad (1.9.4.)$$

beýleki birleşmelerde-de şuna meňzeş kesgitlenilýär $X_{12} = X_1 + X_2$, $X_{13} = X_1 + X_3$;

Soňra $X_1 = 0,5(X_{12} + X_{13} - X_{23})$, $X_2 = 0,5(X_{12} + X_{23} - X_{13})$ we ş.m ýöne tablisadaky görkezilen gysga birleşme potensialaryny nominal kuwwatlyga getirmek şerti bilen :

$$U'_{k(1-3)} = \frac{U_{k(1-3)}}{\alpha} \text{ we } U'_{k(2-3)} = \frac{U_{k(2-3)}}{\alpha}$$

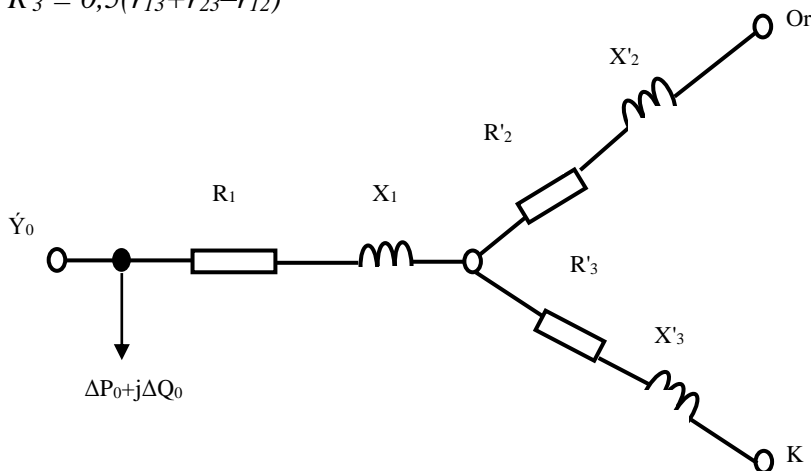
Edil şunuň ýaly-da aktiw garşyklary tapylanda gysga birleşmedäki aktiw ýitgileri nominal kuwwatlyga getirmeli :

$$\Delta P'_{k(1-3)} = \frac{\Delta P_{k(1-3)}}{\alpha^2} \quad we \quad \Delta P'_{k(2-3)} = \frac{\Delta P_{k(2-3)}}{\alpha^2}$$

Soňra

$$r_{12} = \frac{\Delta P_{k.z.(1-2)} \cdot U_{nom}^2}{S_{nom}^2} ; \quad r_{13} = \frac{\Delta P'_{k.z.(1-3)} \cdot U_{nom}^2}{S_{nom}^2} ; \quad we \quad ş.m.$$

Netijide $R_1 = 0,5(r_{12} + r_{13} - r_{23})$, $R'_2 = 0,5(r_{12} + r_{23} - r_{13})$, $R'_3 = 0,5(r_{13} + r_{23} - r_{12})$



1-9-1-nji çyzgy. Awtotransformatoryň orunçalışyрма sudury.

Transformatorlarda we awtotransformatordlarda kuwwat ýitgisini iki bölege bölýärler : bir bölegi olaryň ýüksiz işinde ýüze çykýar (geçirijiliklerinde g_T we b_T bolup geçýär). Ikinji bölegi bolsa transformatorlaryň we awtotransformatordlaryň

ýüküne bagly bolýar we hemişe üýtgäp durýar (sargylaryň garşylyklary R_T we X_T üstünde bölünýär).

Transformatorlaryň we awtotransformatorlaryň ýüksüz işindäki ýitgi olaryň polatdan ýasalan serdeçniginde bolup geçýär ; aktiw ýitgi serdeçnigi gyzdyrýar (sudurda g_T - geçirijiligi şertlendirýär), reaktiw ýitgi bolsa magnit akymyny döretmek, üçin harçlanylýar(sudurda b_T - geçirijiligi şertlendirýär).

$$\text{Şeýlelikde } \Delta P_s \approx \Delta P_0, \Delta Q_0 \approx \Delta Q_\mu = \frac{I_0 \%}{100} S_{nom}$$

şu ýerde serdeçnigiň üstünden tok akmaýar diýilip hasaplanylýar (ýagny $I_s = 0$).

Iki sargyly transformatoryň doly ýitgisi ýitgileriň jemine deňdir.

$$\Delta P_T = 3I_{2r}^2 R_T + \Delta P_0 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{nom}^2} \cdot R_T + \Delta P_0 ;$$

$$\Delta Q_T = 3I_2^2 X_T + \Delta Q_0 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{nom}^2} \cdot X_T + \Delta Q_0 ;$$

Eger bir näçe deň kuwwatly transformatorlar bilelikde işleýän bolsa, onda

$$\Delta P_T = 3I_{2r}^2 + \Delta P_0 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{nom}^2} \cdot R_T + n\Delta P_0 ; \quad (1.9.7.)$$

$$\Delta Q_T = 3I_{2x}^2 + \Delta Q_0 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{nom}^2} \cdot X_T + \Delta Q_0 ; \quad (1.9.8.)$$

Katalog tablisasynda getirilýän gysga birleşme wagtyndaky aktiw ýitgi transformatoryň nominal toguna degişli, onda

$$\Delta P_{k.z.} = 3 I_{nom}^2 R_T$$

Şol bir wagtyň özünde toguň başga bir ululygynda ýitgi (sargydaky)

$$\Delta P_m = 3 I_2^2 r_T$$

$$\text{onda } \frac{\Delta P_{k.z.}}{\Delta P_m} = \frac{I_{nom}^2}{I_2^2} = \frac{S_{nom}^2}{S_2^2}; \quad (1.9.9.)$$

Şeýlelikde, bir transformator bolmanlygynda

$$\Delta P_m = \Delta P_{k.z.} \cdot \frac{S_2^2}{S_{nom}^2}; \quad (1.9.10.)$$

eger bir topar deň kuwwatly transformatorlar belelikde işlände bolsa

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \Delta P_{k.z.} \frac{S_2^2}{S_{nom}^2} + n \Delta P_0; \quad (1.9.11)$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{n} \frac{U_K \%}{100} \frac{S_2^2}{S_{nom}} + n \frac{1_0 \%}{100} S_{nom};$$

Üç sargyly transformatoryň gysga birleşmesindäki aktiw ýitgiler belli bolsa, ($\Delta P_{k.z.1}$, $\Delta P_{k.z.2}$ we $\Delta P_{k.z.3}$), onda onuň doly ýitgisi şeýle tapylýar :

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_{k.z.1} \frac{S_1^2}{S_{nom(1)}^2} + \Delta P'_{k.z.2} \frac{S_2^2}{S_{nom(2)}^2} + \Delta P'_{k.z.3} \frac{S_3^2}{S_{nom(3)}^2} + \Delta P_0; \\ \Delta Q_T &= \frac{U_{k.1} \%}{100} \frac{S_1^2}{S_{nom(1)}} + \frac{U_{k.2} \%}{100} \frac{S_2^2}{S_{nom(2)}} + \frac{U_{k.3} \%}{100} \frac{S_3^2}{S_{nom(3)}} + \Delta Q_0; \end{aligned} \quad (1.9.12.)$$

Bu ýerde üç sargyly transformatoryň gurnawy 100/66,7/66,7 % bolsa, onda orta hem kiçi sargylaryň tablisa bahalaryny nominal kuwwatlylyga getirmeli.

$$\begin{aligned}
\Delta P'_{k.z.1} &= \frac{\Delta P_{(1-2)} + \Delta P_{(1-3)} - \Delta P_{(2-3)}}{2} = \Delta P_{k.z.1}, \\
\Delta P'_{k.z.2} &= \frac{\Delta P_{(1-2)} + \Delta P_{(2-3)} - \Delta P_{(1-3)}}{2} \frac{S_{nom2}}{S_{nom}} = \Delta P_2 \frac{S_{nom2}}{S_{nom}}, \\
\Delta P'_{k.z.3} &= \frac{\Delta P_{(1-3)} + \Delta P_{(2-3)} - \Delta P_{(1-2)}}{2} \frac{S_{nom3}}{S_{nom}} = \Delta P_3 \frac{S_{nom3}}{S_{nom}}
\end{aligned} \quad (1.9.13.)$$

Gysga birleşme potentsiallarynyň nominal ýagdaýa getirilişi ýitgidäki ýaly.

Awtotransformatordarda ýitgi tapylanda peýda beriji koeffisiýenti göz önünde tutmaly, ol şeýle tapylýar, mysal üçin 100 / 66,7 / 66,7 % gurnaw, onda

$$\alpha = \frac{S_{nom2}}{S_{nom}} = \frac{S_{nom3}}{S_{nom}} \quad \text{Onda sargydaky nominal ýitgiler}$$

(getirilen ululyklary) şeýle kesgitleniler

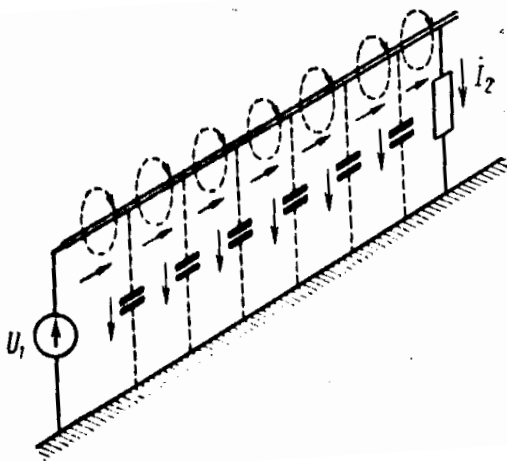
$$\begin{aligned}
\Delta P'_1 &= \frac{\Delta P_{(1-2)} + \Delta P_{(1-3)} / \alpha^2 - \Delta P_{(2-3)} / \alpha^2}{2}, \\
\Delta P'_2 &= \frac{\Delta P_{(1-2)} + \Delta P_{(2-3)} / \alpha^2 - \Delta P_{(1-3)} / \alpha^2}{2} \\
\Delta P'_3 &= \frac{\Delta P_{(1-3)} / \alpha^2 + \Delta P_{(2-3)} / \alpha^2 - \Delta P_{(1-2)}}{2} \quad (1.9.14.) \\
U'_{k1} &= \frac{U_{k(1-2)} + U_{k(1-3)} / \alpha - U_{k(2-3)} / \alpha}{2} = U_{k1} \\
U'_{k2} &= 0,5(U_{k(1-2)} + U_{k(2-3)} / \alpha - U_{k(1-3)} / \alpha) \\
U'_{k3} &= 0,5(U_{k(1-3)} / \alpha + U_{k(2-3)} / \alpha - U_{k(1-2)})
\end{aligned}$$

İKİNCİ B A P

ELEKTROENERGİYA GEÇİRİLİŞİNDE ESASY NUKDAÝ NAZARLAR

§2-1 Elektrik setiniň iş durkuny kesgitleýji esasy deňlemeler

Set boýunça elektrik energiýa berilmegi simde hem onuň üst böleginde elektromehnit meýdanynyň örän ýokary tizlikde ýaýramagy bilen şertlendirilýär. Üýtgeýän tok potensialy sete çatylanda üýtgeýän elektromagnet meýdany simi gurşap alýar, üýtgewli elektro statik meýdan faza simleriniň arasynda hem-de faza simleri bilen ýeriň arasynda ýüze çykýar. Şu aýdylanlaryň şertli şekili 2-1-1-nji çyzgyda görkezilendir.



2-1-1-nji çyzgy.

Üýtgewli elektrostatik meýdanyň döremegi süýşme tok döredýär, onuň ululygy simiň daşyny gurşap alan howa şertine (dielektrik häsiýetine) hem-de ýer bilen faza sim arasynda

potensial tapawuda bagly bolýar. Üç fazaly liniýalarda faza simleriniň arasynda hem süýşme tok ýüze çykýar.

Bu toklaryň adyna zarýad beriji toklar diýip atlandyrylar. Zarýad toklary ýük toklary bilen goşulşyp, liniýada tok ululygynyň üýtgewini döredýär. Liniýanyň togundan dörän elektromagnit meýdany liniýa ugry boýunça üýtgemek bilen üýtgeýän magnit dartgynlygyny ýüze çykarýar.

Bu ýagdaý simde öz-özünden hem-de özara induktirlenen elektrik hereketlendiriji (e.h.g.) güýjiň döremegine getirýär. Setiň ugrunda deň bolmadyk ululykdaky e.h.g. potensialyň liniýa boýunça çylşyrymly üýtgewli kanunyny ýüze çykarýar.

Setiň gysgajyk aralygyndaky ($d\ell$) elementiň çäginde potensial bilen toguň gatnaşygy iki sany bölekleyin differensial deňleme bilen kesgitleniler :

$$-\frac{\partial u}{\partial t} = ir_0 + L_0 \frac{\partial i}{\partial t} ; \quad (2.1.1.)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial t} = ug_0 + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.1.2.)$$

(2.1.1) we (2.1.2.) deňlemeler liniýada geçiş hem-de durnukly iş durkuny häsiýetlendirip biler. Napryaženiýeniň we toguň täsir edýän bahalaryny kompleks san görnüşde belgilesek. Onda ol liniýanyň başlangyjyndan X aralykda $\underline{U} = \underline{U}(x)$ we $\underline{I} = \underline{I}(x)$ bolarlar. Liniýa sinusoidal potensial çatsak \underline{U}_1 , onda (2.1.1) we (2.2.2.) durnukly ýagdaý üçin

$$-\frac{d\underline{U}}{d\ell} = (r_0 + j\omega L_0)\underline{I} = \underline{Z}_0 \underline{I} ; \quad (2.1.3.)$$

$$-\frac{d\underline{I}}{d\ell} = (g_0 + j\omega C_0)\underline{U} = \underline{Y}_0 \underline{U} ; \quad (2.1.4.)$$

Napryáženiýeniň hem-de toguň kompleks bahalarynyň wagta bagly dăldigini göz öňünde tutup, (2.1.1.) we (2.1.2.) görnüşden (2.1.3.) we (2.1.4.) görnüşe geçildi.

Indi napryáženiýeniň we toguň liniýa boýunça üýtgewini häsiýetlendirýän

2-nji derejeli differensial deňlemäni ýazyp bileris :

$$\frac{d^2 \underline{U}}{d\ell^2} = -\underline{Z}_0 \frac{d\underline{I}}{d\ell} = \underline{Z}_0 \underline{Y}_0 \underline{U}; \quad (2.1.5.)$$

$$\frac{d^2 \underline{I}}{d\ell^2} = -\underline{Y}_0 \frac{d\underline{U}}{d\ell} = \underline{Z}_0 \underline{Y}_0 \underline{I}; \quad (2.1.6.)$$

Differensial deňlemäniň häsiýetlendiriji görnüşi

$$\underline{K}^2 - \underline{Z}_0 \underline{Y}_0 = 0$$

Bu deňlemäniň kökleri aşakdaky ýaly bolar

$$\underline{K}_1 = -\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \quad we \quad \underline{K}_2 = \sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0}$$

Şeýlelikde, (2.1.5.) differensial deňlemäniň çözgüdi

$$\underline{U} = \underline{A}_1 \ell^{-\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \cdot \ell} + \underline{A}_2 \cdot \ell^{\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \cdot \ell} \quad (2.1.7.)$$

Indi tok üçin hem (2.1.7.) deňlemä kybapdaş deňleme alarys.

$$\underline{I} = \frac{1}{\underline{Z}_0} \cdot \frac{d\underline{U}}{d\ell} = \frac{\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0}}{\underline{Z}_0} \left(\underline{A}_1 \ell^{-\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \cdot \ell} - \underline{A}_2 \ell^{\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \cdot \ell} \right) ;$$

ýa-da

$$\underline{I} + \frac{1}{\underline{Z}_c} \left(\underline{A}_1 \cdot \ell^{-\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \cdot \ell} - \underline{A}_2 \cdot \ell^{\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} \cdot \ell} \right) \quad (2.1.8.)$$

$$\text{bu ýerde} \quad \underline{Z}_c = \frac{\underline{Z}_0}{\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Y}_0}}$$

(2.1.7.) we (2.1.8.) aňlatmalara başlangyç şertlerde kesgitlenýän, üýtgeşsiz koeffisiýentler girýärler :

$$\underline{A}_1 = |\underline{A}_1| \langle \Psi_{A1} \rangle, \quad \underline{A}_2 = |\underline{A}_2| \langle \Psi_{A2} \rangle ;$$

Ýaýraw koeffisiýenti

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} = \beta + j\alpha ;$$

tolkun garşylygy

$$\underline{Z}_c = Z_c \langle -\xi \rangle$$

bu ýerde ξ – faza burçy, kä halatda ξ_c ýaly bellenilýär.

Eger bu kompleks koeffisiýentleri algebraik görnüşde getirsek, onda (2.1.7.) we (2.1.8.) aňlatmalary aşakdaky görnüşde ýazyp bileris

$$\underline{U} = |\underline{A}_1| \ell^{-\beta \ell} \ell^{j(\Psi_{A1} - \alpha \ell)} + |\underline{A}_2| \ell^{\beta \ell} \ell^{j(\Psi_{A2} + \alpha \ell)} ;$$

$$\underline{I} = \frac{1}{Z_c} (|\underline{A}_1| \ell^{-\beta 1} \ell^{j(\Psi_{A1} - \alpha \ell + \xi)})$$

bu ýerde : \underline{U} we \underline{I} sinhron aýlanan oka
şöhlelendirsek, onda olaryň pursat
bahalaryny alarys.

$$u = \sqrt{2}|A_1|e^{-\beta\ell} \sin(\omega t + \Psi_{A1} - \alpha\ell) + \sqrt{2}|A_2|e^{\beta\ell} \sin(\omega t + \Psi_{A2} + \alpha\ell); \quad (2.1.9.)$$

$$i = \frac{\sqrt{2}}{Z_c} [|A_1|e^{-\alpha\ell} \sin(\omega t + \Psi_{A1} - \alpha\ell + \xi) - |A_2|e^{\beta\ell} \sin(\omega t + \Psi_{A2} + \alpha\ell + \xi)] \quad (2.1.10.)$$

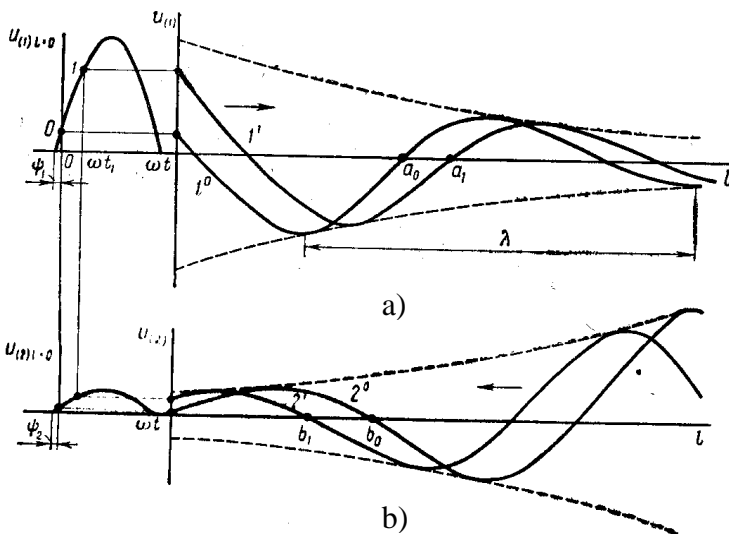
(2.1.5.) we (2.1.6.) differensial deňlemeleriň tapylan çözügüdi görnüşinde görä, liniýanyň islendik nokadynda naprýaženiýe we tok biri birine garşylyklaýyn hereket edýän iki tolkunynyň netijesi hökmünde garalsa düşünje dogry bolar. Şu ýadaýa (2.1.9.) deňlemä esaslanyp getirilen çyzgy garap, dürli pursatlar üçin gurylan çyzgydan aňsa bolar.

2-1-2-nji çyzgyda naprýaženiýeniň iki goşulujysynyň liniýa ugry boýunça üýtgewi getirilendir. 2-1-2-nji ,a çyzgyda birinji goşulujy

$$u_{(1)} = \sqrt{2}|A_1|e^{-\beta_1} \sin(\omega t + \Psi_{A1} - \alpha\ell) ,$$

2-1-2-nji, b çyzgyda ikinji goşulujynyň üýtgewi getirilendir

$$u_{(2)} = \sqrt{2}|A_2|e^{-\beta_1} \sin(\omega t + \Psi_{A2} - \alpha\ell) ,$$



2-1-2-nji çyzgy.

Üýtgeýän naprýaženiýäniň göşulyjylarynyň ikisiniň hem liniýanyň başyndaky ýarym period ýagdaýy 2-1-2-nji çyzgynyň çep tarapynda görkezilendir. Aňlatmada Ψ_{A1} we Ψ_{A2} \underline{A}_1 we \underline{A}_2 kompleks sanlaryň argumentleridir.

2-1-2-nji cyzgyda 1^0 we 2^0 egriler naprýaženiýeniň göşulyjylarynyň $t=0$ pursatyndaky bölünşigini häsiýetlendirseler $1'$ we $2'$ egriler şol bölünşiğiň indiki bir $t=t_1$ pursatdakysyny häsiýetlendirýärler. 1^0 we 2^0 egrileriň üstünde erkin ýatan (a_0 we b_0) nokatlary bellesek, onda şol bir fazadaky yrgyldyda $1'$ we $2'$ egrilerde (a_1 we b_1) nokatlary taparys, şonuň netijesinde bolsa 2-1-2-nji, a çyzgyda $1'$ egr 1^0 egrä garanyňda sag tarapa ýagny, liniýanyň ahyryna tarap süýşýär, şol bir wagtyň özünde bolsa $2'$ egr 2^0 egrä garanyňda çep tarap ýagny, liniýanyň başlangyjyna tarap süýşýär.

2-1-2-nji , a çyzgydan görüşimiz ýaly, tolkunynyň faza üýtgeşsizligi

$$\omega t + \Psi_{A1} - \alpha \ell = \text{const}$$

häsiýetlendirýär,

2-1-2-nji , b häsiýetnamada bolsa faza dynuklylygy

$$\omega t + \Psi_{A2} + \alpha \ell = \text{const}$$

häsiýetlendirýär.

Birinji aňlatmadan

$$\frac{d\ell}{dt} = \frac{\omega}{\alpha}, \quad (2.1.11.)$$

Ikinji aňlatmadan

$$\frac{dl}{dt} = -\frac{\omega}{\alpha}; \quad (2.1.12.)$$

(2.1.11.) we (2.1.12.) aňlatmalaryň tassyklaýyşlary ýaly iki tolkun bir-birine garşy hereket edýärler we olaryň tizlikleri absolýut ululyklary boýunça deňdirler. (2.1.10.)

aňlatmadan görnüşi ýoly ýokardaky netijäni tok akymy üçin hem ulanarlykdyr. Liniýanyň başyndan ahyryna hereketdäki naprýaženiýe hem tok tolkunlaryna göni tolkunlar; ahyryndan liniýanyň başlangyjyna tarap hereketdäki tolkunlara ters tolkunlar diýip atlandyrylar.

(2.1.9.) we (2.1.10) deňlemelerde j toguň ýa-da naprýaženiýäniň liniýanyň berlen uzynlygynda bir tolkunynyň üýtgewini häsiýtlendirýär, şu ýerde β – peselme koeffisiýenti, ulukyk üýtgewini häsiýtlendirse, α – faza koeffisiýenti, faza üýtgewini häsiýtlendirýär. Naprýaženiýe ýa-da tok özleriniň iki tolkunynyň üstüste düşmegi bilen kesgitlenilýär, şonuň üçin olaryň ululyk hem faza üýtgewleri βl we αl ululyklar bilen kesgitlenip bilinmez.

Hasaplamalaryň görkezişi ýaly howa liniýalarynda $f=50$ Gs ýygylykda faza koeffisiýenti $\alpha \approx 0,06 \frac{\text{grad}}{\text{km}}$. Şu ululyk boýunça-da göni we ters tolkunlaryň uzynlygyny kesgitlemek bolar.

2-1-2-nji çyzgy esasynda togyň we naprýaženiýeniň süýşme aralygy tolkunýň uzynlygy bilen öşčenende (α), oňa gerek bolan wagt $t_\lambda = \frac{360^\circ}{\omega}$, ýagny, şu wagt göni ýa-da ters tolkunýň bir periodyna degişlidir, onda

$$\lambda = \frac{dl}{dt} \cdot t_\lambda = \frac{\omega}{\alpha} \cdot \frac{360}{\omega} = 6000 \text{ km}$$

(2.1.7.) we (2.1.8.) deňlemeleri liniýanyň haýsam bolsa bir nokadyna degişli edip umumy görnüşde ýazsak.

$$\underline{U} = \underline{U}_{(1)} + \underline{U}_{(2)} ;$$

$$\underline{I} = \underline{I}_{(1)} - \underline{I}_{(2)} = \frac{1}{\underline{Z}_c} (\underline{U}_{(1)} - \underline{U}_{(2)}) ,$$

tolkun garşylygyny alarys

$$\underline{Z}_c = \frac{\underline{U}_{(1)} - \underline{U}_{(2)}}{\underline{I}} \quad (2.1.13.)$$

(2.1.13) aňlatmadan gelip çykýar haçanda $\underline{U}_{(2)} = \underline{I}_{(2)} = 0$

$$\underline{Z}_c = \frac{\underline{U}_{(1)}}{\underline{I}_{(1)}}$$

hacanda $\underline{U}_{(1)} = \underline{I}_{(1)} = 0$

$$\underline{Z}_c = \frac{\underline{U}_{(2)}}{\underline{I}_{(2)}}$$

Alnan aňlatmalar tolkun garşylygyny \underline{Z}_c kesgitlemäge mümkinçilik berýär we onuň özine bolsa, liniýanyň islendik nokadynda naprýaženiýe bilen tok arasynda proporsionallyk koeffisiýenti hökmünde garalýar. Haýsam bolsa bir ugur tolkun üçin proposional gatnaşykda bolýar, ýöne, beýleki tolkun ýök diýip hasap edilýar. Tolkun garşylygy göni ýa-da ters tolkunlara deň gatnaşykda bolýar.

Umuman liniýanyň iş şertine seljerme berilende göni ýa-da ters tolkunlara bölmezden, olaryň özara netijeleýji ululygynda baha bermek bilen çäklenmek ýeterlik bolýar. Şeýle çemeleşilende, ilki ahyrky çäklendirmeler şerte görä \underline{A}_1 we \underline{A}_2 koeffisiýentleri kesgitläp, soňra (2.1.7.) we (2.1.8.) aňlatmalary özgerdip, uzyn liniýanyň deňlemesi adyny alan deňleme alynýar :

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cosh \underline{\gamma} \ell + \sqrt{3} \underline{I}_2 \underline{Z}_c \sinh \underline{\gamma} \ell; \quad (2.1.14.)$$

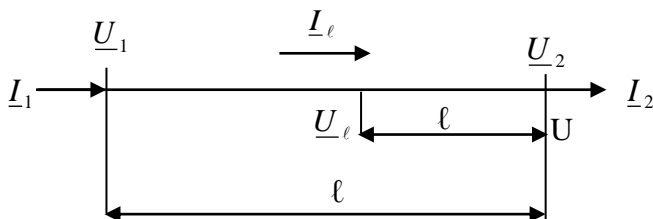
$$\underline{I}_\ell = \underline{I}_2 \cosh \underline{\gamma} \ell + \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \sinh \underline{\gamma} \ell \quad (2.1.15.)$$

bu ýerde: \underline{U}_ℓ we \underline{I}_ℓ - deňişlilikde liniýa naprýaženiýesi we faza togy, ýagny, liniýanyň ahyryndan ℓ uzaklykdaky nokatda (2-1-3-nji çyzgy);
 \underline{U}_2 we \underline{I}_2 - liniýanyň ahyryndaky naprýaženiýe we tok.

Liniýa başlangyjy üçin (2.1.14.) we (2.1.15.) aňlatmalardan :

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \operatorname{ch} \gamma \ell_0 + \sqrt{3} \underline{I}_2 \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma \ell_0 ; \quad (2.1.16.)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \operatorname{ch} \gamma \ell_0 + \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} \underline{Z}_c} \operatorname{sh} \gamma \ell_0 \quad (2.1.17.)$$

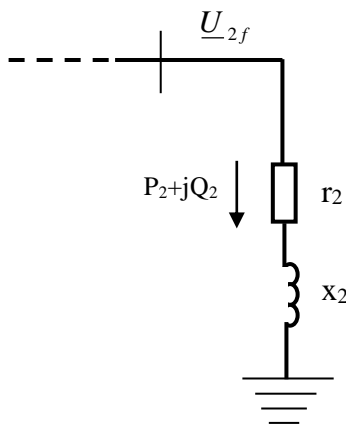


2-1-3-nji çyzgy.

(2.1.14.) we (2.1.15.) aňlatmalardan daşgary gözlenýän ululyklary liniýadan akyp geçýän aktiw reaktiw kuwwatlyklar bilen özara baglanyşdyrýan aňlatma peýdalanmak maksada laýyk bolýar. Şeýle aňlatmanyň netijesini çykarmak üçin liniýanyň ahyryna \underline{U}_2 naprýaženiýeli şina garşylygy \underline{Z}_2 induktiw häsiýetli ýük çalyňan diýip çaklaýarys (2-1-1-nji çyzgy). Onda, göz önünde tutulan şertlere görä.

$$\underline{S}_2 = P_2 - jQ_2 = \sqrt{3}\underline{U}_2 \hat{I}_2 ,$$

$$bu \quad ýerden \quad \underline{I}_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{\sqrt{3}\hat{U}_2}$$



2-1-4-nji çyzgy.

Ahyrky aňlatmany (2.1.14.) we (2.1.15.) aňlatmalara goýup, taparys.

$$\underline{U}_\ell = -_2 \left[ch\gamma\ell + (P_2 - jQ_2) \frac{\underline{Z}_c}{U_2^2} sh\gamma\ell \right] \quad (2.1.18.)$$

$$\underline{I}_\ell = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}\underline{Z}_c} \left[(P_2 - jQ_2) \frac{\underline{Z}_c}{U_2^2} ch\gamma\ell - sh\gamma\ell \right] \quad (2.1.19.)$$

Eger liniýa häsiýetnamasyna seljerme berenimizde aktiw garşylyga we geçirijilige üns bermesek, onda ýokarda alnan aňlatmalary has-da ýönekeýleşdirmek bolar. Şu ýagdaýda $\underline{\gamma} = j\alpha$, şonuň ýaly-da

$$\underline{sh}\underline{\gamma}\ell = \underline{shj}\alpha\ell = j \sin \alpha\ell \quad \text{we} \quad \underline{ch}\underline{\gamma}\ell = \underline{chj}\ell = \cos \alpha\ell$$

Onda, bu ýagdaýda (2.1.14.) we (2.1.15.) aňlatmalardan

$$\underline{U}_\ell = \underline{U}_2 \cos \alpha\ell + j\sqrt{3}\underline{I}_2 Z_c \sin \alpha\ell ; \quad (2.1.20.)$$

$$\underline{I}_\ell = \underline{I}_2 \cos \alpha\ell + j \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}Z_c} \sin \alpha\ell ; \quad (2.1.21.)$$

(2.1.18.) we (2.1.19.) aňlatmalardan

$$\underline{U}_\ell = \underline{U}_2 (\cos \alpha\ell + Q_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \sin \alpha\ell + jP_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \sin \alpha\ell) ; \quad (2.1.22.)$$

$$\underline{I}_\ell = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}I_c} \left[P_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \cos \alpha\ell + j(\sin \alpha\ell - Q_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \cos \alpha\ell) \right] \quad (2.1.23.)$$

Köplenç ýagdaýlarda liniýa boýunça berilýän kuwwaty natural kuwwat gatnaşygynda aňlatmak oňaýly bolar.

$$P_{nat} = P_c = \frac{U_2^2}{Z_c}, \quad \text{ýa} - da \quad P_c = \frac{U_{nom}^2}{Z_c}$$

haçanda $U_2 + U_{nom}$

bu ýerde: U_{nom} – nominal naprýaženiýe.

\underline{U}_2 naprýaženiýe okyň položitel ugry boýunça ugrukdyrylsa $\underline{U}_2 = U_2$ bolar we bellik kabul edip.

$$P_{*2} = \frac{P_2}{P_{nat}} \quad \text{we} \quad Q_{*2} = \frac{Q_2}{P_{nat}} ,$$

soňra alarys

$$\underline{U}_\ell = U_2 (\cos \alpha\ell + Q_{*2} \sin \alpha\ell + jP_{*2} \sin \alpha\ell); \quad (2.1.24.)$$

§ 2-2 Elektrik setiň liniýasynyň oruntutma sudury we wektor diagrammasy

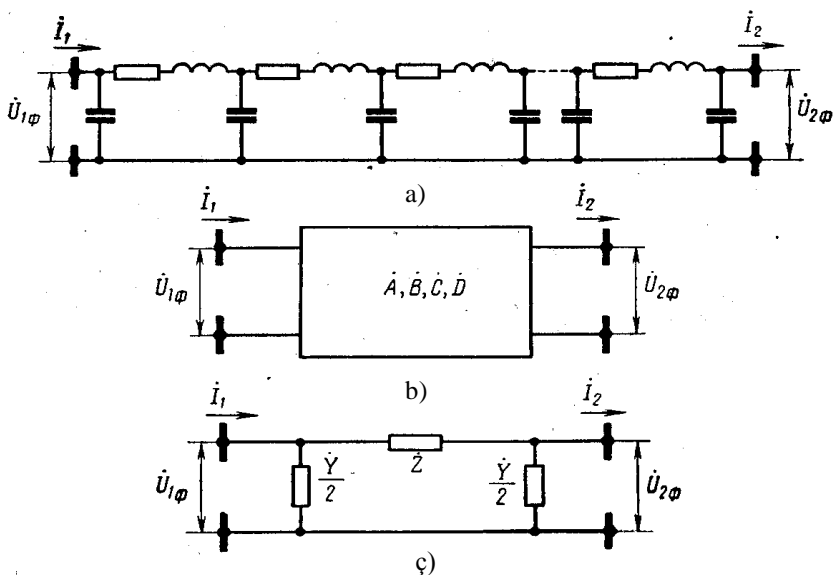
Elektrik setiniň iş durkunyň deňlemeleri liniýanyň oruntutma suduryňy düzmäge mümkinçilik berýär, şeýle edilende setdäki elementleriň sany azalýar we hakyky setiň hasap modeline öwrülýär. Oruntutma sudurda parametrlar laýyk alynanda iş durkuny hasap netijesi suduryň girişdäki we çykyşdaky ululyklary §2-1-de getirilen aňlatmalar esasynda kesgitlenen liniýanyň başlangyjynyň we ahyrynyň netijeleri bilen gabat gelýärler.

2-2-5-nji, a çyzgyda liniýanyň deňölçegli ýaýrawy parametrli prinsipial sudury faza üçin getirilen, görnüşine görä liniýanyň her fazasy dört polýuslyk şekile eýe bolar. Şeýle liniýanyň başlangyjynyň iş durky ahyry üçin berlen parametrlere baglylykda (2.1.17) deňlemeler esasynda häsiýetlendirilýär.

Şol bir wagtyň özünde bolsa, liniýa dörtpoluslyk, onuň üçin çesmesiz (passiw) dörtpolýuslyk deňlemeleri mahsusdyr.

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \sqrt{3}\underline{B} \cdot \underline{I}_2 ; \quad (2.2.1.)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C} \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} + \underline{D}\underline{I}_2 \quad (2.2.2.)$$



2-2-1-nji çyzgy.

(2.1.16) we (2.2.1.) deňeşdirilende, ýene-de (2.1.17.) we (2.2.1.) deňeşdirilende

$$\underline{A} = \underline{D} = ch\underline{\gamma}\ell_0 \quad (2.2.3.)$$

$$\underline{B} = \underline{Z}_c sh\underline{\gamma}\ell_0 \quad (2.2.4.)$$

$$\underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_c sh\underline{\gamma}\ell_0} \quad (2.2.5.)$$

Şeýlelik bilen liniýany hasap modeli bilen häsiýetlendirilip biliner (2-2-1-nji, çyzgy), onuň parametrleri kompleks konstantalar $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}$ we \underline{D} hakyky liniýanyň parametrleri bilen (2.2.3.), (2.2.5.) gatnaşyklarda bagly.

Hasap modeliniň oňaýlysy Π – görnüşindäki oruntutma sudurydyr (2-2-1,b çyzgy). Onuň parametri bilen liniýanyň

parametriniň özara baglanyşygyny tapmak üçin liniýanyň gysga birleşme we boş işiniň deňlemelerini oruntutma suduryň deňlemeleri bilen deňeşdirmeli. Gysga birleşmede ($U_{2f} = 0$), onda (2.1.16.) aňlatmadan

$$\underline{U}_{1k.3} = \sqrt{3} \underline{I}_{2k.3} \underline{Z}_c sh \underline{\gamma \ell}_0 ; \quad (2.2.6.)$$

2-2-1-nji, ç çyzgynyň sudury üçin

$$\underline{U}_{1k.3} = \sqrt{3} \underline{I}_{2k.3} \cdot \underline{Z} \quad (2.2.7.)$$

(2.2.6.) we (2.2.7.) aňlatmalaryň sag taraplarynyň deňliginden

$$\underline{Z} = \underline{Z}_c sh \underline{\gamma \ell}_0 \quad (2.2.8.)$$

Liniýanyň boş işinde ($\underline{I}_2 = 0$) (2.1.16.) aňlatma esasynda

$$\underline{U}_{1x.x} = \underline{U}_{2x.x} ch \underline{\gamma \ell}_0 ,$$

Şol bir wagtda bolsa Π – görnüşli oruntutma sudurda

$$\underline{U}_{1x.x} = \underline{U}_{2x.x} + \sqrt{3} \underline{I}''_{2x.x} \cdot \underline{Z} = \underline{U}_{2x.x} \left(1 + \frac{\underline{Z} \underline{Y}}{2}\right)$$

onda (2.2.8.) aňlatmany göz önünde tutşak

$$\underline{Y} = 2 \frac{ch \underline{\gamma \ell}_0 - 1}{\underline{Z}_c sh \underline{\gamma \ell}_0} = \frac{2}{\underline{Z}_c} tg \frac{\underline{\gamma \ell}_0}{2} \quad (2.2.9.)$$

(2.2.6.) we (2.2.9.) aňlatmalar oruntutma suduryň parametrlerini liniýanyň uzynlygyna hem-de $\underline{\gamma}$ koeffisiýente

baglylykda göniden-göni kesgitleýärler. Öz gezeginde $\underline{\gamma}$ liniýanyň parametleri bilen gönüden-göni bagly.

Iş ýüzünde hasap geçirmek üçin liniýanyň parametrleri bilen onuň oruntutma sudurynyň parametrleriniň gös-göni baglanşygyny üpjün edýän aňlatma alynsa has-da amatly bolýar. Çaklalyň, şeýle baglanşyk aňlatmalarda berilýär :

$$\underline{Z} = \underline{Z}_0 \ell_0 \cdot \underline{K}_z ; \quad (2.2.10.)$$

$$\underline{Y} = \underline{Y}_0 \ell_0 \cdot \underline{K}_y, \quad (2.2.11.)$$

bu ýerde : \underline{K}_z we \underline{K}_y - haýsam bolsa kompleks koeffisiýentler.

(2.2.8.) we (2.2.9.) aňlatmalary göz önünde tutsak, onda

$$\underline{K}_z = \frac{\underline{Z}_c sh \underline{\gamma} \ell_0}{\underline{Z}_0 \cdot \ell_0} = \frac{sh \underline{\gamma} \cdot \ell_0}{\underline{\gamma} \ell_0} = \frac{sh \sqrt{\underline{Z}_\wedge \cdot \underline{Y}_\wedge}}{\sqrt{\underline{Z}_\wedge \cdot \underline{Y}_\wedge}} ; \quad (2.2.12.)$$

$$\underline{K}_y = \frac{2th \frac{\underline{\gamma} \ell_0}{2}}{\sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0 \cdot \ell_0}} = \frac{2th \underline{\gamma} \cdot \ell_0 / 2}{\underline{\gamma} \cdot \ell_0} = \frac{2th \frac{1}{2} \sqrt{\underline{Z}_\wedge \cdot \underline{Y}_\wedge}}{\sqrt{\underline{Z}_\wedge \underline{Y}_\wedge}} , \quad (2.2.13.)$$

bu ýerde:

$$\sqrt{\underline{Z}_\wedge \underline{Y}_\wedge} = \sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0 \cdot \ell_0}$$

Giperbolik funksiýaly aňlatmalary tükeniksiz hatar bilen çalşysak, onda (2.2.12.) we (2.2.13.) aňlatmalardan

$$\underline{K}_z = 1 + \frac{(\underline{\gamma} \ell_0)^2 6}{120} + \frac{(\underline{\gamma} \ell_0)^4}{120} + \dots ;$$

$$\underline{K}_y = 1 - \frac{(\underline{\gamma} \ell_0)^2}{12} + \frac{(\underline{\gamma} \ell_0)^4}{120} - \dots$$

\underline{K}_z we \underline{K}_y umuman düzediji koeffisiýent adyny almak bilen birlik sana golaýdyr, eger liniýanyň uzynlygy ℓ_0 uly bolmadyk ýagdaýynda. Liniýanyň uzynlygy artdygyça birlik sandan artýar. Hasaplamalaryň görkezmegine görä liniýanyň uzynlygy 300 km az bolan ýagdaýynda $\underline{K}_z, \underline{K}_y$ birlikden üzňeligi hasap takyklygyna golýar bolýar.

Kabel liniýalarynda $\underline{K}_z, \underline{K}_y$ koeffisiýentleriň birlikden tapawutlanýan ýagdaýyny 50 km artyk bolanda göz önünde tutmaly. Howa liniýalarynyň uzynlygy 300 km geçmeýän bolsa, onda $\underline{K}_z = \underline{K}_y = 1$ diýip alaýmaly. Şonuň üçin II – görnüşli oruntutma sudurynda

$$\underline{Z} = \underline{Z}_0 \cdot \ell \text{ we } \underline{Y} = \underline{Y}_0 \cdot \ell_0$$

Has uzyn liniýalaryň parametrleri kesgitlenende (2.2.8) we (2.2.9.) aňlatmalaryň kömegi bilen tapmaly, ýa-da \underline{K}_z we \underline{K}_y düzediji koeffisiýentleriň kömegi bilen kesgitlemeli.

Liniýanyň uzynlygy 300-den 1000 km çenli bolsa onda düzediji koeffisiýentler üçin özgerdilen (2.2.12.) we (2.2.13.) aňlatmalardan peýdalanmaly :

$$K_r = 1 - \frac{\ell_0^2}{3} x_0 \cdot b_0 ;$$

$$K_x = 1 - \frac{\ell_0^2}{6} (x_0 b_0 - r_0^2 \frac{b_0}{x_0}) ;$$

$$K_c = 0,5 \frac{3 + K_3}{1 + K_r}$$

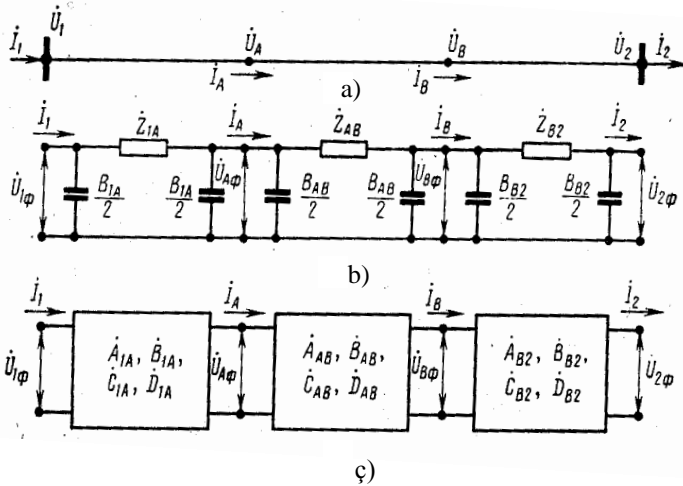
Şu ýagdaýda oruntutma suduryň parametrleri aşakdaký aňlatmalar boýunça kesgitlenýarlar :

$$r = r_0 \cdot \ell_0 \cdot K_r$$

$$x = x_0 \cdot \ell_0 \cdot K_x$$

$$b = b_0 \cdot \ell_0 \cdot K_c$$

Ýokarda oruntutma sudury iş durkunyň diňe girişde hem çykyşda durnuklylygy şertde alnypdy. Şonuň üçin, setiň aralyk nokatlarynyň iş durky toklara we kuwwat ýaýrawyna bagly bolar. Şeýle-de bolsa liniýany birnäçe böleklerе bölüp, her bölegiň öz oruntutma suduryňy alyp iş durkuna guralsa, alynjak netije hakyky ýagdaýa örän golaý netije berer. Şeýle çemelesmäniň hasap sudury 2-2-2-nji çyzgyda getirilendir.



2-2-2-nji çyzgy.

Hasap geçirilende liniýany Π – görnüşli oruntutmada ýa-da dörtpolýusnigiň konstantalary liniýanyň parametrleriniň kömegi bilen ýa-da Π – görnüşli oruntutma suduryň parametrleriniň kömegi bilen aňladylyp biliner. Şeýle

baglanyşyk (2.2.3.), (2.2.5.), (2.2.8.) we (2.2.9.) aňlatmalar birliginden netije alarys, ýagny:

$$\underline{B} = \underline{Z} \quad (2.2.14.)$$

Şeýlelik bilen (2.2.9.) aňlatma laýyklykda

$$\underline{Y} = \frac{2}{\underline{Z}_c r} th \frac{\gamma \ell}{2} = \frac{2(ch \gamma \ell_0 - 1)}{\underline{Z}_c sh \gamma \ell_0},$$

onda (2.2.3.) we (2.2.4.) aňlatmalary göz önünde tutsak

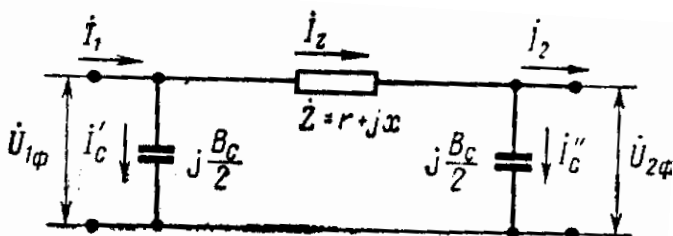
$$\underline{Y} = \frac{2(\underline{A} - 1)}{\underline{B}} = \frac{2(\underline{A} - 1)}{\underline{Z}}, \quad (2.2.15.)$$

$$bu \ ýerden \quad \underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{\underline{ZY}}{2} \quad (2.2.16.)$$

Çeşmesiz dörtpolýuslykda (passiw) $\underline{AD} - \underline{BC} = 1$ we (2.2.14.) we (2.2.15.) aňlatmalardan:

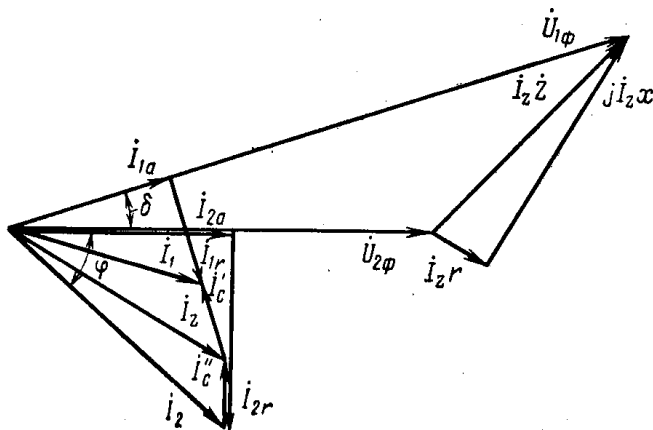
$$\underline{C} = \frac{\underline{AD} - 1}{\underline{B}} = \underline{Y} \left(1 + \frac{\underline{ZY}}{4} \right) \quad (2.2.17.)$$

Garmoniki üýtgewli ululyklaryň özara baglanyşygynyň bardygyny aýdyňdyr, ol baglanyşygy wektor diagrammadan kesgitlese bolar. Induktiv häsiýetli $\underline{I}_2 = I_{ra} - jI_{2r}$ tok liniýanyň ahyrynyň iş durkuny kesgitläp, naprýaženiýe ululygy bolsa $\dot{U}_{2f} = U_{2f} \langle 0$. Şu ýagdaýy häsiýetlendirýän Π – görnüşli oruntutma sudur üçin wektor diagrammany guralyň. Gollardaky tok ýaýrawy 2-2-3-nji çyzgyda görkezilendir.



2-2-3-nji çyzgy.

2-2-4-nji çyzgyda faza naprýaženiýesiniň wektory \underline{U}_{2f} san okunyň ugruna ugrykdyrylandyr, \underline{I}_2 toguň wektory naprýaženiýe wektoryndan φ burç uza süýşýär. Toguň aktiw we reaktiw bölekleri hem getirilen. Toguň aktiň bölegi \underline{I}_{2a} wektory naprýaženiýe wektoryna \underline{I}_2 wektoryň şöhlesidir, reaktiw bölegi \underline{I}_{2r} wektory naprýaženiýe wektoryna perpendikulýar oka \underline{I}_2 wektoryň şöhlesidir. Zarýad beriji \underline{I}_C'' tok (ahyryň zarýad togy) wektory naprýaženiýäni 90° öňürdýär, onuň ýük togy \underline{I}_2 bilen jemligi \underline{I}_z wektory emele getirýär.



2-2-4-nji çyzgy.

II – görnüşli oruntutmada girişdäki \underline{U}_{1f} potensialyň çykyşdakysyndan \underline{U}_{2f} tapawudy \underline{Z} garşylykda potensial çökmesi bilen düşündirilýär. \underline{IZ} iki bölekden durýar, bir bölegi $\underline{Z}_z r$ toguň (\underline{I}_z) ugry bilen gabat gelýär, beýleki bölegi bolsa, j $\underline{I}_z x \underline{I}_z$ wektory 90° öňürdýär, şeýlelikde \underline{U}_{1f} wektoryny kesgitleýäris.

\underline{I}_1 togy tapmak üçin \underline{I}_z togy \underline{I}_c zaryad togy bilen göşýarys.

§ 2-3 Elektrik geçirilişde kuwwatyň aýlaw diagrammasy we onuň burç häsiýetnamalary

Liniýanyň işine seljerme bermek üçin liniýadan geçýän kuwwaty liniýanyň ahyrynda berjaý edilýän napryaženiýäniň ululygyna hem-de fazasyna bagly meseläni aýdyňlaşdyrmak örän wajypdyr.

Liniýanyň başlangyjynyň we ahyrynyň kuwwat ululyklary umumy aňlatmalarda şeýle kesgitlenilýär

$$\underline{S}_1 = \sqrt{3} \underline{U}_1 \hat{\underline{I}}_1 ; \quad (2.3.1.)$$

$$\underline{S}_2 = \sqrt{3} \underline{U}_2 \hat{\underline{I}}_2 ; \quad (2.3.2.)$$

bu ýerde: \underline{U}_1 we \underline{U}_2 berilen ululyklar diýip hasap edilýär.

(2.2.1.) we (2.2.2.) dörtpolýusnikler deňlemesinden \underline{I}_1 we \underline{I}_2 toklar üçin aňlatmalar aşakdakylar ýaly bolar.

$$\underline{I}_2 = \frac{1}{\sqrt{3}\underline{B}}(\underline{U}_1 - \underline{A}\underline{U}_2) ;$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}}\underline{C} + \frac{\underline{D}}{\sqrt{3}\underline{B}}(\underline{U}_1 - \underline{A}\underline{U}_2)$$

$\underline{AD} - \underline{BC} = 1$ bolýanyň göz önünde tutsak, onda ýokarda getirilen soňky aňlatmadan aşakda getirilen aňlatmany alarys :

$$\underline{I} = \frac{1}{\sqrt{3}}(-\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{U}_1) \quad (2.3.3.)$$

Egerde \underline{I}_1 we \underline{I}_2 toklaryň bahasyny (2.3.1.) we (2.3.2.) aňlatmalara goýsak, onda aşakdaky ýaly aňlatmalary alarys :

$$\underline{S}_1 = \underline{U}_1^2 \frac{\hat{\underline{D}}}{\hat{\underline{B}}} - \frac{\underline{U}_1 \hat{\underline{U}}_2}{\hat{\underline{B}}} ; \quad (2.3.4.)$$

$$\underline{S}_2 = \underline{U}_2^2 \frac{\hat{\underline{D}}}{\hat{\underline{B}}} - \frac{\underline{U}_1 \hat{\underline{U}}_2}{\hat{\underline{B}}} \quad (2.3.5.)$$

Dörtpolýusnigiň kompleks konstantalaryna aşakdaky ýaly belgileri kabul edeliň :

$$\underline{A} = |\underline{A}| \langle \Psi_A \rangle ; \quad \underline{B} = |\underline{B}| \langle \Psi_B \rangle ; \quad \underline{D} = |\underline{D}| \langle \Psi_D \rangle ;$$

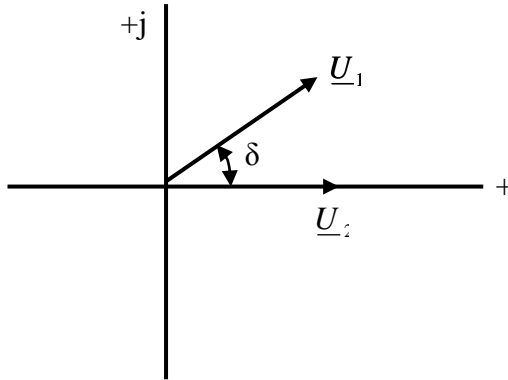
\underline{U}_2 naprýaženiýäniň wektoryny bolsa hakyky okuň položitel ugruna ugrukdyralyň , şonda 2-3-1-nji çyzga laýyklykda

$$\underline{U}_1 = U_1 \langle \delta \quad \text{we} \quad \underline{U}_2 = U_2 \langle 0$$

Şeýlelikde (2.3.4.) we (2.3.5.) aňlatmalar esasynda

$$\underline{S}_1 = U_1^2 \frac{|\underline{D}|}{|\underline{B}|} \langle \Psi_B - \Psi_D - \frac{U_1 \cdot U_2}{|\underline{B}|} \langle \delta + \Psi_B \quad ; \quad (2.3.6.)$$

$$\underline{S}_2 = U_2^2 \frac{|\underline{D}|}{|\underline{B}|} \langle \Psi_B - \Psi_D - \frac{U_1 \cdot U_2}{|\underline{B}|} \langle \delta + \Psi_B \quad ; \quad (2.4.7.)$$



2-3-1-nji çyzgy.

Ýazgyny gysgaltmak üçin

$$\underline{\chi}_1 = U_1^2 \frac{\underline{D}}{\underline{B}} \langle \Psi_B - \Psi_D ;$$

$$\underline{\chi}_1 = U_1^2 \frac{\underline{A}}{\underline{B}} \langle \Psi_B - \Psi_A ;$$

$$\rho = \frac{U_1 U_2}{|\underline{B}|},$$

soňra kuwwat deňlemesi aşakdaky görnüşli alar :

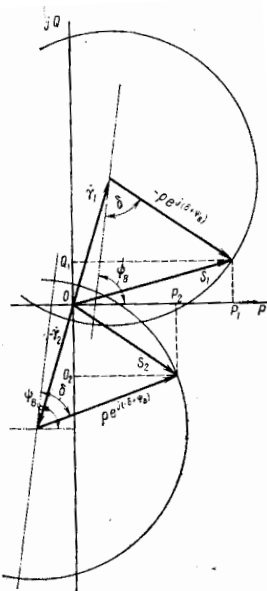
$$\underline{S}_1 = \underline{\gamma}_1 - \rho \langle \delta + \Psi_B ; \quad (2.3.8.)$$

$$\underline{S}_2 = \underline{\gamma}_2 - \rho \langle \delta + \Psi_B ; \quad (2.3.9.)$$

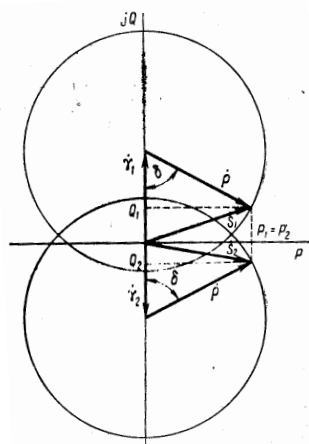
Bu aňlatmalara 2-3-2-nji çyzgy gabat gelýär, adyna bolsa kuwwatyň töwerekleýin diagrammasy diýilýär, sebäbi, her haýsysy ρ – radiusly töwerekdir.

Elektrik setinde liniýa üçin dortpolýusnigiň argument konstanty $\underline{B} = |\underline{B}| \langle \Psi_B$ kompleks tekizliginiň birinji çärýedinfäki bahasy bilen häsiýetlendirilýär [(2.2.14.) aňlatma seret]. $\underline{A} = |\underline{A}| \langle \Psi_A$ we $\underline{D} = |\underline{D}| \langle \Psi_D$ konstant argumentleri liniýa üçin bolmadyk bahalary alýarla, onuň üçin Ψ_B we $\Psi_A = \Psi_D$ burçlar $0 < \Psi_B \Psi_A < 90^\circ$ we şonuň ýaly-da $0 < \Psi_B - \Psi_D < 90^\circ$ [(2.2.16.) aňlatma seret].

Şeýle gatnaşykda bolanlary üçin liniýanyň başlangyjyna degişli diagrammanyň merkezini kesgitleýji $\underline{\gamma}_1$ kompleks tekizliginiň birinji rärýeginde ýerleşýär, liniýanyň ahyryna degişli diagrammanyň merkezini kesgitleýji $\underline{\gamma}_2$ bolsa kompleks tekizliginiň üçnji çärýeginde ýerleşýär. Ýitgisiz ideallaşan liniýada $\Psi_B = 90^\circ$, $\Psi_A - \Psi_D = 0$, şu sebäplere görä diagrammalaryň merkezleri hyýaly ululyklar okunyň üstünde ýerleşýärler (2-3-3 -nji çyzgy).



2-3-2-nji çyzgy.



2-3-3-nji çyzgy.

Töwerekleýin diagrammalaryň merkezleri we radiuslary liniýanyň Π – görnüşli oruntutma suduryňyň parametrleri bilen kesgitlenip biliner hem-de uzyn liniýanyň deňlemesindeki tok bilen naprýazeniýäni baglaşdyrýan koeffisiýentler arkaly kesgitlener. Π – görnüşli sudurdan (2.3.4.) we (2.3.5.) aňlatmalar kömegi bilen alarys :

$$\underline{S}_1 = U_1^2 \left(\frac{1}{\hat{Z}} + \frac{\hat{Y}}{2} \right) - \frac{\underline{U}_1 \hat{U}_2}{\hat{Z}} ; \quad (2.3.10.)$$

$$\underline{S}_2 = U_2^2 \left(\frac{1}{\hat{Z}} + \frac{\hat{Y}}{2} \right) - \frac{\underline{U}_1 \hat{U}_2}{\hat{Z}} ; \quad (2.3.11.)$$

ikinci ýagdaýda, (2.2.8.) we (2.2.9.) aňlatmalary göz önünde tutsak, onda

$$\underline{S}_1 = U_1^2 \frac{\hat{c} \hat{h} \underline{\gamma} \cdot \ell_0}{\hat{Z}_c \hat{S} h \underline{\gamma} \cdot \ell_0} - \frac{\underline{U}_1 \cdot \hat{U}_2}{\hat{Z}_c \hat{S} h \underline{\gamma}_0 \cdot \ell_0} ; \quad (2.3.12.)$$

$$\underline{S}_2 = -U_2^2 \frac{\hat{c} \hat{h} \underline{\gamma} \cdot \ell_0}{\hat{Z}_c \hat{S} h \underline{\gamma} \cdot \ell_0} - \frac{\hat{U}_1 \cdot \underline{U}_2}{\hat{Z}_c \hat{S} h \underline{\gamma}_0 \cdot \ell_0} ; \quad (2.3.13.)$$

Ýitgisiz ideallaşan liniýa üçin (2.3.12.) we (2.3.13.) aňlatmalardan

$$\underline{S}_1 = jU_1^2 \frac{ctg \alpha \ell_0}{Z_c} - j \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_c \sin \ell_0} \cdot e^{j\delta} ; \quad (2.3.14.)$$

$$\underline{S}_2 = -jU_2^2 \frac{ctg \alpha \ell_0}{Z_c} + j \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_c \ell \sin \alpha \ell_0} \cdot e^{-j\delta} ; \quad (2.3.15.)$$

Aktiw we reaktiw kuwwatlyklaryň δ burç bagly üýtgewini töwerekleýin diagrammalaryň parametrlerini kesgitleýji aňlatmalardan peýdalanyp kesgitlep bolar. Şeýle baglanşykly häsiýetnama burç häsiýetnamalry kuwwat diýilýär ýa-da kuwwatyň burç häsiýetnamasy diýilýär. Dogrudanda , (2.3.6.) aňlatmadan :

$$P_1 + Q_1 = U_1^2 [\cos(\Psi_B - \Psi_D) - j \sin(\Psi_B - \Psi_D)] - \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} [\cos(\Psi_B + \delta) + j \sin(\Psi_B + \delta)],$$

Şeýlelikde,

$$P_1 = U_1^2 \frac{|D|}{|B|} \cos(\Psi_B - \Psi_D) - \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} \cos(\Psi_B + \delta);$$

$$Q_1 = U_1^2 \frac{|D|}{|B|} \sin(\Psi_B - \Psi_D) - \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} \sin(\Psi_B + \delta)$$

Alnan aňlatmalar köplenç başga görnüşde ulanýarlar kabul edilşine görä

$$\Psi_B - \Psi_D = 90^\circ - \alpha_{11} \quad we \quad \Psi_B - 90^\circ - \alpha_{12} ;$$

$$P_1 = U_1^2 \frac{|D|}{|B|} \sin \alpha_{11} + \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} \sin(\delta - \varepsilon_{12}); \quad (2.3.16.)$$

$$Q_1 = U_1^2 \frac{|D|}{|B|} \cos \alpha_{11} - \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} \cos(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.3.17.)$$

(2.3.7.) aňlatmadan kybapdaş aňlatmalary alarys :

$$P_2 = -U_2^2 \frac{|A|}{|B|} \sin \alpha_{22} + \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} \sin(\delta + \varepsilon_{12}) \quad (2.3.18.)$$

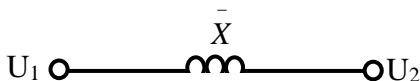
$$Q_2 = -U_2^2 \frac{|A|}{|B|} \cos \alpha_{22} + \frac{U_1 \cdot U_2}{|B|} \cos(\delta + \alpha_{12}) \quad (2.3.19.)$$

bu ýerde: $\alpha_{22} = 90^\circ - \Psi_B + \Psi_A$

(2.3.16.) – (2.3.19) aňlatmalar esasynda gurlan häsiýetnama 2-3-4-nji çyzgyda getirilendir.

Kuwwatyň töwerekleyin diagrammalary hem-de burç häsiýetnamalary liniýanyň dörtpolýusnik şekiline esaslanandyr. Şeýlelikde, diagrammalar we häsiýetnamalar ulgamyň islendik başga bir elementiniň iş durkuny, eger sudurny dörtpolýusnige getirip bolan ýagdaýynda, kesgitläp biler.

Aýdalyň, sudur diňe reaktiw garşylykda düzülen, onda



$$\underline{A} = 1, \underline{B} = jx, \underline{C} = 0, \underline{D} = 1$$

(2.3.16.) – (2.3.19.) aňlatmalary täzeden ýazarys :

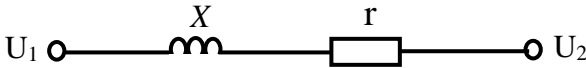
$$P_1 = \frac{U_1 \cdot U_2}{X} \sin \delta \quad (2.3.16, a)$$

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{X} - \frac{U_1 - U_2}{X} \cos \delta; \quad (2.3.18, a)$$

$$P_2 = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta = P_1;$$

$$Q_2 = \frac{U_1 \cdot U_2}{X} \cos \delta - \frac{U_2^2}{X} \quad (2.3.19, a)$$

Eger liniýa doly garşylykda görkezilen bolsa,
 $\underline{Z} = ze^{j\psi}$ onda onuň aňlatmasy bolar :



$$\underline{A} = 1, \underline{B} = \underline{Z} = ze^{j\psi} = r + jx, \underline{C} = 0, \underline{D} = 1$$

$$P_1 = \frac{U^2}{z} \sin \alpha + \frac{U_1 \cdot U_2}{z} \sin(\delta - \alpha); \quad (2.3.16, b)$$

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{z} \cos \alpha - \frac{U_1 - U_2}{z} \cos(\delta - 1); \quad (2.3.17, b)$$

$$P_2 = \frac{U_1 \cdot U_2}{z} \sin(\delta + \alpha) - \frac{U_2^2}{z} \sin \alpha; \quad (2.3.18, b)$$

$$Q_2 = \frac{U_1 \cdot U_2}{z} \cos(\delta + \alpha) - \frac{U_2^2}{z} \cos \alpha, \quad (2.3.19, b)$$

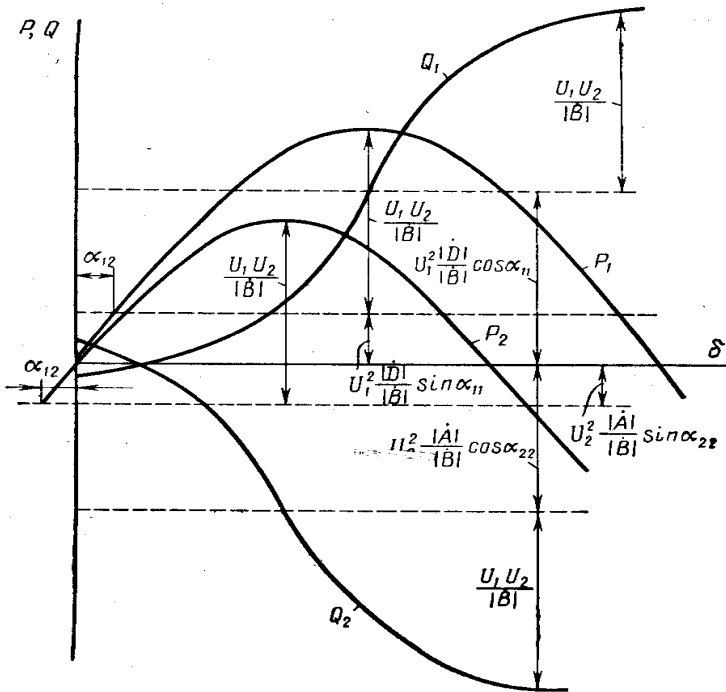
bu ýerde: $\alpha = 90^\circ - \Psi$

Eger belläp geçsek, ýagny, (2.3.16,a) – (2.3.19,a) aňlatmalary öň getirilen

2-2-4-nji çyzgydan aňsat alyp bolar we ondan başga-da şol diagramma meňzeş, ýöne esli ýönekeýleşdirilen 2-3-4-nji çyzgydan aşakda getirilen aňlatmalary alarys ($r = 0$) :

$$I_{2a}x = U_1 \sin \delta, \quad \text{ýa-da} \quad I_{2a} = \frac{U_{1f} \cdot \sin \delta}{X};$$

$$P_2 = 3I_{2a}U_{2f}, \quad \text{ýa-da} \quad P_2 = \frac{3U_{1f}U_{2f} \cdot \sin \delta}{X} = \frac{U_1 \cdot U_2 \sin \delta}{X}$$



2-3-4-nji çyzgy.

Bu ýerden düşnükli, ýagny

$$U_{1f} \cos \delta = U_{2f} + I_{2r} X ,$$

onda

$$I_{2r} = \frac{U_{1f} \cos \delta - U_{2f}}{X} ;$$

$$Q_2 = 3U_{2f} \cdot I_{2r} , \quad \text{ýa} - \text{da}$$

$$Q_2 = \frac{U_1 - U_2}{X} \cos \delta - \frac{U_2^2}{X}$$

Başlangyç üçin getirilen aňlatmalara kybapdaş aňlatmalary alarys.

$P_1 = 3U_{1f} \cdot I_{1a}$, ýöne $I_{1a} \ddot{a} + U_{2f} \sin \delta$ şonuň üçin bolsa

$$i_{1a} = \frac{U_{2f} \cdot \sin \delta}{X} ;$$

$$P_1 = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta$$

Soňra $U_{2f} \cos \delta = U_{1f} - I_{1f} \cdot X$, şeýlelikde

$$I_{1r} = \frac{U_{1f} - U_{2f} \cos \delta}{x} ;$$

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{X} - \frac{U_1 \cdot U_2}{X} \cos \delta$$

Alynan aňlatmalardan hem-de 2-2-4-nji çyzgydan görnüşi ýaly aktiw kuwwat induktiw garşylygyň üstünden geçirilende liniýanyň başlangyjyndaky naprýaženiýe bilen ahyryndaky naprýaženiýe arasynda δ burç süýşmesi bolup geçýär.

2-2-4-nji çyzgydan görnüşi ýaly, liniýadan berilýän kuwwat möçberi liniýanyň ahyrlaryň naprýaženiýeleriniň ululyk hem-de faza tapawudyna baglydyr.

Ü Ç Ü N J I B A P

TOK GEÇİRİJİ SİMLERİ SAYLAP ALMAGYŇ ESASLARY

§ 3-1 İki simli liniýa

Potensial ýitgisini kesgitlemek we geçiriji simi saylap almak

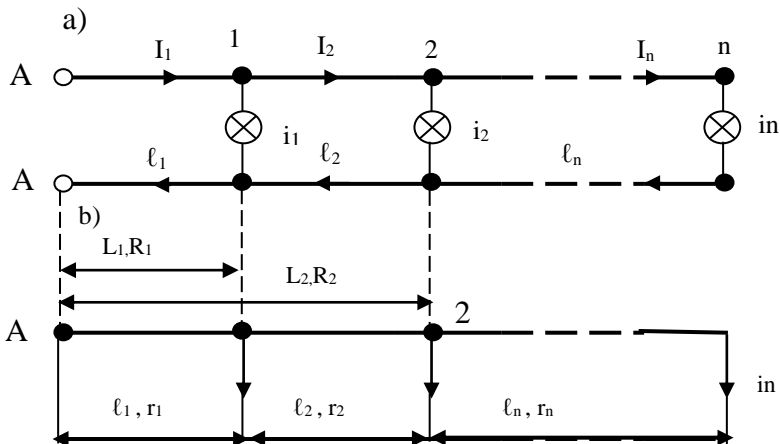
Bu meseläni hemişelik toguň we 1 fazaly üýtgeýän toguň liniýalaryna deňişlilikde gararys.

3-1-1-nji, a çyzgyda şu garaljak meselä deňişli liniýanyň umumy sudury getirilen.

Potensialy U bolan çeşmeden (A we A' - nokatlary) ýükleri $i_1, i_2, i_3 \dots i_n$ bolan liniýa iýmitleňýär. Ýükleriň aralyklary deňişlilikde $l_1, l_2 \dots l_n$ we liniýanyň her aralygyndan akýan toklar $I_1, I_2 \dots I_n$.

Şu liniýanyň yönekeyleşdirilen sudury bolsa 3-1-1-nji, b çyzgyda getirilendir.

3-1-1, a çyzgyda görnüşi ýaly tok ilki A nokatdan n nokada, soňra bolsa n nokatdan A' nokada tarap akýar.



3-1-1-nji çyzgy. İki simli liniýa.

Doly potensial çökwüw aralyklardaky potensial çökwüleriniň jemine deň bolar.

$\Delta U = U_A - U_n = 2(I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + \dots + I_n r_n)$
ýa-da

$$\Delta U = 2 \sum_{i=1}^n I_i r_i \quad (3.1.1.)$$

Köplenç halatlarda elektrik ýükleri berilýär, liniýa toklary näbelli bolup galýar ($I_1, I_2 \dots I_n$). Şeýle halda her düwün üçin. Kirgofyň kanunyny ulanmak bilen we liniýa toklaryny bolsa ýük toklary bilen alarys :

$$\begin{aligned} I_n &= i_n ; \quad I_{n-1} = i_n + i_{n-1} ; \quad I_{n-2} = I_n + i_{n-1} + i_{n-2} ; \\ I_2 &= i_2 + i_3 + \dots + i_n ; \quad I_1 = i_1 + i_2 + i_3 \dots + i_n \end{aligned}$$

Bu bahalary (3.1.1.) aňlatma goýup alarys :

$$\begin{aligned} \Delta U &= 2[i_1 + i_2 + \dots + i_n) r_1 + (i_2 + i_3 + \dots + i_n) r_2 + \dots + i_n r_n] = \\ &= 2[i_1 r_1 + i_2(r_1 + r_2) + i_3 (r_1 + r_2 + r_3) + \dots + i_n(r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n)] \end{aligned}$$

we 3-1-1-nji çyzgydaky belgä laýyklykda

$R_1 = r_1 ; R_2 = r_1 + r_2 ; R_3 = r_1 + r_2 + r_3 ; R_n = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$
alarys

$$\Delta U = 2(i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + \dots + i_n R_n)$$

ýa-da

$$\Delta U = 2 \sum_{i=1}^n i_i R_i \quad (3.1.2.)$$

(3.1.1.) ýa-da (3.1.2.) aňlatmalar bilen kesgitlenen potensial ýitgini potensial ýitgisiniň çäklendirilen ululygy bilen deňeşdirip görmeli :

$$\Delta U_d = \frac{U_d}{U_{nom}} \cdot 100\%$$

Bu ýerde aýratyn bellemili zat, eger liniýada aralyklar dürli ýogunlykdaky simler bilen gurnalan bolsa, onda (3.1.1.) aňlatma bilen işlemek oňaýly bolýar.

Eger simiň ýogunlygyny potensial ýitgisi bilen baglamak islegi bolsa, onda (3.1.1.) we (3.1.2.) aňlatmalarda r_i , R_i görnüşini üýtgedip görkezmeli :

$$r_i = \rho \frac{l_i}{F} \text{ we } R_i = \rho \frac{L_i}{F},$$

bu ýerde : l_i - yük aralyklary , km;
 L_i -çeşmeden her yüke çenli bolan aralyklar
 (3-1-1-nji, b çyzgyda seret), km;
 ρ - simiň udel garşylygy,

$$\frac{Om \cdot mm^2}{km}$$

Netijide , (3.1.1.) we (3.1.2.) aňlatmalar täze görnüşe geçer :

$$\Delta U = 2 \frac{\rho}{F} \sum_{i=1}^n I_i l_i \quad (3.1.3.)$$

$$\Delta U = 2 \frac{\rho}{F} \sum_{i=1}^n i_i L_i$$

Liniýanyň hemme ýerinde ýogunlygy bir bolan simi bolan ýagdaýda (3.1.3.) aňlatmalary ulanmak örän amatly bolýar. Alnan potensial ýitgini soňra çäklendirilen potensial ýitgi bilen deňeşdirmeli, eger çäklendirilen potensialdan uly bolmasa alnan simiň kese kesigi doly kanagatlandyrýar. Şeýle ýagdaýda çäklendirilen potensialy ulanaymaly :

$$F = \frac{2 \cdot 100 \rho}{\Delta U_d \% U_{nom}} \sum_{i=1}^n I_i l_i$$

$$F = \frac{2 \cdot 100 \rho}{\Delta U_d \% U_{nom}} \sum_{i=1}^n i_i L_i \quad (3.1.4.)$$

Käbir halatlarda tok bilen işländen kuwwat bilen işlemek oňaly bolýar : goý ýükler berlipdir $p_1 = i_1 U_{nom}$; $p_2 = i_2 U_{nom}$; ...; $p_n = i_n U_{nom}$, liniýadaky kuwwatleklar bolsa deňişlilikde $P_1 = I_1 U_{nom}$; $P_2 = I_2 U_{nom}$; ...; $P_n = I_n U_{nom}$, onda alnan aňlatmalara $i = \frac{p}{U_{nom}}$ we $I = \frac{P}{U_{nom}}$ goýup alarys :

a) potensial ýitgisini kesgitlemek üçin

$$\Delta U = 2 \frac{\rho}{FU_{nom}} \sum_{i=1}^n P_i \ell_i \text{ we } \Delta U = 2 \frac{\rho}{FU_{nom}} \sum_{i=1}^n p_i L_i \quad (3.1.5.)$$

b) simiň ýogunlygyny kesgitlemek üçin

$$F = \frac{2 \cdot 100 \rho}{\Delta U_d \% U_{nom}^2} \sum_{i=1}^n P_i \ell_i \text{ we } F = \frac{2 \cdot 100 \rho}{\Delta U_d \% U_{nom}^2} \sum_{i=1}^n p_i L_i \quad (3.1.6.)$$

Alnan aňlatmalaryň ählisinde ölçegler : toklar - A, ýükler - Wt, potensial - W, uzynlyklar - km , udel garşylyk $\frac{Om \cdot mm^2}{km}$ we ýogynlyk (simiň kese-kesigi) - mm².

Eger udel garşylyk $\frac{Om \cdot mm^2}{m}$ bolsa, onda uzynlyk aralygy [m] metrde almary. Alnan aňlatmalar diňe bir hemişelik toguň liniýalary üçin bolman, eýsem aktiw kuwwatly ýüki bolan ikisimli üýtgeýän toguň liniýalary üçin

hem ulanarlykdyr. Mysal üçin, üç fazaly toguň liniýasyndan bölünip gaýdýan ýşyklandyryjy liniýalar üçin.

§ 3-2 Üç fazaly liniýada potensial ýitginiň hasaby

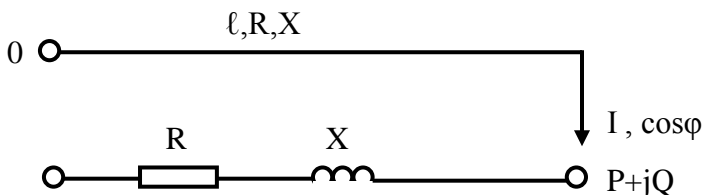
Iň ýönekeý ýagdaýa garalyň, mysal üçin liniýanyň ýekeje ýüki bolup, ol hem liniýanyň ahyryna 3-2-1-nji çyzgyda çatylan. Ýüki tok I we kuwwat koeffisiýenti $\cos \varphi$ diýip ýa-da kuwwat görnüşinde görkezip bolar. Liniýanyň potensialy U .

Doly kuwwat :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(\sqrt{3}UI \cos \varphi)^2 + (\sqrt{3}UI \sin \varphi)^2} \quad (3.2.1.)$$

we

$$\varphi = \arctg \frac{Q}{P}$$



3-2-1-nji çyzgy. Ahyry ýükli 3-fazaly liniýanyň oruntutma sudury.

Liniýanyň hasabyny wektor diagrammasyna seredip geçmekden başlalyň 3-2-2-nji çyzgy. Wektor diagrammasy hemişe bir faza degişli bolýar, sebäbi ähli fazanyň ýüki deň (simmetrik) diýip hasap edýäris. Goý, bolsun liniýanyň ahyrynda tok I , $\cos \varphi$ we faza potensialy belli U_f . Mesele talap edýär, liniýanyň başlangyjnyň potensialyny U'_f we kuwwat koeffisiýenti $\cos \varphi'$ kesgitlemeli.

Hakyky okuň ugruna potensial wektoryny (ahyryň potensialynyň) ugrukdyralyň $U_f (OA)$; tok I potensialdan φ burç yza galyp beýleki kwadratda görkeziler, bu ýagdaý ýüküň induktiw häsiýetiniň barlygyny görkezýär. Togy wektor görnüşinde şekillendirsek onuň iki bölekden durýandygyny ýatlamalydyrys ;

I_a - aktiw, ugry hakyky okuň položitel ugry bilen gabat gelýär, $-jI_r$ - reaktiw, ugry hyýaly okuň otrisatel ugry bilen gabat gelýär, onda

$$I = I_a - j I_r \quad (3.2.2.)$$

Şunlukda, potensial bilen toguň wektor diagrammasyndaky ýerleşişinde toguň hyýaly böleginiň otrisatel bahasynyň bolmagy onuň induktiwlik nyşanyny aňladýar we ýüküň induktiw häsiýetdedigini görkezýär. Eger ol tok hyýaly okuň položitel ugruna gabat gelse, onda ol položitel bahany alýar we ýüküň sygymly (ýomkostnyý) häsiýetdedigini görkezýär.

Toklaryň bölegi :

$$I_a = I \cos \varphi ; I_r = I \sin \varphi \quad (3.2.3.)$$

Potensialyň liniýanyň başlangyjyndaky ululygyny tapmak üçin liniýanyň ahyryndaky potensialynyň wektorynyň ujundan toguň ugruna gabat gelýän ugur boýunça liniýanyň aktiw garşylygyndaky potensial çökmäni ugrukdyrmaly (IR) we soňra ujyndan 90° ozujy burç bilen liniýanyň induktiw garşylygyndaky potensial (IX) çökmäni ugrukdyrmaly, 3-2-2-nji çyzgyda üçburçlyk ABC . Eger alnan $\angle C$ nokady koordinat başlangyjy O nokat bilen birleşdirsek, liniýanyň başyndaky potensialyň wektoryny alarys U'_f . Bu potensial U'_f bilen toguň arasyndaky burç süýşmesi φ' burçuna deňdir.

Wektor AC san bahasy $IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$, doly potensial çökmegini görkezýär.

Bu potensial çöküşü böleklere dagydyp bolar :

- a) gönüleýin $\Delta U = AD$ (wektor U_f bilen ugurdaş) ;
- b) keseleýin $\delta U = D\zeta$, onda

$$\underline{I}Z = \Delta U_f + j\delta U_f \quad (3.2.4.)$$

Bu bölünmeleri kesgitlemek üçin $AB=IR$ we $BC=IX$ wektorlary koordinat okunyň hakyky we hyýaly oklarynyň üstünde deňşililikde çyzgylandyralyň, netijede şeýle kesimleri alarys [E.3] :

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

$$\zeta F = IX \cos \varphi ; BE = DF = IR \sin \varphi$$

Bu ýerden gönüleýin potensial çökme :

$$\Delta U_f = AD = AE + ED = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = I_a R + I_r X \quad (3.2.5.)$$

keseleýin potensial çökme

$$\delta U_f = D\zeta = \zeta F - DF = IX \cos \varphi - IR \sin \varphi = I_a X - I_r R \quad (3.2.6.)$$

we şeýlelikde başdaky potensial :

$$\underline{U}_f = U_f + \Delta U_f + j\delta U_f = U_f + I_a R + I_r X + j(I_a X - I_r R)$$

şeýlelikde potensial moduly

$$U_f = \sqrt{(U_f + I_a R + I_r X)^2 + (I_a X - I_r R)^2} \quad (3.2.7)$$

Liniýalar ýerli ähmiýete eýe bolanda onuň hasabyna käbir ýönekeýleşmeler girizilýar, ýagny, liniýanyň başyndaky

potensial tapylanda potensialyň çökmesi dälde potensialyň ýitmesi ulanylýar.

Öň belläp geçişimiz ýaly potensial ýitgisi deregine potensiallaryň (başky we ahyrky) algebraik tapawutlary alynýar, $U' - U$. Iş ýüzünde bolsa bu ululyk woltmetrleriň başdaky we liniýanyň ahyryndaky ölçegleriniň tapawudy bolýar. Bu düşüňjani potensial çökmesi bilen garyşdyrmak bolmaz, sebäbi potensial çökme liniýanyň başyndaky we ahyryndaky potensiallaryň geometrik tapawudyna deňdir.

Diagrammadan potensial ýitgini tapmak üçin OC wektor bilen hakyky okuň üstünde OC' aralygy kesip almaly, ondan görnüp duran kesim :

$$AC' = OC' - OA = U'_f - U_f$$

potensial ýitgisi bolar. Ýerli liniýalarda U'_f bilen U_f potensiallaryň arasyndaky burç örän kiçi bolýar, şonuň üçin DC kesim hem has kiçidir. Şeýle bolanda belli bir takyklykda potensial ýitgisiniň deregine gönüleýin potensial çökmesini kabul edip bolar.

$$AD \approx AC' \approx \Delta U_f \approx IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \quad (3.2.8.)$$

Şeýle ýönekeýleşdirmekde goýberilýän ýalňyşlyk, eger $\cos \varphi = 1$ 0.55%-den geçmeýär, eger $\cos \varphi < 1$ onda bu ýalňyşlyk has hem kiçelýär.

Liniýa potensial ýitgisi 3 - fazaly tok üçin aşakdaky ýaly kesgitlenýär :

$$\Delta U = \sqrt{3} \Delta U_f = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (3.2.9.)$$

$$\underline{S} = P + jQ$$

$$I_a = I \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U} \quad \text{we} \quad I_r = I \sin \varphi = \frac{Q}{\sqrt{3}U}$$

bu ýerde : U - liniýanyň ahyryndaky potensial,

$$\Delta U = \sqrt{3} \left(\frac{P}{\sqrt{3}U} R + \frac{Q}{\sqrt{3}U} X \right)$$

ýa-da

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \quad (3.2.10.)$$

Hasap edilende köplenç kabul edijileriň çatuwynda potensial ululygy näbelli bolýar, şeýle bolanda liniýanyň nominal potensialyny alaýmaly.

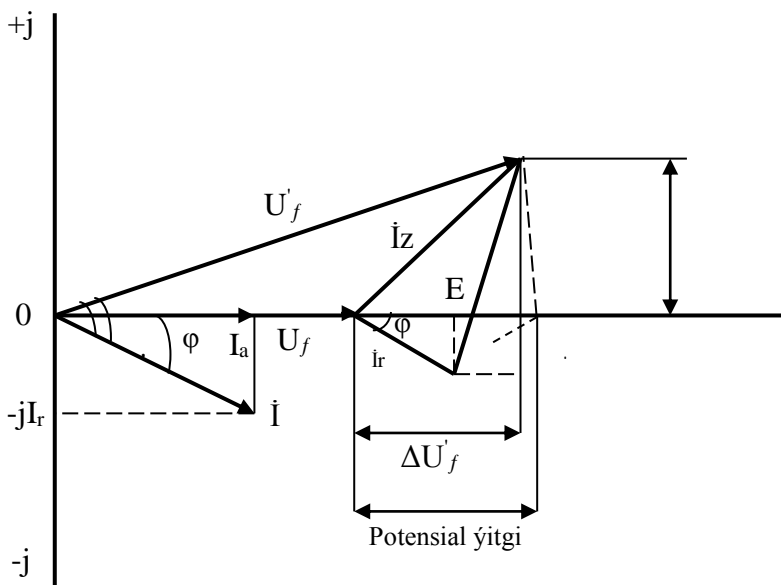
$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{nom}} \quad (3.2.11.)$$

Liniýa aralyklarynda birsyhly ýogunlykdaky sim alnanda

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx}{U_{nom}} \cdot L \quad (3.2.12.)$$

Potensial ýitgisiniň göterim hasaby :

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_{nom}} \cdot 100\% = \frac{PR + QX}{U_{nom}^2} \cdot 100 \quad (3.2.13.)$$



3-2-2-nji çyzgy. Ahyry ýükli liniýanyň wektor diagrammasy.

§ 3-3 Elektrik liniýalarynda kuwwat ýitgisi

Üç fazaly üýtgeýän toguň liniýadaky kuwwat ýitgisi şeýle tapylýar :

$$\Delta P = 3I^2 R 10^{-3} = 3(I_a^2 + I_r^2) R 10^{-3}, [kWt] \quad (3.3.1.)$$

bu ýerde: I , I_a , I_r - doly, aktiw we reaktiw tok, [A] ;
 R - liniýanyň aktiw garşylygy, [Om].

Üç fazanyň üstünden akýan doly S , aktiw P we reaktiw Q kuwwatlyklary (3.3.1.) aňlatma goýup alarys :

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad (3.3.2.)$$

bu ýerde : U - liniýa potensialy.

Liniýadaky reaktiw kuwwat ýitgisi öňki aňlatma meňzeş aňlatma bilen taparys.

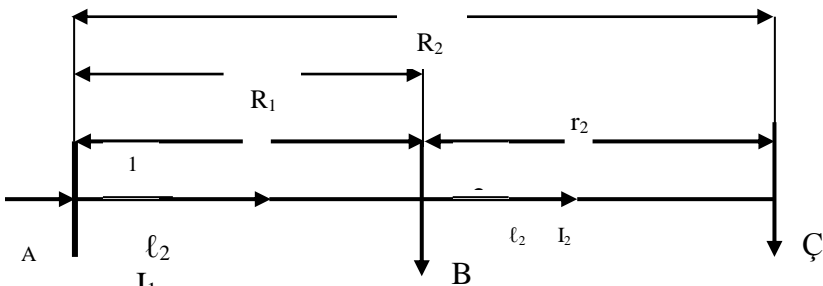
$$\Delta Q = 3I^2 X \cdot 10^{-3} = 3(I_a^2 + I_r^2) X \cdot 10^{-3}, \quad [kVar] \quad (3.3.3.)$$

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X, \quad (3.3.4.)$$

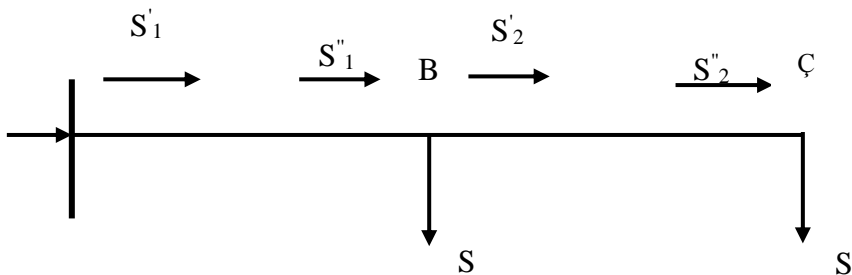
(3.3.2.) we (3.3.4.) aňlatmalar bilen hasap edilende kuwwatlar we potensiallar belli bir nokat üçin almalydyr. Eger kuwwat liniýanyň ahyryna degişli bolsa, onda potensial hem ahyryna degişli bolmalydyr. Eger kuwwat başlangyja degişli bolsa, onda potensial hem başlangyja degişli bolmalydyr.

Ýerli geçiriji liniýalarynyň taslamalarynda we raýon geçiriji liniýalarynyň gelejegi bolan taslamalarynda ýitgiler tapylanda liniýalaryň nominal potensialy alynýar. Takyk hasap geçirilende bolsa, garalýan nokatdaky potensialy almaly.

Eger geçiriji liniýanyň üstünden belli aralyklarda birnäçe sarp ediji ýükler ýymitlenýän bolsa, ondaky kuwwat ýitgisi aralyklardaky kuwwat ýitgileriniň jemine deňdir.



3-3-1-nji, a
çyzgy.



3-3-2-nji , b çyzgy.

(3-3-1-nji çyzgy) getirilen sudur üçin kuwwat ýitgisi kesgitlenip biliner :

$$\Delta P = 3(I^2_2 r_2 + I^2_1 r_1) 10^{-3}, [kWt]$$

Ýazgyda hem çyzgyda setir harplary bilen ýükiň togy ýa-da kuwwaty, S bilen bellendir, aralyk uzynlygy l , aralyk garşylyk bolsa r bilen aňladylandyr. Baş harplary I , S bilen liniýanyň aralyklarynyň togy hem-de kuwwaty, L we R bolsa doly aralygy we doly garşylygy aňladýar (ýükün dakylan nokadyndan tä iýmitlendiriji çeşme çenli).

$BÇ$ aralygyň ahyrynyň kuwwaty S'_2 $Ç$ nokadyň ýüküne deň ($S_Ç$). $BÇ$ aralygyndaky doly kuwwat ýitgisi.

$$\Delta \underline{S}_2 = \Delta P_2 - j\Delta Q_2 = \left(\frac{S''_2}{U_c}\right)^2 r_2 - j\left(\frac{S''_2}{U_c}\right)^2 x_2, \quad (3.3.5.)$$

$BÇ$ aralygynyň başyndaky kuwwatlylyk bolsa S'_2 , S''_2 garanyňda ΔS_2 tapawutly ulydyr :

$$S'_2 = S''_2 + \Delta S_2 ,$$

AB liniýanyň ahyryndaky kuwwat akymy

$$S''_I = P''_I - lQ''_I = S'_2 + S_b$$

AB liniýanyň başyndaky akym

$$S'_I = S''_I + \Delta S_I$$

bu ýerde:

$$\Delta S_I = \Delta P_I - jQ_I = \left(\frac{S_1''}{U_b}\right)^2 r_1 - j\left(\frac{S_1''}{U_b}\right)^2 x_1, \quad (3.3.6.)$$

Ýokary takyklyk talap edilmedik ýagdaýda hasaby has hem ýönekeýleşdirýärlər, ýagny kuwwat ýitgisi beýleki aralykdaky ýitgä täsir hem etmeýär diýip kabul edilýär, şu ýagdaýda.

$$\Delta S_I = \Delta P - j\Delta Q_I = \left(\frac{S_1''}{U_b}\right)^2 r_1, \quad (3.3.7.)$$

Kuwwat ýitgisi üçin alnan aňlatmalary 2 simli üýtgeýän we hemişelik toguň liniýalary üçin hem peýdalanyp bolar.

$$\Delta P = 2I^2 R 10^{-3}, \quad [kWt]$$

$$\Delta Q = 2I^2 X 10^{-3}, \quad [kWt]$$

$$\Delta P = 2 \frac{S^2}{U^2} R = 2 \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad (3.3.8.)$$

$$\Delta Q = 2 \frac{S^2}{U^2} X = 2 \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X$$

bu ýerde: U - iki fazanyň arasyndaky potensial ;
 R we X - bir fazanyň aktiw we rwaktiw
 garşylygy. Hemişelik tokda R iki simiň
 darşylygy.

Energiýa bermekde näme üçin potensiala (ýokarlarmaklyga) aýratyn üns berilýär?

Üç fazaly toguň kuwwaty belli bolşy ýaly

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi \quad (3.3.9.)$$

Aktiw kuwwat toga, potensiala hem-de kuwwat koeffisiýentine bagly. Togy ulaltsaň ýitgi artýar, eger togy has ulaldaýsaň ýitgi berilýän kuwwatlylygyň

10-15%-ne ýetýär, onuň üçin potensialy ulaldýarlar.

Eger $\cos \varphi = I$ potensial ýitgisi

$$\Delta U = \sqrt{3}IR; I = \frac{P}{\sqrt{3}U_{nom}} \quad (3.3.10.)$$

$$\Delta P\% = \Delta U\% = (PR/U^2)100 \quad (3.3.11.)$$

$$R = \frac{l}{\gamma F}, \Delta U = \frac{Pl}{F\gamma U^2}100, \text{ bu ýerde } F = \frac{Pl}{\Delta U\% \gamma U^2}100\%$$

Simiň kese-kesiginiň meýdany potensialy $\sqrt{3}$ arttdysak 3 esse azalýar.

§3-4 Liniýalarda energiýa ýitgisi

Elektrik stansiýalarynda sarp edijilere tarap energiýa ugradylanda liniýa degişli elementleriniň hemmesinde aktiw kuwwatlyk we energiýa ýitýär.

Ortaça, goýberilýän energiýanyň 10% we ondan hem köprägi liniýa elementlerinde ýitýär, onuň köp bölegi hut liniýanyň özünde, azrak bölegi bolsa podstansiýa punktlarynda bolup geçýär.

Liniýadaky aktiw energiýanyň ýitgisini kuwwat ýitgisini liniýanyň işlän wagtyňa köpeldip tapyp bolardy. Emma, sarp edijileriň ýüki sutkanyň, ýylyň dowamynda

hemişe üýtgäp durýar, ol sebäpden hem liniýadaky energiýa ýitgisi durnuksyz üýtgäp durýar. Şonuň üçin hem bu aňsat usul ulanarly däl.

Şeýlelikde, liniýadaky energiýa ýitgisini mümkingadar takyk kesgitlemek üçin, örän gysga (kiçi) wagt aralygyndaky ýitgi jemini tapmak usulyna ýüzlenmeli bolýar, ýagny

$$\Delta A = \int_0^t \Delta P dt \quad (3.4.1.)$$

ýa-da ýitgi bahasyny orna goýmak bilen

$$\Delta A = \int_0^t \frac{S^2}{U^2} R dt = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 dt \quad (3.4.2.)$$

Bu funksiýanyň $S=f(t)$ üýtgewi ýüküň ýyl dowamyndaky häsiýetli egrisi 1 grafik görnüşde 3-4-1-nji çyzgyda getirilendir [E.3]. Şu egri bilen çäklenen meýdan, elbetde kuwwat koeffisiýenti ($\cos\varphi_{ort}$) hasap edilende, belli bir ölçegde (masştabda) liniýanyň üstünden ýyl dowamynda geçirilen enegriýany görkezýär we şeýle aňlatma bilen kesgitlenýär :

$$A = \int_0^t P dt = \cos \varphi_{ort} \int_0^{8760} S dt \quad (3.4.3.)$$

bu ýerde: $\cos\varphi_{ort}$ - ortaça kuwwat koeffisiýenti, üýtgewsiz diýip hasap edilýär.

Eger 3-4-1-nji çyzgyda grafiğiň 1 egriniň kwadratyny alsak, onda ol grafikde 2 egri görnüşini alar we $S^2 = f(t)$ funksiýany häsiýetlendirir. Şeýle bolanda ýitgini belli bir ölçegde 2 egri bilen çäklenen meýdanyň üstiasryr kesgitlese bolar :

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 dt \quad (3.4.4.)$$

Bu ýerde şeýle bir ýagdaý gelip çykýar, eger 2 egrini bilen çäklenen meýdany ölçesek onda elektroenergiýa ýitgisi aňsat tapylýar. Iş ýüzünde bu ululygy takmynrak ýerine ýetirilýär. Onuň üçin 2 egrini başgançakly egrini bilen çalşyrmaly we mümkin boldugyça başgançak kesimini kiçi edip almaly, ýagny $S_1, S_2, S_3 \dots$ kuwwatlyklara degişli wagtlar t_1, t_2, t_3, \dots kiçi boldugyça takyklyk ýokary bolýar (3-4-2 çyzgy) [E.3].

Şeýlelikde jemi ýitgi :

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} (S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + \dots + S_n^2 t_n) \quad (3.4.5.)$$

Bu aňlatma ýütgeşme girizmek mümkin

$$S_{cp.k8} = S_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + \dots + S_n^2 t_n}{8760}} \quad (3.4.6.)$$

bu ýerde 8760-ýylyň sagat sany.

Onda

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} S_{ekw}^2 \cdot 8760 \quad (3.4.7.)$$

S_{ekw} kuwwata ekwiwalent kuwwat diýilýär, ýitgi tapmak usulyňa bolsa ekwiwalent kuwwatyň üsti bilen kesgitlemek diýip aýdýarlar.

Ýükiň grafigi bolmadyk ýagdaýda ýokarda garalan usul bilen energiýa ýitgisini kesgitlep bolamaýar, bu bolsa usulyň ýetmezçiligidir.

Şeýle ýagdaýda in ýokary (maksimum) ýitginiň wagty diýen düşünje girizilýär. Bu wagty τ_{\max} harpy bilen belleýärler we onuň ulanylmagy hasaby esli ýeňileşdirýär.

Eger liniýa maksimum ýük bilen işleýär diýip çak etsek, onda haýsam bolsa bir T_{\max} wagt aralygynda öz üstünden geçiren energiýa mukdary ýyl dowamynda ýükiň dowamlylyk grafigi boýunça geçiren energiýasyna deňdir.

Kuwwat koeffisiýenti üýtgemeyär diýen şerte eýersek ($\cos\varphi_{or}=\text{const}$) :

$$A = P_{\max} \cdot T_{\max} = S_{\max} \cos \varphi_{or} \cdot T_{\max} = \cos \varphi_{or} \int_0^{8760} S dt \quad (3.4.8.)$$

bu ýerden

$$T_{\max} = \frac{\int_0^{8760} S dt}{S_{\max}} \quad (3.4.9.)$$

T_{\max} - maksimum ýükiň ulanylyş wagty.

Öň belläp geçişimiz ýaly T_{\max} tablisalarda getirilýär, mysal üçin tablisa 1 ,
3-4-1-nji çyzgyda egri bilen çäklenen meýdany taraplary τ_{\max} we S_{\max}^2 bolan dörtburçlygyň meýdanyna deň diýip alsak, onda:

$$T_{\max} = \frac{A}{T_{\max}} = \frac{A}{S_{\max} \cdot \cos \varphi_{cp}} \quad (3.4.10.)$$

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} \int_0^t S^2 dt = \frac{R}{U^2} S_{\max}^2 \tau_{\max} \quad (3.4.11.)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\int_0^t S^2 dt}{S_{\max}^2} \quad \text{ýa-da} \quad (3.4.12.)$$

T_{\max} we T_{\max} ululyklar ýük grafiginiň üýtgeýiş häsiýetine baglylygy (3.4.9.) we (3.4.12) aňlatmalardan görünýär 3-4-3-nji çyzgyda [E.3] ýükleriň birnäçe

$$\Delta A = \frac{R}{U^2} S_{\max}^2 \tau_{\max} 10^3 \quad \Delta A = \frac{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}{U^2} R \tau_{\max} 10^3$$

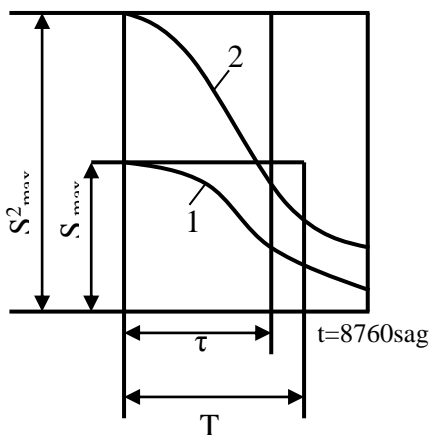
ýagdaýlaryna laýyklykda hasap edilen $\tau_{max} = f(T_{max})$ getirilen we iş ýüzünde peýdalanarlykdyr.

bu ýerde : S - MWA , P - MWt , Q - $MWAr$, U - kW , R - Om .

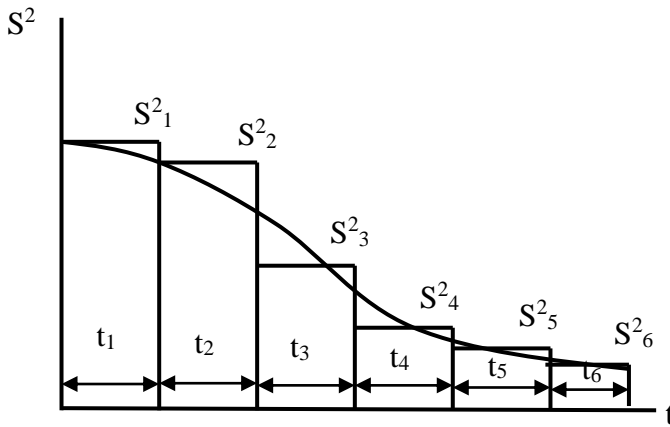
Aşakdaky getirilýän çyzgylardaky gtafikler elbetde, meseläniň hil tarapyny aňladýandyrlar. Takyk meseleler çözülende takyk ölçegli ýük grafiklerinden peýdalanýrlar.

Liniýanyň haýsam bolsa bir bölegindäki aktiw kuwwat ýitgi ondan geçýän tok ululygyna we sim garşylygyna bagly bolýar, ýagny $\Delta P = 3I^2 R$. Bu ýerde gürrüň 3 - fazaly tok hakyndadyr, I - elektrik ýüküniň togy, şonuň üçin ol liniýadan geçýän doly kuwwatlygy şertlendirýär, ýagny

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



3-4-1-nji çyzgy. Elektrik ýüküniň ýyldaky dowamlylygy.

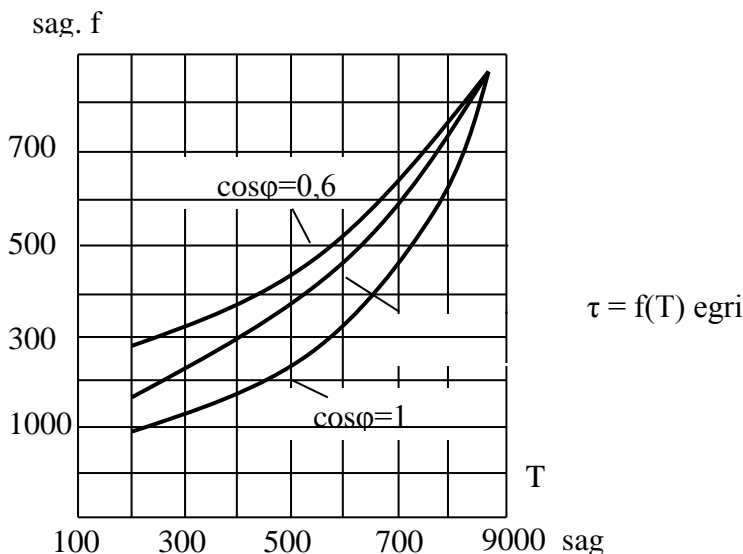


3-4-2-nji çyzgy. Basgançakly elektrik ýüküniň dowamlylygy.

P – aktiw kuwwat, iş bitirýär ; Q - reaktiw kuwwat bolup, elektrodwigatellerde, transformatorlarda, geçiriji liniýalarda elektromagnit meýdanyny döretmäge sarp bolýar. Onda tok

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (U - \text{liniýa potensialy}), \text{ soňra}$$

$$\Delta P = 3 \left(\frac{S}{\sqrt{3}U} \right)^2 \cdot R = \frac{S^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R, \quad (3.4.13.)$$



3-4-3-nji çyzgy.

ýa-da S , MVA we U , kW bolanda ýitgini kilowatlarda alarys :

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R \cdot 10^3 \quad (3.4.14.)$$

(3.4.13.)aňlatma meňzeşlikde liniýadaky reaktiw kuwwat ýitgisi üçin hem aşakdaky ýaly aňlatmany getirip bileris :

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X$$

Şeýlelikde, liniýadaky aktiw energiýa ýitgisi reaktiw kuwwat geçişine-de bagly ekeni, şol sebäbe görä hem uly kuwwatlyklar berilýän ýokary we has ýokary woltly liniýalary reaktiw kuwwatlyklardan boşatmak üçin aýry-aýry punktlarda kompensirleýji enjamlary oturdýarlar.

§ 3-5 Sim ýogynlygyny kesgitleme

Elektrik geçiriji liniýalarda köplenç ýagdaýda reňkli metallardan peýdalanýarlar. Şeýle bolanda simiň kesekesigini, ýagny ýogynlygyny liniýadaky potensial ýitginiň üsti bilen kesgitlemek bolýar. Potensial ýitgisi aşakdaky ýaly kesgitlenilýär. :

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^n P_i r_i + \sum_{i=1}^n Q_i x_i}{U_{nom}}, \quad (3.5.1.)$$

Potensial ýitgi liniýadaky çäklendirilen bahadan ýokary bolmaly däldir,

$\Delta U \leq \Delta U_{\text{çäk}}$. Liniýanyň çäklendirilen bahasy bolsa hemişe bellidir, şonuň üçin bolsa şol baha garap gerek bolan hasaby geçirip bolýar.

Şu ýerde bir zady göz öňünde tutsak sim ýogynlygyny potensial ýitginiň üsti bilen hasaplama örän oňalyly bolýar. Liniýanyň udel induktiw garşylygynyň ululygy

$$X_o = 0,36 \div 0,46 \frac{Om}{km}, \text{ howa liniýalarynda}$$

$$X_o = 0,06 \div 0,09 \frac{Om}{km}, \text{ 10 kW kabel liniýalarynda}$$

$$X_o = 0,11 \div 0,13 \frac{Om}{km}, \text{ 35 kW kabel liniýalarynda}$$

Potensialyň çäklendirilen ululygyny aşakdaky görnüşde ýazarys :

$$\Delta U_{cak} = \sum_1^n \frac{P_i l_i r_0}{U_{nom}} + \sum_1^n \frac{Q_i l_i x_0}{U_{nom}} = \Delta U_{a\text{çäk}} + \Delta U_r, \quad (3.5.2.)$$

Bu ýerde $\Delta U_{a\text{çäk}} = \sum_1^n \frac{P_i l_i r_0}{U_{nom}}$ - aktiw garşylykdaky çäklendirilen potensial

ýitgisi: $\Delta U_{r\check{a}k} = \sum_1^n \frac{Q_i l_i x_0}{U_{nom}}$ - induktiň garşylygynyň

çäklendirilen potensial ýitgisi.

Şu ýerde şeýle bir mümkinçilik ýüze çykýar, ýagny ilki induktiw garşylygynyň udel bahasyny liniýalar üçin ortaça bahasyny kabul etsek, howa liniýalary üçin

$x_0 \approx 0,4 \text{ Om/km}$, 10 kW potensially kabel liniýalary üçin bolsa $x_0 \approx 0,07 \text{ Om/km}$,

35 kW potensially kabel liniýalary üçin $x_0 \approx 0,12 \text{ Om/km}$, onda bu bahalar arkaly liniýadaky induktiw garşylykda potensial ýitgisini kesgitläp bileris,

$$\Delta U_r = \sum_1^n \frac{Q_i l_i X_0}{U_{nom}}, \text{ soňra bolsa bu bahany ýokarda getirilen aňlatma}$$

goýup liniýanyň aktiw garşylygynyň üstündäki çäklendirilen potensial ýitgisini tapyp bileris :

$$\Delta U_{\check{a}k} = \Delta U_{\check{a}k} - \Delta U_r \quad (3.5.3.)$$

Köplenç halatlarda liniýany bir ýogynlykda hem-de bir marka sim-de ýerine ýetirýärler, ýagny $F = \text{const}$, şeýle edilende gurnaýyş işleri, hem olaryň detallaryny saýlamak aňsat düşýär, simleriň standart goýberiliş uzynlyklary-da ýerlikli peýdalanylýar.

Simiň aktiw garşylygy

$$R = \rho \frac{\ell}{F}$$

$$\Delta U_{a\check{a}k} = \Delta U_{\check{a}k} - \Delta U_r; \Delta U_{\check{a}k} = \frac{8 \cdot 35000}{100} = 2800 \text{ W} = 2,8 \text{ Kw}$$

ρ - simiň udel gaşylygy, $\text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$;

ℓ - simiň uzynlygy, km;

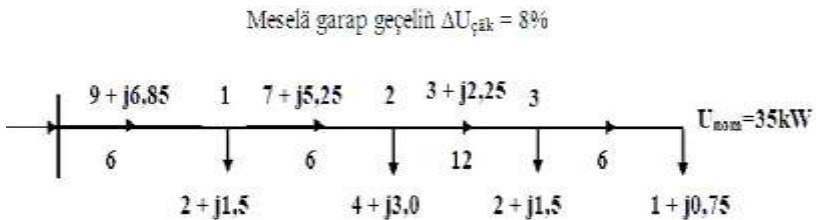
F - simiň kese kesigi, mm^2 .

$$\Delta U_{a\check{a}k} = r_0 \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{U_{nom}} = \frac{\rho}{F U_{nom}} \sum_1^n P_i \ell_i, \quad (3.5.4.)$$

bu ýerden simiň kese kesiginiň meýdanyny (ýogyňlygyny) aňsat kesgitläp bileris.

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_{a\check{a}k} U_{nom}} \sum_1^n P_i \ell_i, \quad (3.5.5.)$$

alnan ululygy simleriň standart ululygyna gabatlaýarys we ol ululyk üçin r_0 we x_0 ululyklaryny ulanyp potensial ýitgisiniň hakyky ululygyny kesgitleýäris, eger ol ýitgi çäklendirilen potensial bahadan uly bolaýsa, onda simiň indiki ýokary standart bahasyny kabul etmeli.



$$\begin{aligned} \dot{S} &= [MVA] ; \\ \ell &= [km] ; \\ \cos\varphi &= [0,8] \end{aligned}$$

$$\Delta U_r = \frac{6,75 \cdot 6 + 5,25 \cdot 6 + 2,25 \cdot 12 + 0,75 \cdot 5}{35} \cdot 0,4 = 1,18 \text{ kw}$$

$$\Delta U_{a\check{a}k} = \Delta U_{\check{a}k} - \Delta U_r ;$$

$$\Delta U_{a\check{a}k} = 2,8 - 1,18 = 1,62 \text{ kW}.$$

Liniýanyň bütin dowamynda bir ýogynlyk

$$F = \frac{31,2 \cdot (9,0 \cdot 6 + 7,0 \cdot 6 + 3,0 \cdot 12 + 1,0 \cdot 5)}{35 \cdot 1,62} = 75,5 \text{ mm}^2$$

Standart AC-95 ($x_0=0,397$ Om/km , $r_0 = 0,314$ Om/km).

Potensialyň hakyky ýitgisi

$$\Delta U = \frac{(9 \cdot 6 + 7 \cdot 6 + 3 \cdot 12 + 1 \cdot 5) \cdot 0,314}{35} + \\ + \frac{(6,75 \cdot 6 + 5,25 \cdot 6 + 2,25 \cdot 12 + 0,75 \cdot 5) \cdot 0,397}{35} = 2,39 \text{ kW}$$

göterim hasabynda

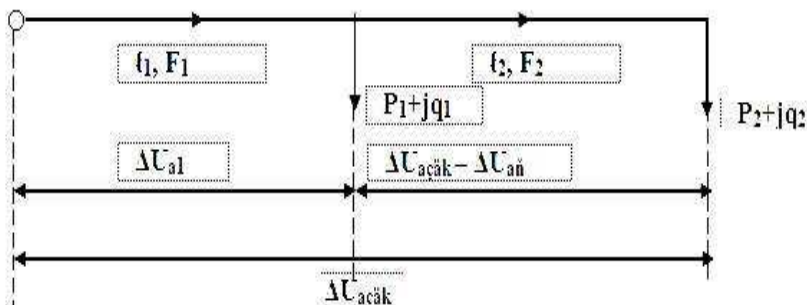
$$\Delta U = \frac{2,39 \cdot 100}{35} = 6,85\%$$

$$\Delta U < \Delta U_{\text{çäk}}$$

§ 3-6 Sim ýogynlygyny az metal harçlama şertine laýyklama

Elektrik setiniň ýüki birnäçe sowalgalardan durýan bolsa onda onuň ýüki başdan tä ahyryna çenli kem-kemden azalyp gidýär. Şeýle bolanda bir ýogynlykdaky simi ulanmak ykdysady taýdan oňaýly bolmaýar, sebäbi, set başlangyjy artyk ýükli bolup artyk ýitgä getirer, ahyrynda bolsa sim ýogynlygy artyklyk edip reňkli metalyň artyk harç bolmagyna getirer. Şu ýagdaýlary göz önünde tutup, ýüke görä sim ýogynlygyny kesgitlemä hem-de potensial ýitgisiniň çäklendirilen ululygyny üpjün edýän meselä garalyň.

Iki sany ýüki bolan iň ýönekeý sete garap geçeliň (3-6-1-nji çyzgy). Setiň sudurynda (shemasynda) liniýanyň parametrleri, ýükler, hem-de birinji uçastogyň aktiw garşylygy bilen şertlendirilen potensial ýitgi ΔU_{a1} , şeýle-de deňişlilikde ikinji uçastokdaky potensial ýitgi $\Delta U_{a\text{çäk}} - \Delta U_{a1}$ görkezilendir.



3-6-1-nji çyzgy. Iki ýükli setiň sudury.

Bu ýerde $\Delta U_{açäk}$ - bütün liniýadaky çäklendirilen potensial ýitgi, onuň ululygy aşakdaky ýaly kesgitlenýär.

$$\Delta U_{açäk} = r_0 \sum_1^n \frac{P_i \cdot l_i}{U_{nom}} = \frac{\rho}{FU_{nom}} \sum_1^n P_i l_i \quad (3.6.1.)$$

Öň ýokarda belleýşimiz ýaly, potensial ýitgisiniň çäklendirilen bahasyny $\Delta U_{açäk}$ göz önünde tutup, aralyklara deňşilikde az metal siňdirip simiň kese-kesigini (umuman ýogynlygyny) F_1 we F_2 taparys :

$$\frac{F_1^2}{P_1} = \frac{F_2^2}{P_2}$$

ýa — da

$$\frac{F_1}{\sqrt{P_1}} = \frac{F_2}{\sqrt{P_2}} = K_p \quad (3.6.7.)$$

$$F_1 = \frac{\rho P_1 \cdot \ell_1}{\Delta U_{a1} \cdot U_{nom}} ; F_2 = \frac{\rho P_2 \cdot \ell_2}{(\Delta U_{açäk} - U_{a1}) \cdot U_{nom}} \quad (3.6.2.)$$

Görkezilen kese-kesikleriniň meýdanynda liniýanyň üç faza siminiň göwrümini kesgitläris,

$$V = 3F_1\ell_1 + 3F_2\ell_2 = \frac{\rho 3P_1\ell_1^2}{\Delta U_{a1}U_{nom}} + \frac{\rho 3P_2\ell_2^2}{(\Delta U_{a\check{a}k} - \Delta U_{a1})U_{nom}} \quad (3.6.3.)$$

Ýokarky aňlatmada birinji aralygyň potensial ýitgisinden galanlary üýtgewsiz ululyklardyr, şonuň üçin bolsa onuň (ΔU_{a1}) üýtgewi bilen metal harçlanmasynyň dürli ululyklaryny alyp bolar.

Onda (3.6.3.) aňlatma boýunça ΔU_{a1} görä birinji önümi (proizwodnyny) alyp, soňra ony nula (0) deňleşsek göwrüm ululygynyň iň kiçi (minimum) bahasyny alarys.

$$\frac{dv}{d(\Delta U_{a1})} = -\frac{\rho 3P_1\ell_1^2}{(\Delta U_{a1})^2 U_{nom}} + \frac{\rho 3P_2\ell_2^2}{(\Delta U_{a\check{a}k} - \Delta U_{a1})^2 U_{nom}} = 0 \quad (3.6.4.)$$

Bu ýerden

$$\frac{\rho P_1\ell_1^2}{(\Delta U_{a1})^2 U_{nom}} = \frac{\rho P_2\ell_2^2}{(\Delta U_{a\check{a}k} - \Delta U_{a1})^2 U_{nom}} \quad (3.6.5.)$$

(3.6.5.) deňligiň çep tarapyny P_1 , sag tarapyny P_2 we soňra bolsa, iki böleginede ρ/U_{nom} köpeltsek, deňligi alarys:

$$\frac{1}{P_1} \left[\frac{\rho^2 P_1^2 \ell_1^2}{(\Delta U_{a1})^2 U_{nom}^2} \right] = \frac{1}{P_2} \left[\frac{\rho^2 P_2^2 \ell_2^2}{(\Delta U_{a\check{a}k} - \Delta U_{a1})^2 \cdot U_{nom}^2} \right] \quad (3.6.6.)$$

Kwadrat skobkanyň içi degişlilikde F^2_1 we F^2_2 bolýar.

Şeýlelikde, liniýa aralyklaryna az geçiriji material sarp etmek üçin geçirijiniň ýogynlygyny (kese-kesiginiň meýdany) üstünden geçýän aktiw kuwwatyň kwadrat kök içindäki ululygyna proporsional edip almaly.

$$K_p = F/\sqrt{P} \quad \text{- üýtgewsiz (garalýan liniýa üçin)} \\ \text{ululyk bolup, ony çäklendirilen}$$

potensialyň aktiw böleginiň üsti bilen tapyp bolar :

$$\Delta U_{a\check{c}äk} = \frac{S}{U_{nom}} \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{F} = \frac{S}{U_{nom}} \sum_1^n \frac{\sqrt{P_i}}{F} \sqrt{P_i} \ell_i = \frac{\rho \sum_1^n \sqrt{P_i} \ell_i}{U_{nom} \cdot K_p}, \quad (3.6.8.)$$

bu ýerden

$$K_p = \frac{\rho}{\Delta U_{a\check{c}äk} U_{nom}} \sum_1^n \ell_i \sqrt{P_i} \quad (3.6.9.)$$

K_p tapanyňdan soň islendik aralyk (uçastok) üçin simiň kese-kesigini (ýogyňlygyny) kesgitlemek aňsatdyr.

$$F = K_p \sqrt{P} \quad (3.6.10.)$$

Sim ýogyňlygyny (3.6.10.) aňlatma bilen kesgitlemiden soň, onuň standart bahasyny edebiyat tablisalaryndan alýarlar we oňa degişli r_0 , x_0 bahalar arkaly potensial ýitgisini her aralyklar üçin tapýarlar. Potensial ýitgisiniň jemi $\sum U_i$ potensial ýitgisiniň çäklendirilen bahasyndan $\Delta U_{\check{c}äk}$ uly bolmasa, ýagny

$\sum \Delta U_i \leq \Delta U_{\check{c}äk}$ onda simler dogry alnan diýip hasaplanýar.

Liniýanyň hasabyny garalan usul bilen ýerine ýetirmek üçin, ilki başda aktiw we reaktiw ýükleriň aralyklardaky (uçastoklardaky) ýaýrawyndan başlamaly. Soňra bolsa X_0 - ululygyň ortaça bahasyny ulanyp ΔU_r tapmaly, ondan soň $\Delta U_{a\check{c}äk}$ we K_p tapmak kyn düşüp durmaýar.

§ 3-7 Simiň ýogyňlygyny az energiýa ýitgisine garap kesgitleme

Liniýa gurnawynda az metal harçlygy ondaky energiýa ýitgisiniň azlygyny kepillendirip bilmeýär. Eger şeýle ýagdaýda liniýanyň üstünden ägirt uly kuwwatlyklar geçirilende kän ýitgä sezewar bolunar. Uly kuwwatly, ýokary

woltly liniýalar gurlanda, olary energiýa ýitgisiniň azlygyna hasap edip gurnaýarlar. Onda ol ýagdaýa garalyň. Öňki bölümde getirilen iki ýükli setiň suduryňa ýüzleneliň. Mälim bolşy ýaly aktiw kuwwat ýitgisi aşakdaky ýaly tapylar :

$$\Delta P = \frac{S_1^2}{U_{nom}^2} R_1 + \frac{S_2^2}{U_{nom}^2} R_2 = \frac{S_1^2}{U_{nom}^2} \frac{\rho \ell_1}{F_1} + \frac{S_2^2}{U_{nom}^2} \frac{\rho \ell_2}{F_2} , \quad (3.7.1.)$$

$$bu \ ýerde \ R_1 = \rho \ell_1 / F_1 \quad we \quad R_2 = \rho \ell_2 / F_2$$

degişlilikde birinji hem-de ikinji aralyklaryň aktiw garşylyklary.

Eger simiň bir fazasynyň göwrümini bütün liniýa üçin V - bilen bellesek, birinji aralyk üçin bolsa V_1 - bilen bellesek ; onda $F_1 = V_1 / \ell_1$

Bu bahalary ulanyp $F_2 = \frac{(V - V_1)}{l_2}$ bolar.

- degişlilikde berinji hem-de ikinji

$$\Delta P = \frac{S_1^2}{U_{nom}^2} \frac{\rho l_1^2}{V_1} + \frac{S_2^2}{U_{nom}^2} \frac{\rho l_2^2}{V - V_1} \quad taparys \quad (3.7.2.)$$

Alnan aňlatmada V_1 göwrümden beýleki ululyklar üýtgeşsiz ululyklardyr.

Onda, bu ýerden, az energiýa ýitgisini üpjün edýän sim ýogynlygyny tapmak üçin ýokarky aňlatmadan, ýagny kuwwat ýitgisinden V_1 göwrüme görä önüm alyp, ony bolsa nula deňlemek ýeterlidir:

$$\frac{d(\Delta P)}{dV_1} = -\frac{S_1^2}{U_{nom}^2} \frac{\rho l_1^2}{V_1^2} + \frac{S_2^2 \rho l_2^2}{U_{nom}^2 (V - V_1)^2} = 0$$

Bu ýerden

$$\frac{S_1^2 l_1^2}{V_1^2} = \frac{S_2^2 l_2^2}{(V - V_1)^2}$$

$V_1 = F_1 l_1$, $(V - V_1) = F_2 \cdot l_2$ *bolanlygy üçin*

$$\frac{S_1^2 l_1^2}{F_1^2 l_1^2} = \frac{S_2^2 l_2^2}{F_2^2 l_2^2} \quad \text{ýa-da}$$

$$\frac{S_1}{F_1} = \frac{S_2}{F_2}$$

Onda $S_1 = \sqrt{3} U_{nom} \cdot I_1$ we $S_2 = \sqrt{3} U_{nom} \cdot I_2$, bu ýerde I_1 we I_2 - liniýa aralyklarynyň togy, A :

$$\frac{I_1}{F_1} = \frac{I_2}{F_2} = j_{\Delta p} = const \quad (3.7.3)$$

Şeýlelikde, liniýada az energiýa ýitgisini üpjün etmek üçin liniýa aralyklaryndaky tok dykzlygy (A/mm^2) üýtgeşsiz bolmalydyr.

Az energiýa ýitgisini üpjün edýän tok dykzlygynyň ululygyny bolsa potensialyň liniýadaky aktiw garşylygynyň üstündäki çäklendirilen ($\Delta U_{a\check{a}k}$) bahasy arkaly kesgitläris :

$$\Delta U_{a\check{a}k} = \frac{\rho}{U_{nom}} \sum_1^n \frac{P_i \ell_i}{F} = \frac{\rho}{U_{nom}} \sum_1^n \frac{\sqrt{3} U_{nom} I_i \cos \varphi_i \ell_i}{F} \quad (3.7.4.)$$

ýa-da

$$\Delta U_{a\check{a}k} = \sqrt{3} \rho \sum_1^n \frac{I_i \cos \varphi_i \ell_i}{F}$$

Şerte görä $I/F = j_{\Delta p} = const$, onda ol gatnaşygy jem belgisiniň daşyna çykaraga-da

$$\Delta U_{a\check{c}äk} = \sqrt{3}\rho \cdot j_{\Delta p} \sum_1^n \ell_i \cdot \cos \varphi_i , \quad (3.7.5.)$$

bu ýerden

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{a\check{c}ak}}{\sqrt{3}\rho \sum_1^n \ell_i \cos \varphi_i} \quad (3.7.6.)$$

Onda, ýokarda garalan setiň sudury üçin

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{a\check{c}äk}}{\sqrt{3}\rho (\ell_1 \cos \varphi_1 + \ell_2 \cos \varphi_2)} , \quad bolar$$

Diýmek, energiýa ýitgisiniň azlygyny (min) üpjün edýän tok dyklygyny kesgitlesek, onda liniýanyň her aralygy üçin simiň kese-kesigini aňsat tapyp bolar :

$$F_i = \frac{I_i}{j_{\Delta p}} \quad (3.7.7.)$$

D Ö R D Ü N J I B A P

SET TASLAMALARYNDA YKDYSADY NUKDAÝ NAZAR

§ 4-1 Elektrik setlerini gurnamakda tehniki-ykdysady hasaplamalar

Halk hojalyk dolandyryş nukdaý nazaryndan alanyňda elektrik setleriniň gurnawy mümkingadyr az düýpli maýa goýumly, az ýyllyk çykdaýjyly we şol bir wagtyň özünde bolsa ygtybarly bolmalydyr. Set gurnawy ýerine ýetirilmezden öň ol birnäçe taslama görnüşlerini ýerine ýetirýärler we olara serenjam berýärler. Serenjam berilýän taslamalardaky setiň ygtybarlyklary hemmesinde deň derejede bolmalydyr. Käbir halatlarda dürli potensially, dürli uzynlykly we dürli elektrik ýükli setleriň hem serenjamyny geçirmeli bolýar. Şeýle bolan ýagdaýda udel görkezijiler diýilýär ululyklardan peýdalanmaly bolýar ; mysal, düýpli goýumyň elektrik ýüküniň 1 kWt ululygyna düşýän bahasyny, kä halatda bolsa elektrik ýüküniň 1 kWt ululygyny 1 km aralyga bermeklige edilýän udel düýpli goýum çykdaýjysyny ulanmak maksada laýyk bolýar. Udel görkezijileri bilen elektrik setleriniň gurnawynyň we olaryň peýdalanylyşynyň ykdysady oňaýlylygyny kesgitläp bolýar.

Bir wagtda şol bir ygtybarlylykda az düýpli goýum çykdaýjyly hem-de az peýdalanyş çykdaýjyly set gurnawyny üpjün etmek hemişe amala aşyryp durmak bolmaýar. Köplenç halatlarda az düýpli maýa goýumly setler ulanylanda olara edilýän ýyllyk çykdaýjylar kän bolýar, olaryň tersine, düýpli maýa goýumy köp sarp edilen setleriň ýyllyk ulanylyş çykdaýjysy az bolýar. Şeýlelikde, maýa goýumynda edilen başdaky artyk çykdaýjy soňraky seti peýdalanmakdaky alynýan maýa tygşytllylygy bilen öwezini doldurylýar. Eger, artyk düýpli maýa goýum çykdaýjysy 6-7 ýylyň dowamynda öwezini dolduryp bolýan bolsa, onda setiň şol wariantyna ünsi çekilýär hem-de esas hökmünde garalýar.

Meseläniň iň wajyp ýeri düýpli maýa goýum K bilen sete edilýän ýyllyk çykdaýjynyň H göwnejaý gatnaşygyny tapmakdyr. Gönüden-göni K we H özara deňeşdirilip bilinmez, sebäbi, olaryň her-haýsy dürli wagtlara degişlidirler, ýagny, H - bir ýyla degişli, K - bolsa birnäçe ýyla. Olaryň bilelikdäki täsirini wariant serenjamlygynda deňeşdirmek üçin bolsa halk-hojalyk harçlanmanyň getirilen görnüşinden peýdalanýarlar. Set togtançsyz bir ugurdaş gurlanda dürli wariantlar üçin getirilen çykdaýjy (harç).

$$3 = \frac{K}{T_{o.n}} + H = P_{norm} \cdot K + H,$$

$$bu \ ýerde \quad P_{norm} = \frac{1}{T_{o.n}}$$

$$P_{norm} = 0,12; \quad T_{o.n} = 8 \text{ ýyl} \quad (4.1.1)$$

P_{norm} - normatiw koeffisiýenti,
ýa-da getiriş koeffisiýenti
diýipatlandyrylýar.

$T_{o.n}$ - artdyrylan maýa goýumyň öwezini dolmak üçin gerek bolýan wagt ; energetika pudagy üçin $T_{o.n} \approx 7 \div 8$ ýyla deňdir, oňa öwezini dolduryş normatiw wagt diýilýär.

Artyk maýa goýumynyň öwezini doluş usulynyň düýp manysy şundan ybarat, ýagny, setiň iki wariantynyň serenjamy geçirilýär. Biriniň düýpli maýa goýumy K_1 , beýlekisiniňki bolsa K_2 diýip çaklalyň. Onda olaryň ýyllyk çykdaýjylary degişlilikde H_1 we H_2 bolar.

Set taslamasy ýerine ýetirilende köplenç ýagdaýlarda setiň ýyllyk çykdaýjysyny, hem oňa degişli bolan energiýa ýitgisini azaltmak maksady bilen, galyberse-de, setiň ygtybarlylygyny ýokarlandyrmak üçin geçiriji simleriň

ýogynlygyny artdyrýarlar hem-de sütünleri mäkäm materiallardan göz önünde tutýarlar. Bu ýagdaý bolsa düýpli maýa goýumynyň artmagyna getirýär, başgaça aýdanymyzda eger, bir wariant setiň ýyllyk çykdaýjysy az bolsa, onuň düýpli maýa goýumy kän bolýar, ýa-da tersine, ýagny $H_1 > H_2$ onda $K_1 < K_2$. Şeýle bolanda, artyk çykdaýjy edilýän düýpli maýa goýumynyň öwezini dolduryş wagtyny kesgitleýärler, bu ýagdaý ýyllyk çykdaýjynyň tygşylylygynyň hasabyna ýerine ýetirilýär :

$$T_{o,n} = \frac{K_2 - K_1}{H_1 - H_2} \quad (4.1.2.)$$

Eger, $T_0 = T_{o,n}$, onda deňeşdirilýän wariantlar deň diýip hasap edilýär, wariant saýlawyny setiň başga görkezijileriniň üsti bilen amala aşyrýarlar : reňkli metalyň az sarp edilşi, ygtybarlylygy we ulanylyş amatlylygy we başgalar.

Eger $T_0 < T_{o,n}$ bolsa, onda haýsy wariantda diýpli maýa goýum K we ýyllyk çykdaýjy H az bolsa, şol wariant oňaýly diýip hasap edilýär.

Eger $T_0 > T_{o,n}$ bolsa, onda haýsy wariantda düýpli maýa goýum K az bolsa we ýyllyk çykdaýjysy artyk bolsa-da şol wariant oňaýly bolýar.

Iş ýüzünde iki-üç wariant deňeşdirmesi meseläniň doly çözüdini berip bilmeýär, şol bir wagtda bolsa kän wariantly deňeşdirmeleriň hasaby örän çylşyrymly bolýar. Şeýle bolanda, getirilen harçlama ady bilen belli bolan tehniki ykdysady hasaplama usuly ündew edilýär.

Şu ýagdaýda deňeşdirilýän wariantlaryň tygşylylygy olaryň az harç sarp edijiligi bilen kesgitlenýär.

$$3_{min} = P_{norm} \cdot K + H \quad (4.1.3.)$$

Käbir halatlarda deňeşdirilýän wariantlaryň tehniki görkezijileri deň bolmaýan halatlary hem bolýar, şeýle bolanda olaryň energiýa üpjünçilik mümkinçilikleri tapawutly bolýar,

şol sebäbe görä bolsa, halk hojalyk ýitgisi dürli bolup, umumy çykdaýjy hem özara tapawutlanýarlar. Şeýle bolanda umumy çykdaýjy.

$$3_{min} = P_{norm} \cdot K + H + Y \quad (4.1.4.)$$

bu ýerde: Y - halk-hojalyk ýitgisi ($\frac{man}{ýyl}$) energiýa bökdençiliginden (ýetmezçiliginden) ýüze çykýar zyýan.

Düýpli maýa goýumy $K = K_n + K_{\pi}$

Liniýa üçin sarp edilýän harç K_n - barlag işlerine, liniýanyň ugryny taýýarlamaga, sütünleri oturtmaga, simleri, izolýatorlary ornaşdyrmaga, ýükläp gerek ýerlerine ýetirmäge we oturdyş işlerine sarp edilýär. K_n - podstansiýa harçlary - transformatoryň we beýleki gerek bolan enjamlaryň bahasy we oturdyş - gurnaw bahalary.

$$\begin{aligned} \text{Ýyllyk harç } H &= H_{\pi} + H_{\pi} + H_{\Delta A} = \frac{a_n \% + P_n \% + O_n \%}{100} K_{\pi} + \\ &+ \frac{a_n \% + P_n \% + O_n \%}{100} K_{\pi} + b \cdot \Delta A \end{aligned} \quad (4.1.5.)$$

bu ýerde: a_n , P_n , O_n - amortizasiýa, remont we hyzmat üçin

edilýän harç %;

a_n , P_n , O_n - öňküler, podstansiýa üçin edilýäm harçlar %;

$b = 0,47 \cdot 10^{-2} / kWt \cdot s$ b - 1 kwt·s ýitirilen energiýanyň bahasy, man;

ΔA - ýitirilen energiýa mukdary, kwt·sag.

Awtomatizasiýa tutumyny ($a_n\%$, $a_n\%$) elektrik geçiriji liniýanyň we podstansiýanyň düýpli remonty üçin ýa-da olaryň enjamyny çalyşmak üçin ulanýarlar. Ulanylýan enjamyň ömri näçe gysga boldugyça onuň amortizasiýa tutumy uly bolýar. Mysal üçin, agaç sütünleri howa liniýalarynda ulanylanda metall ýa-da demir-beton sütünlerini

ulanylanlygyna garanyňda amortizasiýa tutumy epesli artykdyr.

Enjamlary işjeň ýagdaýda saklamak üçin derwaýys remonty geçirmeli bolýar we belli bir maýa tutumyny ulanmaly bolýar. Derwaýys remont wagtynda izolýatorlary çalyşýarlar, sütünleri we podstansiýanyň enjamlarynyň daşky gapaklaryny reňkleýärler, käbir döwür- ýenjikleri düzedýärler. Derwaýys remont edilýän çykdaýjy gaty uly bolmaýar.

Elektrik setlerine gözegçilik hem-de hyzmat etmek üçin hyzmatkär saklamaly bolýar, onuň üçin bolsa ýaşaýyş jay we transport serişdelerini göz önünde tutup düýpli maýa goýumynyň belli bir göterimini çykdaýjy etmeli bolýar.

Şeýlelikde, setiň işjeňligini üpjün etmek üçin düýpli maýa goýumynyň belli bir bölegi tutum görnüşinde harç edilýär we aşakdaky tablisada getirilýär.

Elektrik setleriniň dürli elementleriniň talap edýän amortizasiýa, remont we hyzmat tutum koeffisiýentleri

4-1-1-nji tablisa

Setiň elementiniň ady	a, %	P+O, %	a+P+O, %
1. Metal sütünli howa liniýalary	3	2,5	5,5
2. İşlenen agaç sütünli liniýalary	5	4,5	9,5
3. Demir-beton daýançly agaç sütünli liniýa	4	2,5	6,5
4. Demir-beton sütünli liniýalar	3	0,5	3,5
5. Kabel liniýalary	3	1,5	4,5
6. Podstansiýalar	6	2,4	4,5
7. Aýlanyjy maşynlar	8-10	3-5	11-15
8. Awtomatika we telemehanika enjam	6	3	9

§ 4-2 Elektrik energiýanyň kesilmeginden çekilýän tehniki ykdysady zyýan

Liniýada, transformatorlarda, ýazdyryjylarda we beýleki elementlerde näsazlyk ýüze çykmagy ähtimaldyr. Bu elementler elektrik setiniň düzüminde özara bagly bolup, haýsy biriniň işleýşinde näsazlyk dörese elektrik energiýasynyň akymy kesilýär. Sazlaýyş, düzediş işleriniň, ýagny, awariýa remont işleriniň dowamlylygy bolsa köp sebäplere bagly bolýar - näsazlygyň görnüşine, elektrik setiniň haýsy elementinde bolanlygyna, bejeriş işlerini geçirýän ussanyň hünär ussatlygyna, ätiýaçlyk şaýlarynyň el ýüzündeligine, transport üpjünçiligine we başgalara bagly bolup, kä halatlarda bir näçe sagatdan, birnäçe sutka çenli dowam edýär. Set elementleriniň işden çykmagyna dürli sebäpler bolup biler. Mysal üçin tebigy ýagdaýlar bolup biler, ýagny, howa liniýasyny ýyldyrym urup zaýalamagy, izolýatorlaryň üst hapalanmasy zerarly duga ýüze çykmagy, güýçli ýel zerarly ýa-da sim üstün buz emele gelip sim üzülmegi we başga hadysalar. Käbir halatlarda elektrik enjamlarynyň artyk ýük zerarly olaryň izolýasiýasy wagtyndan oň zaýalanmasy elektrik akymynyň togtamagyna getirýär, gözegçi gullugyndaky işgäriň ýalňyş hereketleri sebäpli hem energiýa kesilmesi ýüze çykyp biler.

Energiýa kesilmesini azaltmak, mümkin boldugyndan ony düýbünden ýok etmek maksady bilen set ulanylanda yzygider barlag gözegçilikleri hem-de enjamlar üçin planlaşdyrylan we düýpli bejeriş-sazlaýyş (remont) işleri geçirilip durýar. Şeýle işlere degişli elementleriň işini togtatmazdan, käbir halatlarda bolsa bölekleyin işini togtadyp geçirýärler. Şeýle hyzmat edilende elektrik liniýalaryň ygtybarlylygy artýar. Şeýlelikde, setiň peýdalanyş döwründe onuň her bir elementi, şol wagt aralygynyň belli bir bölegi dowamynda ýa awariýa ýa-da planlaşdyrylan bejerişde (remontda) bolýar. Şeýle ýagdaýyň gatnaşyk dowamlylygyny

bolsa ýeterlik derejedäki takyklykda ýygňalan statistik materiallaryň üsti bilen tapmak bolýar.

Setiň elementleriniň udel zaýalanmasy we olaryň bejeriş (remont) işleriniň dowamlylygy

4-2-1-nji tablisa

Setiň elementi	Zaýalanma görkezijisi		1 km liniya ya 1 obýekt üçin planlaşdyrylan bejeriş işleriniň ähtimal dowam- lylygy
	1 km liniya ya 1 obýekt zaýalan- masyynyň ortaça sany	1 km liniyanyň ya- da 1 obýektin awariya zerarly ortaçaisiz durm- agy	10 yylda sagat
	10 yylda 1 gazak	10 yylda sagat	
1	2	3	4
1. Yokary potentsialy bolan transformatorlar we awtotrans formatorlar			
500 kW	0,3	150	600
330 kW	0,3	120	400
220 kW	0,25	90	300
110 kW	0,2	60	200
35-20 kW	0,2	50	150
6-10 kW	0,05	2	75
2. Paylajyrlardaky liniya birleymeleri			
500 kW	0,6	240	1000
330 kW	0,5	150	800
220 kW	0,4	100	500
110 kW	0,3	40	200
35-20 kW	0,2	25	100
6-10	0,05	2	50
3. 500kW potentsially metal ya- da demir beton sütinli AGB-li howalın	0,06	0,7	1200
330 kW	0,07	0,6	1000
220 kW	0,08	0,5	850
110 kW	0,1	0,4	700
110 kW a.gaç sütinli	0,12	0,55	1700
35kW asmay a ştyrli izolyatorda	0,15	1	700
35 kW metal sütinli asma izolyat.	0,06	0,55	500
10 kW we ondan aşak	0,25	0,6	700
4. Kabel liniyasy 10-3 kW AGB-siz	0,02	0,2	-

Awariýa işsizligi ähtimallygy.

$$P_{aw} = \frac{n_{aw} \cdot t_{aw.r}}{T} = \frac{t_{aw}}{T} \quad (4.2.1.)$$

bu ýerde: n_{aw} - T wagt aralygynda garaşylýan zaýalanma sany (4-2-1-nji tablisa seret) ;

$t_{aw.r}$ - awariýany bejeriş dowamlylygy, sagat ;

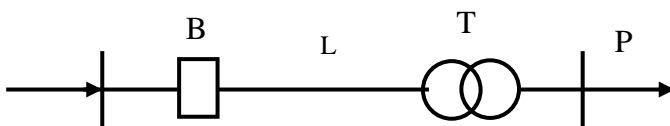
t_{aw} - T wagt aralygynda awariýa işsizlik dowamy.

Planlaşdyrylan bejerişin (planowyý remont) ähtimallygy ;

$$P_{pl} = \frac{t_{pl.r}}{T} , \quad (4.2.2.)$$

bu ýerde: $t_{pl.r}$ - T wagt aralygynda planlaşdyrylan bejerişin dowamlylygy, sagat ; (4-2-1-nji tablisada seret, bu ýagdaýda setin elementi setden üzülen).

Energiýa üpjünçiligi, aýdalyň, birtaraplaýyn ýeke liniýadan amala aşyrylýar diýip çaklalyň (4-2-1-nji çyzgy).



4-2-1-nji çyzgy.

B - birleşdiriji;

L - liniýa ;

T - transformator ;

P - peýdalanyjylar.

Şu ýagdaýda energiýa akymynyň kesilmesi yzygider birleşen elementleriň

(B,L,T) haýsy biriniň awariýa düşen wagtynda ýa-da bolmasa olaryň haýsy biriniň planlaşdyrylan bejeriş (remont) wagtynda ýüze çykýar. Şonuň üçin çylşyrymly hadysanyň ähtimallygy, ýagny energiýa sarp edijileriň (peýdalanyjylaryň) energiýasyz galmaklygy elementleriň awariýa işsizligi hem-de olaryň planlaşdyrylan bejeriş ähtimallyklarynyň jemine deňdir.

Onda şu çylşyrymly hadysanyň ähtimallygy

$$P = P_L + P_T + P_B \quad (4.2.3.)$$

bu ýerde: $P_L = (P_{aw} + P_{pl})_L$ - liniýa üçin

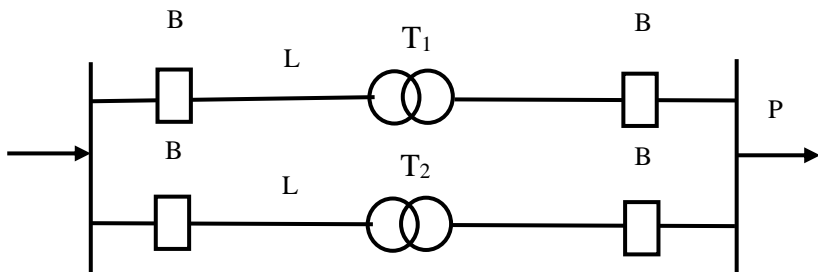
$P_T = (P_{aw} + P_{pl})_T$ - transformator üçin ;

$P_B = (P_{aw} + P_{pl})_B$ - birleşdiriji (ýazdyryjy) üçin.

Eger planlaşdyrylan bejeriş (remont) hemme elementler üçin bir wagtda göz önünde tutulan bolsa (ol şeýle hem bolmaly, sebäbi, yzygider birleşdirilen elementleriň haýsy biriniň hem bolsa işsizligi beýleki elementleriň işsizligine getirýär), onda (4.2.3.) aňlatmada haýsy elementniň planlaşdyrylan işsizligi uly bolsa diňe şony hasaba almak ýeterlikdir. Mysal üçin, transformatoryň planlaşdyrylan işsizlik ähtimallygy beýlekileriňkiden uly diýip hasap etsek, ýagny $P_{pl.T} > P_{pl.L}$, $P_{pl.T} > P_{pl.B}$, onda (4.2.3.) aňlatma aşakdaky görnüşde ýazylar.

$$P = P_{aw.L} + (P_{aw} + P_{pl})_T + P_{aw.B} \quad (4.2.4.)$$

Indi bolsa goşa transformatorly podstantsiýadan energiýa berilişine garalyň (4-2-2-nji çyzgy).



4-2-2-nji çyzgy.

Şeýle ýagdaýda energiýa bökdenciligi haýsam bolsa bir transformatoryň awariýa işsizligi (bu ýagdaý transformatoryň özünde ýa-da birleşdirijiniň (B) öýjüginde bolup biler) beýleki transformatoryň planlaşdyrylan bejergisine (remontyna) gabat gelende ýüze çykyp biler. Iki özara bagly bolmadyk hadysalaryň ýüze çykmak ähtimallygy ol hadysalaryň aýratynlykdaky ähtimallyklarynyň köpeltmek hasylyna deňdir. Şu ýagdaýa eýersek, onda biziň garaýan meselämiz üçin energiýa bökdenciliginiň ähtimallygyny aşakdaky aňlatma bilen kesgitleýis.

$$P = 2P_{aw} \cdot P_{pl} + P_{aw}^2 \quad (4.2.5.)$$

Bu ýerde birinji goşulyjy bir transformatoryň awariýa işsizliginiň beýleki transformatoryň planlaşdyrylan bejerişine (planowyý remont) gabatlaşan ýagdaýyny aňladýar, ikinji goşulyjy bolsa iki transformatoryň hem awariýa işsizliginiň gabatlaşandygyny hasaba alýar.

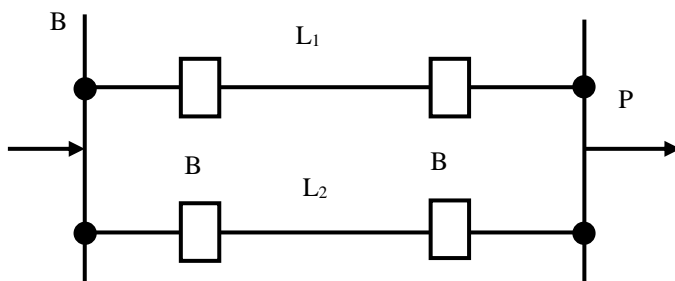
Iki sany özara bagly bolan hadysalaryň ýüze çykmak ähtimallygy olaryň biriniň ähtimallygynyň beýlekisiniň şertleýin ähtimallygyna köpeldilmegine deňdir, ýöne belli bir şert bilen, ýagny birinji hadysa eýýäm bolup geçen diýip hasap etmeli (çaklamaly). Eger şu şertden ugur alsak, onda bir liniýanyň awariýa işsizliginiň beýleki liniýanyň planlaşdyrylan

bejeriş işleri bilen gabatlaşma ähtimallygy aşakdaky ýaly bolar.

$$P = 2K P_{aw} \cdot P_{pl} \quad (4.2.6.)$$

Bu ýerde $K < 0,5$ bir liniýada planlaşdyrylan bejeriş işleri wagtynda beýlekisinde awariýanyň bolmak mümkinçiligini ätiýaçlandyrýar (ýöne tersine dälär). Galyberse-de, biriniň planlaşdyrylan bejeriş işleriniň wagty ýetip gelen hem bolsa, tebigat hadysalary zerarly beýlekisinde awariýa ýüze çykýan halatynda ol işleri wagtlaýynça gaýra goýýarlar. Ine şonuň üçin hem K -koeffisiýentini girizip, energiýa bökdençlik ähtimallygy azalýar diýip hasap edilýär.

Deňtäýly howa liniýalarynyň her liniýasy üçin (başky hem ahyrky birleşdirijileri (B) göz önünde tutup) zaýalanyş ähtimallygy P'_{aw} hem-de ikisiniň bir wagta bolup biljek awariýa ähtimallygy P''_{aw} belli bolmalydyr. Onda, ätiýaçlandyrylan goşa liniýalar üçin ähtimallyk aňlatmasy aşakdaky ýaly bolar.



4-2-3-nji çyzgy.

$$P = 2kP'_{aw} \cdot P_{pl} + P''_{aw} \quad (4.2.7)$$

Birinji goşulyjy bir liniýanyň awariýa işsizliginiň beýleki liniýanyň planlaşdyrylan bejeriş işlerine gabatlaşanyň

aňladýar ýa-da tersine, ikinji goşulyjy bolsa iki liniýanyň hem bir wagtda zaýalanmagyny aňladýar.

Deňtaýly howa liniýalaryň bir ýyl dowamyndaky ($T=8760$ sag) awariýa ähtimallygyny aşakdaky aňlatmalar bilen kesgitlese bolar :

$$\left. \begin{aligned} P'_{aw} &= \frac{(1-0,2)n_{aw} \cdot t_{aw.r}}{8760} \\ P''_{aw} &= \frac{0,2n_{aw} \cdot t_{aw.r}}{8760} \end{aligned} \right\} \quad (4.2.8.)$$

Ähtimallyk ululyklary tapylandan soň energiýa bökdençliginden halk-hojalygyna ýetirilýän zyýany tapyp bileris.

$$Y_2 = y_0 \cdot A_{bökdenç} \quad (4.2.9.)$$

bu ýerde: $A_{bökdenç}$ - energiýa bökdençligi (kesilmesi), köplenç ýagdaýda bir ýylyň bökdençligi alynýa, kwt sagat ;

$$y_0 = 0,6 \frac{\text{dol}}{\text{kwt} \cdot \text{sag}} - \text{energiýanyň udel bahasy}$$

$$A_{bökdenç} = p \cdot P_{max} \cdot T_{max} , \quad (4.2.10)$$

bu ýerde: P_{max} - sarp edijileriň oturdylan kuwwaty, kwt;
 T_{max} - iň uly kuwwatyň peýdalanylýan wagty, sag;
 p - awariýa dowamlylygynyň oňnositel ähtimallygy (ýokarda getirilen formulalar bilen hasaplanylýar).

§ 4-3 Ykdysady taýdan maksada laýyk sim ýogynlygyny saýlap almak

Liniýa gurlanda simiň ýogynlygyny kesgitleme çylşyrymly meseleleriň biri bolup durýar. Ol bir wagtyň özünde mäkäm, durnukly we az çykdajyly bolmaly. Mäkämlik meselesi çözüldi diýip hasap edilenden soň onuň arzanlygyna garalýar.

Onuň üçin bolsa, liniýa edilýän bir ýyllyk çykdaýjynyň sim ýogynlygyna baglylykdaky üýtgewini bilmeli bolýar. Bu çykdaýjy iki bölekden durýar ; bir bölegi $3_1(F)$ sim ýogynlygyna göni bagly bolsa, beýleki bir bölegi $3_2(F)$ sim ýogynlygyna ters baglydyr. Şeýlelikde, liniýa ulanylan wagtda oňa edilýän çykdaýjy aşakdaky görnüşde aňladylyp biliner.

$$3 = 3_1(F) + 3_2(F) \quad (4.3.1.)$$

$3_1(F)$ - funksiýa düýpli maýa goýum bilen gös-göni bagly bolýar. Eger, 1km liniýa gurmak üçin edilýän çykdaýjyny $k_{l(10)}$ bilen bellesek, liniýanyň remontyna hem-de amortizasiýasyna bilelikdäki prosent hasabyndaky aýrywyny (otçisleniýe) $a\%$ diýip bellesek, onda liniýa ulanylanda oňa edilýän bir ýylky çykdaýjy bolar.

$$H_k = K_{l(10)} \frac{a\%}{100} \cdot l \quad (4.3.2.)$$

bu ýerde: l - liniýa uzynlygy, km.

$$K_{l(10)} = K'_0 + K''_0 F, \quad (4.3.3.)$$

bu ýerde: K'_0 - liniýanyň 1km uzynlygyna edilýän sim ýogynlygy bilen bagly bolmadyk çykdaýjy, mysal üçin liniýanyň geçjek ugruny barlamaklyga, liniýa taslamasyna, onuň ugryna ýol gurmaklyga, aragatnaşyk gurnamaklygyna we başgalara ;
 K''_0 -simiň ýogynlugy bilen bagly bolan 1 km liniýa edilýän harç, munuň içine 1km simiň bahasy hem girýär.

Şeýlelikde, liniýa ulanylandaky her ýylda edilýän çykdaýjy

$$H_k = (k'_0 + k''_0 F) l \frac{a\%}{100\%} \quad (4.3.4.)$$

Liniýa gözegçilik hem-de hyzmat etmek üçin edilýän harajat çykdaýjy liniýadaky simiň ýogynlygy bilen bagly bolman soň, ol çykdaýjylar maksada laýyk sim saýlananda göz önünde tutulman biliner.

Her ýylky çykdaýjynyň ikinji bölegine garalyň, ýagny 3₂ (F). Bu çykdaýjy energiýa ýitgisi bilen baglydyr. Sim ýogynlygy näçe uly bolsa, şonça-da energiýa ýitgisi az bolýar, diýmek, sim ýogynlygy bilen ters proporsionallykdadyr.

1kWt-sag energiýa ýitgisiniň bahasyny b - bilen belläp, bir ýyllyk energiýa ýitgisine edilýän çykdaýjyny taparys :

$$H_A = b \cdot \Delta A = b \cdot 3I_{\max}^2 \cdot r \cdot \tau ,$$

ýa - da

$$H_A = b \cdot 3I_{\max}^2 \tau \frac{\rho l}{F} \quad (4.3.5.)$$

$$H = H_k + H_A = \frac{al}{100} (K'_0 + K''_0 F) + 3I_{\max}^2 b \cdot \tau \frac{\rho l}{F} \quad (4.3.6.)$$

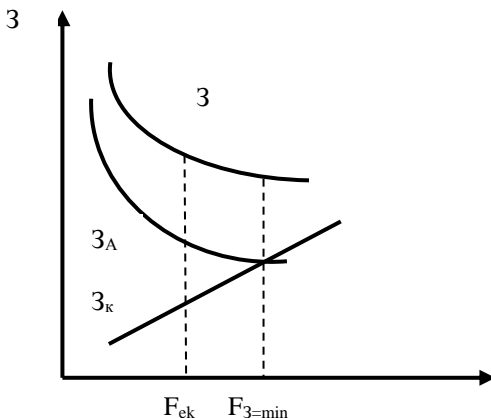
Onda (4.3.4.) we (4.3.5) aňlatmalany göz önünde tutup, simiň ýogynlygy bilen bagly her ýylky liniýany ulanmak üçin edilýän çykdaýjyny taparys :

$$H = H_k + H_A = \frac{al}{100} (K'_0 + K''_0 F) + 3I_{\max}^2 b \cdot \tau \frac{\rho l}{F} \quad (4.3.7.)$$

Onda umumy bir ýylky çykdaýjyny liniýa edilýän bir ýylky harç bilen düýpli maýa goýumynyň bir ýala düşýän (getirilen) ululygyny jemläp taparys :

$$3 = (P_{norm} + \frac{a}{100})(k_0' + k_0''F)l + 3I_{max}^2 b \tau \frac{\rho l}{F} = 3_k + 3_A \quad (4.3.8.)$$

Görkezilen 4-3-1-nji çyzgyda çykdaýjylaryň sim ýogynlygyna bagly iki hili 3_A we 3_k hem-de jemleýji 3 çykdaýjylar getirilendir.



4.3.1.-nji çyzgy. Bir ýyla getirilen çykdaýjynyň sim ýogynlygyna baglylygy.

$3 = f(F)$ grafige garap, sim ýogynlygynyň belli bir bahasynda umumy çykdaýjynyň in az ululygyny görýäris. Şonuň üçin, az çykdaýjyly sim ýogynlygyny (4.3.8.) aňlatmadan çykdaýjyny sim ýogynlygyna görä differensirläp we ony nula deňläp taparys :

$$\frac{d3}{dF} = (P_{norm} + \frac{a}{100})K_0'' - 3I_{max}^2 \cdot b \cdot \tau \frac{\rho}{F_{3=min}^2} = 0$$

$$F_{3=min} = I_{max} \sqrt{\frac{3 \rho \cdot \tau \cdot b}{(P_{norm} + \frac{a}{100})K_0''}} \quad (4.3.9.)$$

Getirilen çykdaýjynyň ululygy sim ýogynlygynyň birneme üýtgäni bilen aýratyn bir üýtgäp durmaýar, sebäbi, grafikden görnüşi ýaly onuň aç-açan minimumy görnüp duranok. Şonuň üçin sim ýogynlygyny çykdaýjy azlygyna deňişli ýogynlykdan birneme az edilip alynsa, onda reňkli metal harjy we beýleki material tygşytlylygy alynar. Netijede, liniýa gurnawyna düýpli maýa goýumyny getirilen çykdaýjynyň beýle artmazdan azaldyp bolar. Şeýle nukdaý nazardan alnan sim ýogynlygyna simiň ykdysady peýdaly kese-kesigi diýilýär hem-de gelejekde F_{ek} - ýaly edip bellejekdiris.

Simiň bu ýogynlygyna ykdysady peýdaly tok dykzylygy deňişlidir

$$j_{ek} = \frac{I_{\max}}{F_{ek}} , \quad (4.3.10.)$$

(4.3.9.) aňlatmany göz önünde tutup tok dykzylygyny başgaça görnüşde aňladyp bolar.

$$j_{ek} = \frac{I_{\max}}{K_{ek} \cdot F_{3=\min}} = \frac{1}{K_{ek}} \sqrt{\frac{(P_{norm} + \frac{a}{100})K_0}{3\rho \cdot \tau \cdot b}} , \quad (4.3.11.)$$

bu ýerde: $k_{ek} < 1$ koeffisiýent, sim ýogynlygynyň kiçeldilip alynanyny göz önünde tutýar.

$$P_{nom} = \frac{1}{Tok} = 0,12$$

-elektroenergetika pudagy
üçin ulanylýan normatiw
koeffisiýent ady bilen belli ulylyk.

Tok - düýpli maýa goýumynyň öwezi
dolunýan wagt

Tok dykzlygy j_{ek} ýitirilen energiýa bahasyna, liniýa gurnaw bahasyna, amortizasiýa, remontaýruwlara hem-de P_{norm} - koeffisiýente bagly. Bu ululyklar bolsa halk hojalyk ýagdaýyna, onuň energetikasyna hem-de wagtyň tehniki syýasy garýýşlaryna bagly bolup durýarlar. Şonuň üçin taslamalar ýerine ýetirilende dürli hili çemeleşmeler bolmaz ýaly, energetika düzgünnama astynda onuň ululygy görkezilýär hem-de şol görkezmeden ugur almalydygy ündelýär. Aşaky tablisadaşol ululyklar getirilendir.

Potensial 330 kw-dan aşakda bolan howa hem-de 110 kw-dan aşakda bolan kabel liniýalary üçin hödürülenýän tok dykzlyklary, A/mm²(Orta Aziýa).

4-3-1-nji tablisa

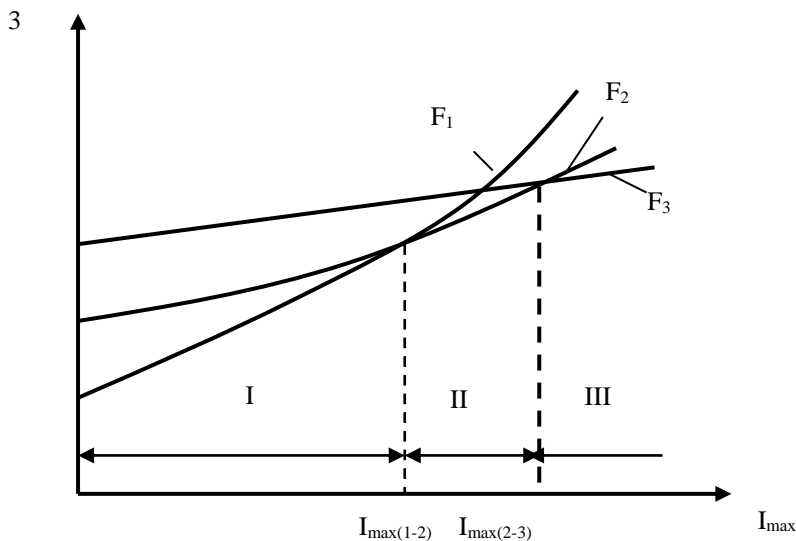
Geçirijiler	Maksimun ýükiň		
	1000-3000	3000-5000	5000-7000
1	2	3	4
Açyk mis simler we şinalar	2,5	2,1	1,8
Açyk alýumin simleri we şinalary	1,5	1,4	1,3
Kagyz örtükli kabeller we rezin we polihlorwinil izolýasiýaly :	3,0	2,5	2,0
a) mis geçirijili	1,8	1,6	1,5
b) alýumin geçirijili			
Rezin we plastmassa izolýasiýaly kabeller			
a) mis geçirijili	3,5	3,1	2,7
b) alýumin geçirijili	2,2	2,0	1,9

Sim saýlawyny tygşytly tok dykzlygy j_{ek} bilen amala aşyrmak liniýa taslamalaryny belli bir galyplaşan görnüşe getirmäge ýardam etse, şol bir wagtyň özünde bolsa bu ýagdaý

häzirki döwriň iş tejribesindeki ýöriteleşdirilip goýberilýän sütünleri ulanmakdaky käbir aýratynlyklary we mümkinçilikleri göz önünde tutup bilmeýär.

Senagatda goýberilýän ýöriteleşdirilen sütünleriň sanly görnüşiniň her haýsysy simleriň birnäçe ýogynlykdakylaryny asмага mümkinçilik berýär. Onda görnetin zat, sütün ornuny çalşandan sim ornuny çalşan amatly.

Şu aýratynlyklary welin, "tygşyly aralyklar" ady bilen belli bolan usul (çemeleşme) göz önünde tutýar. Munuň manysyna düşünmek üçin $3=f(F)$ funksiýanyň grafigine garalyň (4-3-2-nji çyzgy.).



4-3-2-nji çyzgy.

Grafik (4.3.8.) aňlatmanyň esasynda ýerine ýetirilen. Grafikden görnüşi ýaly, getirilen çykdaýjynyň I_{max} toga baglylykdaky üýtgew kwadrat derejeli parabola şeklinde bolýar. Ondan görnüşi ýaly kese-kesigi uly bolan simiň getirilen çykdaýjysyndaky üýtgewsiz bölegi ulydyr we üýtgewli bölegi bolsa haýal ösýändir. Bu ýagdaý $3=f(I_{max})$

funksiýalaryň (egrileriň) kesişmegine getirýär. Görnetin zat, kesişme nokatlarynda simiň iki hili kese-kesigi (ýogynlygy) bar. Mysal, togyň $I_{max} = I_{max(I-2)}$ bahasynda F_1 we F_2 kese-kesigi bolan simleri ulanylanda getirilen çykdaýjy deň bolýar. Onda tok ululyklary sim ýogynlygyna baglylykda belli aralyklara bölünýän ekeni. Şonuň üçin I - aralykda F_1 kese-kesikli, II - aralykda F_2 kese-kesikli we III - aralykda bolsa F_3 kese-kesikli simleri ulanmaklyk tygşytlylyk maksatlara laýyk gelýär.

Potensialy 330- kw we ondan ýokary bolan howa liniýalary we potensialy 110 kw we ondan ýokary bolan kabel liniýalary üçin tok dykzygy normirlenmeýär (ölçeglenmeýär).

§4-4 Simiň gyzyş şertine saýlanyp alynmagy

Simiň üstinden tok geçende ol gyzyýar. Şonuň üçin hem simi tok ululygynyň belli bir çägene garap almaly bolýar. Her simiň ýogynlygyna, materialyna we taýýarlanylş usulyna degişlilikdäki tok çäklendirmeleri degişli edebiýatlarda tablisalar görnüşinde getirilýär, şolardan peýdalanylýan gyzmazlyk şertine laýyklykda sim saýlawyny amala aşyrýarlar.

Dowamly tok ýükli rezin ýa-da poliwinilhlorid izolýasiýaly simler, rezin izolýasiýaly şnurlar hem-de kabeller üçin olaryň gyзма температурasy $+65^{\circ}\text{C}$, daşyny gabap alan howanyň температурasy $+25^{\circ}\text{C}$ we ýeriň температурasy $+15^{\circ}\text{C}$ diýip kabul edilendir. Izolirlenmedik simler üçin olaryň çäklendirilen gyзма температурasy $+70^{\circ}\text{C}$ deňdir.

Eger geçirijiniň tok ýüki (çäklendirilen ululygy, ýagny $I_{\text{çäk}} = I_{\text{dop}}$) ýokarda görkezilen temperatura çäklerinden başga şerte hasaplamaly bolanda, onda

$I'_{\text{çäk}} = I_{\text{çäk}} \cdot K_t$ edip tapmaly ;

$$\text{bu ýerde } K_t = \sqrt{\frac{t' - t'_{\text{daş}}}{t_{\text{çäk}} - t_{\text{daş}}}} \quad (4.4.1.)$$

t' -temperaturanyň täze şerti; $t'_{daş}$ - gurşap alan sredanyň temperaturasynyň täze şerti; $t_{çäk}$ - daşky sredanyň hasap üçin kabul edilen temperaturasy, $+25^{\circ}\text{C}$.

Eger, sim şol bir ýogynlygynda, ýöne başga materialdan bolsa, onda onuň çäklendirilen tok ýükini täzedan tapmaly :

$$I''_{dop} = I''_{çäk} = I_{dop} \sqrt{\gamma'' / \gamma'} \quad (4.4.2.)$$

γ'' - täze (başga) simiň udel geçirijiligi.

Mysal 1. Önümçilik jaýynda açyk howada ornaşdyrylan 25 mm^2 kese-kesigi bolan ПП markaly izolirlenen simiň çäkli tok ululygyny tapmaly. Jaýyň içiniň temperaturasy $+35^{\circ}\text{C}$.

Çözülşi 1. Değişli tablisadan mis sim üçin $+25^{\circ}\text{C}$ şertine laýyklanan tok çäklendirmesiniň ululygyny taparys : $I_{çäk} = I_{доп} = I_{çäk} = 140 \text{ A}$, $Tok_p = +25^{\circ}\text{C}$. Şertde görkezilşi ýaly sim $+35^{\circ}\text{C}$ temperaturada, onda

$$K_t = \sqrt{\frac{65 - 35}{65 - 25}} = 0,87$$

onda sim täze şertde az yük göterer

$$I'_{дон} = I_{дон} \cdot k_t = I_{çäk} \cdot k_t = 140 \cdot 0,87 = 122 \text{ A}$$

Mysal 2. Meseläniň şerti öňkiligine, ýöne hasaby АПП markaly alýumin sim üçin geçirmeli. Değişli tablisadan $I_{дон} = 105 \text{ A}$ diýip tok ýükini alýarys we täze şerte laýyklarys :

$$I'_{дон} = I_{дон} \cdot k_t = 105 \cdot 0,87 = 91,5 \text{ A}$$

Şu sany başgaça çemeleşip hem tapsa bolar :

$$I''_{дон(А)} = I_{дон(М)} \sqrt{\frac{\gamma_A}{\gamma_M}} = 122 \sqrt{\frac{32}{53}} = 92 \text{ A}$$

§ 4-5 Elektrik sarp edijileri we seti goraýjy apparatlaryň alynysy

Goraýjy apparatlara ereýji goraýjy apparatlar (predohraniteller), awtomatlar, dürli releler we serişdeler girýärler. PIP markaly fibra turbaly, söküp bolýan içi zatdan doldurylmadyk, kwadrat farfor turbaly söküp bolýan, içi kwars bilen doldurylan ПИ, söküp bolmaýan içi kwars çägelі НПН markaly we ННН söküp bolýan görnüşli setiň we birleşmeleriň belli bir bölegini gysga birleşmeden hem-de artyk öte ýüklerden goraýan ereýji-goraýjylar giňden ulanylýarlar ПП-2-1000A toga çenli ýasalýar, ННН görnüşdäki ereýji-goraýjylar - 60 we ННН - 600 A çenli goýberilýär. Ýarymgeçirijili enjamlary goramak üçin bolsa tiz hem-de ýokary mümkinçilikli ýazdyrylyşly ПНБ-5, ПП-57, ПП-31 gornüşdäki potensialy 380 w bolan ereýji-goraýjyly 100-den tä 400 A toga çenli ýüki geterýän serişdeler goýberilýär.

Ereýji-goraýjyny aýry sowgutlar üçin iki şerte görä almalydyr :

- 1) ereýji-goraýjynyň nominal togy I_b setiň işçi togunden I_p uly ýa-da oňa deň bolmalygyr : $I_b \geq I_p$ (yşyklandyryjylar hem-de faza rotorly dwigateller üçin bolsa $I_b = 1,1 I_p$) ;
- 2) ýük häsiýetine baglylykda ereýji-goraýjynyň togy aşakdaky ýaly kesgitlenilýär : liniýadan 1 sany gysga birleşme rotorly asinhron elektridwigatel iýmitlenýän bolsa

$$I_b = \frac{I_{pusk}}{\alpha} = \frac{I_{goýberlş}}{\alpha} = \frac{I_{max}}{\alpha},$$

bu ýerde: koeffisiýent $\alpha = 2,5$ eger, elektrodwigateliň sete birleşip-aýrylmasy seýrek amala aşyrylýan bolsa, $\alpha = 1,6 \div 2$ eger, elektrodwigatel häli-şindi sete birleşip-aýrylyp duran bolsa ýa-da onuň goýberiliş şerti agyr bolsa.

Maksimal ýa-da goýberliş tok

$$I_{max} = I_{goýb} = I_{pusk} = I_{nom} \cdot K_{III}$$

bu ýerde: I_{nom} - dwigateliň nominal togy, K_{III} - goýberliş togyň nominal toga bolan gatnaşygy (gatnaşyk koeffisiýenti).

Ikinji şert ýşyklandyryjy öýjüklere degişli dälendir.

Eger setden topar elektrodwigateller iýmitlenýän bolsalar, onda ereýji-goraýjynyň togy üç şerte görä alynmalydyr.

$$1. \quad I_b \geq K_0 \sum_{i=1}^n I_{pi}$$

bu ýerde: K_0 - birwagtlaýyn koeffisiýent ;

$i = 1, 2, \dots$;

n - elektrodwigatelleriň umumy sany (eger $n \leq 3$ $K_0=1$ we $n \geq 3$ $K_0 < 1$) ;

I_{pi} - i dwigateliň iş togy.

$$2. \quad I_b \geq K_0 \sum_{i=1}^{n-1} I_{pi} + \frac{I_{pusk, max}}{\alpha}$$

Bu ýerde birinji goşulijy $n-1$ elektrodwigateliň iş togunyň jemi ; ikinji goşulijydaki $I_{pusk, max}$ - iň uly goýberliş tokly dwigateliň togy ; α - öň belleýşimiz ýaly dwigateliň iş şertine bagly koeffisiýent.

3. Tapawutlandyryş şerti. Setiň düzümi birnäçe basgançakdan durýan bolsa, ahyrky basgançakdan başlap iýmitlendiriji punkta tarap ereýji-goraýjylaryň togy biri-birinden bir-iki basgançak uly bolup gitmelidir (alynmalydyr).

Şeýlelikde, alnan ereýji-goraýjylaryň toklaryna garap, simden goýberilmeli togyň çäginu kesgitläp bolar. Eger set

gysga birleşmeden hem-de öte ýükden goramaly bolsa, onda simiň tok çäklendirilmesi $I_{\text{çäk}} \geq 1,25 I_b$, eger sim diňe gysga birleşmeden goragly bolsa, onda $I_{\text{çäk}} \geq 0,33 I_b$, ýöne hemişe $I_{\text{çäk}} \geq I_p$.

Awtomatlary setiň haýsam bolsa bir bölegini tok gysga birleşmesinden, öte ýükden ýa-da potensial peselmesinden gorag serişdesi hökmünde ulanýarlar. Awtomatlaryň konstruksiýasy özlerinde rele görnüşinde oturdylan ýazdyryjylary bilen tapawutlanýarlar. Maksimal tok (elektromagnit ýa-da ýylylykly), minimal potensial (nulewyýe) we özbaşdak ýazdyryjyly diýip tapawutlandyryýarlar. Elektromagnit ýazdyryjy iş ýüzünde 0,02 sekunda sazlap goýlan tok ululygyndan geçende işe girýär. Iki ýazdyryjy bilelikde ulanylanda gysga birleşmede elektromagnit ýazdyryjy, göz-açyp ýapasy salym diýilýän aralykda seti üzýär (ýazdyrýar), eger öte ýük bolanda bolsa belli bir salymdan soň ýylylyk ýazdyryjy seti üzýär. Eger setiň potensialy kiçelip 70-30% ýetse, onda bolsa minimal potensial ýazdyryjy işe girýär.

Awtomat saýlap almaklygyň şertleri:

- 1). Awomatyň nominal potensialy setiň potensialyna laýyk bolmaly, ýagny : $U_{\text{nom.awt}} \geq U_{\text{set}}$;
- 2). Awomatyň nominal togy işçi toga gabat gelmeli ýa-da uly bolmaly : $I_{\text{nom.awt}} \geq I_p$;
- 3) Awomatyň ýazdyryjysynyň nominal togy işçi toga deň bolmaly (elektrodwigateliň) ýa-da artyk bolmaly : $I_{\text{nom.ýaz}} \geq I_p$;
- 4) Awomatyň elektromagnit ýazdyryjysynyň dogry işleýşi: $I_{\text{iş.ýaz}} \geq 1,25 I_{\text{max}}$ şerti kanagatlandyrmaly.

Jaýyň içinde ornaşdyrylan daşy ýanyjy örtükli ýa-da izolirlenen açyk görnüşde geçirilen set öte ýükden hökmany suratda goralan bolmalydyr, ýagny setiň çäklendirilen togy $I_{\text{çäk}} \geq 1,25 I_{\text{nom.ýaz}}$.

Şeýle şerte ýaşaýyş hem-de jemgyýetçilik jaýlaryndaky yşyklandyryjy setler we ýangyn zonalaryna gabatlaşýan setler degişlidirler. Eger set ýylylyk ýazdyryjysy bilen goragly bolsa, onda onuň çäklendirilen toguny

$$I_{\text{çäk}} \geq 0,67 I_{\text{ýyl. ýaz}} \quad \text{ýa} - \text{da} \quad I_{\text{çäk}} \geq \frac{I_{\text{ýyl. ýaz}}}{1,5}$$

Elektromagnit ýazdyryjyly goragy bolsa , onda

$$I_{\text{çäk}} \geq 0,22 I_{\text{e.m. ýaz}} \quad \text{ýa} - \text{da} \quad I_{\text{çäk}} \geq \frac{I_{\text{e. ýaz}}}{4,5}$$

Her ýagdaýda-da $I_{\text{çäk}} \geq I_p + I_{\text{işçi}}$

Eger setiň goragy üçin ýylylyk ýazdyryjyly awtomat ulanylan bolsa, onda gysga birleşme ähtimallygyny göz önünde tutup awtomat bilen yzygiderlikde ereýji-goraýjyly serişdäni ulanylsa has gownejaý bolar.

§4-6 Reaktiw kuwwatyň öwezini dolma

Elektrik ulgamyna birleşen elektrik sarp edijileri diňe bir aktiw kuwwat sarp edip durman, reaktiw kuwwaty hem sarp edýärler. Reaktiw kuwwaty sarp edijileriň esasyalarynyň biri asinhron dwigatellerdir. Reaktiw kuwwatlylygyň bir bölegi transformtorlaryň sargylarynda hem-de liniýanyň reaktiw garşylygynda ýitip galýar. Şu sebäplere görä elektrik stansiýalarynda oturdylan sinhron generatorlar aktiw energiýa bilen birlikde reaktiw energiýany hem öndürmeli bolýar.

Generatorlaryň sete berýän doly kuwwaty aşakda getirilen aňlatma üsti bilen aňladylýar, ýagny

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = P + jQ , \quad (4.6.1.)$$

bu ýerde: P we Q - setdäki sarp edijileriň aktiw hem reaktiw kuwwatlary.

Generatorlaryň kuwwat koeffisiýenti ($\cos \varphi$) umuman $0,8 \div 0,85$ ululukda bolýar, şeýle bolanda generatorlar nominal aktiw kuwwatlylygy bermäge ukyply bolýar. Ehergiýa sarp edijileriň hem özleriniň kuwwat koeffisiýenti bolýar, eger ol bellenen ululykdan kiçelse (peselse), generatoryň kuwwat koeffisiýentini kiçeldýär, bu ýagdaý bolsa generatoryň

üýtgewsiz doly kuwwatynda onuň aktiw kuwwatynyň azalmagyna getirýär. Şeýlelikde, sarp edijileriň kuwwat koeffisiýentiniň peselmegi generatoryň kuwwatyny artdyrmagy talap edýär, ondan hem ötri setiň we transformatorlaryň geçirijilik kuwwatynyň artdyrmagyna alyp barýar. Bu ýagdaý bolsa artyk çykdaýjylary talap edýär.

Häzirki zaman elektrik ulgamlaryna (sistemalaryna) kän sanda transformatorlardyr iňňän uzynlykly elektrik liniýalary (geçirijileri) çatylandyr, olaryň bolsa ýeterlik reaktiw garşylyklary bardyr, şol sebäpli-de olarda uly potensial ýitgisi bolup geçýär, reaktiw kuwwat ýitgisi ýüze çykýar.

Reaktiw kuwwatlyk liniýadan geçende potensial ýitgisine getirýär, ýagny,

$$\Delta U = \sum_1^n \frac{P \cdot R + QX}{U} \quad (4.6.2.)$$

Bu ýerden görnüşine görä, reaktiw kuwwatlyk Q hem-de reaktiw garşylyk X sarp edijiler birleşmesinde potensial kemligini döredýär. Potensial ululygynyň nominal bahadan haýsy tarapa bolanda-da üýtgewi enjamyň saz işlemegini bozýar, önümiň hili gaçýar, enjamyň hyzmat ediş ömri azalýar.

Reaktiw kuwwat akymynyň artmagy set element lerindäki aktiw kuwwat ýitgisini artdyrýar, otrisatel täsir edýär, bu ýagdaýy aşaky aňkatmadan aňsa bolar :

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad (4.6.3.)$$

Umuman, öň belleýşimiz ýaly, kuwwat koeffisiýenti ($\cos \varphi$) reaktiw kuwwat akymynyň ölçegi hökmünde bolup durýar

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

onda bu ululygy (4.6.3.) aňlatma goýup aşakdaky görnüş alarys

$$\Delta P = \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \phi} \cdot R \quad (4.6.4.)$$

bu görnüşe görä, aktiw kuwwat ýitgisi kuwwat koeffisiýentiniň kwadratyna ters proporsional.

Şeýlelikde, potensial hem-de energiýa ýitgisini azaltmak üçin set arkaly berilýän reaktiw energiýanyň azlygyna dalaş etmeli. Muňa bolsa şeýle çäreler bilen ýetmek bolar :

- 1) elektrik enjamlarynyň sazlaşykly işini gazanmaly.
- 2) reaktiw energiýa mätäçligini sarp edijiniň set birleşmesinde öwezini doldurmaly.

Su ýerde ýene-de bir zady bellemeli, ol hem bolsa, potensial ýitgisini hem-de energiýa ýitgisini liniýa yzygider kondensator birleşdirme ýoly bilen-de azaldyp bolar.

Geliň indi, ýokarda agzalan reaktiw energiýa bilen bagly bolan setiň iş durkunyň oňaly ýagdaýa getirme ýollaryna aýry-aýrylykda serenjam bereliň :

- 1) elektrik enjamlarynyň sazlaşykly işi barada.

Kärhananyň has amatly elektrik üpjünçiligi enjamlary herekete getiriji dwigatelleriň kuwwatynyň olaryň mehanizmleriniň talap edýän kuwwatyna örän takyk edilip alynmagyna baglydyr. Bu şerti kärhana taslamasy ýerine ýetirilýän döwürde berjaý etmelidir. Kärhana işe girenden soň bolsa käbir sebäplere görä, birnäçe enjamlardaky oturdylan dwigateller doly kuwwatynda işlemeýän halatlary ýüze çykýar. Ine, şonuň ýaly ýagdaýlarda olaryň kuwwatlyklaryna mehaniki ýüke görä sazlamaly, ýa-da tehnologiýa enjamyň ýüküni geregiçe artdyrmaly. Şeýle edilende asinhron dwigatelleriň kuwwat koeffisiýenti ýokarlanýar we az ýitgä sezewar bolýar. Mysal üçin, eger elektrodwigatel nominal ýükünde onuň kuwwat koeffisiýenti $\cos \varphi = 0,8$ bolsa, onda nominal ýüküni iki esse azaltsak, ýagny 50% ýükde işletdek,

onuň kuwwat koeffisiýenti $\cos \varphi = 0,6$ bolar. Kuwwat ýitgisinde bolsa bu koeffisiýent kwadrat ululygynda ters proporsionallykda ulanylýar, şeýle bolansoň onuň azajyk üýtgewi ýitgi ululygyna uly täsirini ýetirýär. ($\cos \varphi = 0,8$, $\cos^2 \varphi = 0,64$ eger $\cos \varphi = 0,6$ onda $\cos^2 \varphi = 0,36$). Şol bir sany 0,64 hem-de 0,36 bölsek örän tapawutly netije alarys

Umuman maksat liniýadan akyp geçýän reaktiw kuwwatlylygy azaltmakda durýar. Şonuň üçin , eger mümkin bolsa asinhron dwigatelleri sinhron ýa-da sinhronlaşdyrylan asinhron dwigateller bilen çalşyrmaly. Sinhron hem sinhronlaşdyrylan asinhron maşynlary artdyrylan oýandyrylyş (perewozbuždeniýe) şertlerinde setden örän az reaktiw kuwwat alýarlar ýa-da has artdyrylan oýandyrylyşda olaryň özleri sete reaktiw kuwwatlyklary berip bilýärler (ýagny otrisatel kuwwat koeffisiýentinde işläp bilýarler). Elbetde, bu ýagdaýy hemişe ulanyp bolmaýar.

Ýokarda belleýşimiz ýaly az ýükli elektrik enjamlaryny ýüke görä kuwwatyny saýlamaly. Bu ýagdaý az ýükli transformatorlara hem degişlidir. Iki transformatorly podstantsiýalarda olaryň ýüki azalan pursatlarynda (mysal üçin gijede) birini işden aýyryp, atýaçlyk ýagdaýynda saklaýarlar.

2) Reaktiw energiýanyň öwezini doldurma barada.

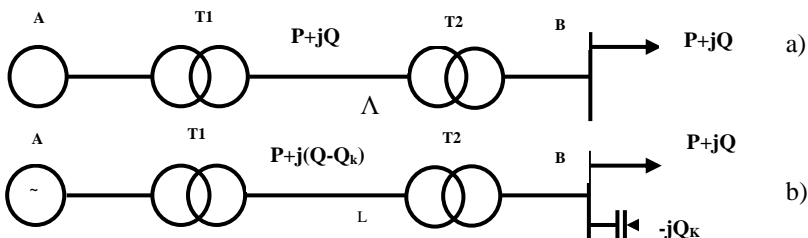
Ýokarky bölümdäki agzalan çäreleri geçirmek bilen elektrostansiýadan sarp edijiler aralygyndaky setiň üstünden akýan reaktiw energiýanyň az bölegini kemeltmek bolar. Tebigy kuwwat koeffisiýenti $\cos \varphi_t$ (ýestestwennýý koeffisiýent) diýilýän ululyk (diňe sarp edijileriň hiline we häsiýetine bagly) 0,75-0,85 bolýar, has gowy ýagdaýynda 0,85-e ýetýär. Galyberse-de bu ululyklar kabul ediji podstantsiýanyň şinasynda bolup biläýjekleridir. Eger de biz ýokary woltly liniýadaky hem-de transformatordaky ýitgileri hasaba alsak, onda generatorlary ony ýasan zawodyň görkezen ($\cos \varphi = 0,8-0,85$) kowffisiýentinden hem aşakda işlemeli boljakdyrlar.

Bu ýagdaýlary göz önünde tutup, generatorlar nominal görkezijilerinde işläp ýaly etmek üçin reaktiň kuwwatlyklary

olaryň sarp edilýän ýerlerinde öndürmeklik maksada laýyk bolýar. Şeýle çeşmeler hataryna sinhron kompensatorlary (öwezini dolyjylary) we statik kondensatorlary goşmak bolar. Bulardan başga-da senagat enjamlarynda kompensasion özgerdijiler hem-de tiristorly reaktiw kuwwat çeşmeleri ulanylyp bilner.

Potensialy 1000 W çenli hem-de 6-10 kW potensially setlerde köplenç halatlarda statik kondensatorlar ulanylýar. Potensialy 6-10 kW bolan ulgamlarda, setlerde kabul edişi podstantsiýanyň şinasynda sinhron reaktiw çeşmesini dakýarlar.

Bu serişdeler sete reaktiw kuwwatlyklary berýärler.



4-6-1-nji .Energiýa beriş sudury :

a - reaktiw energiýa çeşmesi ýok ;

b - reaktiw energiýa çeşmeli.

4-6-1-nji çyzga garalyň, elektroenergiýa A elektrostansiýadan B sarp edijiler podstantsiýa berilýar. Kuwwat möçberi (ýitgi göz önünde tutulmazdan) $P+jQ$. Eger sarp edijileriň golaýynda kuwwaty Q_k bolan statik kondensatory oturtsak (çatsak), onda setiň üstünden berilýän kuwwat üýtgar hem-de $P+j(Q-Q_k)$ ululyga eýe bolar.

Şeýlelikde, elektrostansiýadan alynýan reaktiw kuwwatlyk kondensatoryň öndürýän kuwwatynyň möçberi ýaly azaldy, başgaça aýdanymyzda elektrostansiýadan gelmeýän reaktiw kuwwatlylygyň öwezi kondensatoryň kömegi bilen dolduryldy.

Reaktiw kuwwatlylygyň öwezi doldurylanda potensial ýitgi hem azalýar. Eger ýerli reaktiw kuwwat çeşmesi ýok wagtynda potensial ýitgisi

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + QX}{U}$$

bolýan bolsa, onda öwezi dolduryjy reaktiw çeşme bar wagtynda ol ýitgi

$$\Delta U_k = \frac{P \cdot R + (Q - Q_k)X}{U} \quad \text{bolardy.}$$

Aýdylanlardan gelip çylyşy ýaly, kompensir (reaktiw energiýa çeşmesi) näçe energiýa sarp edijä golaý ýerleşdirilse, şonça-da setiň köp bölegini reaktiw energiýa mätäçliginden dyndarýar we öwezini dolduryş täsiri artyk bolýar. Ýöne, bir zady (ýagdaýy) aýratyn belläp geçmelidir. Ýagny, kiçi kuwwatly çeşmäniň

1 kWAr kuwwatynyň bahasy uly kuwwatly çeşmäniňkiden ýokary bolýar, kuwwat ululygy bolsa potensial ululyk bilen bagly bolýar. Şonuň üçin bolsa çeşme saýlawy we onuň sete dakylmaly ýeri hakyndaky meselä örän seresaplylyk bilen hem aýdyňlaşdyryp çemeleşmelidir.

Ýokary kuwwatly hem ýokary woltly raýon podstantsiýalarynda köplenç sinhron reaktiw energiýa çeşmelerini ulanýarlar.

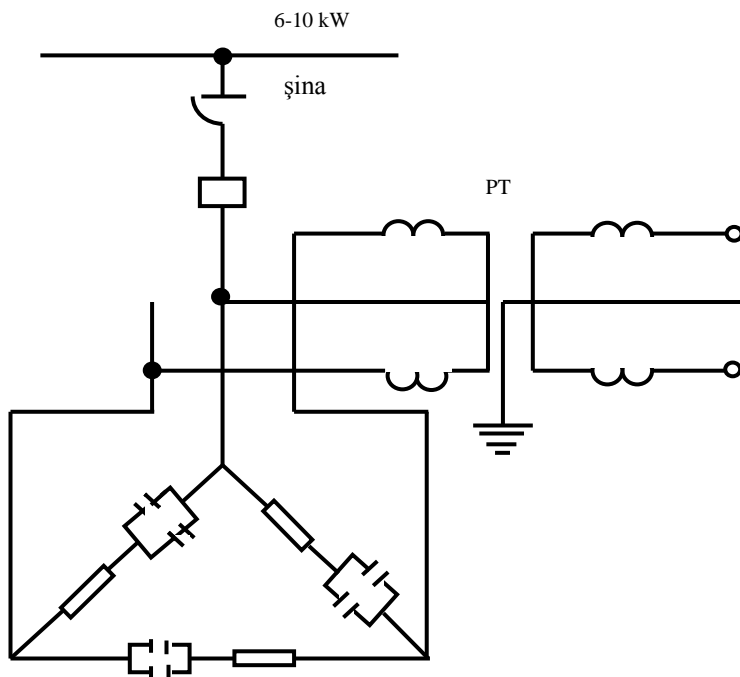
§ 4-7 Kondensator enjamlary

Ýerli setlerde reaktiw energiýa çeşmesi hökmünde ulanmak üçin 220, 380 we 660 W potentsiallarda gabatlap üç fazaly görnüşde edip, kuwwatlylygy 3-den 10 kWAr bolan kondensator enjamlaryny goýberýärler, 1,05; 3,15; 6,3 we 10,5 kW potentsiallara gabatlap bolsa bir fazaly görnüşde 13-den 75 kWAr kuwwatly kondensatorlar goýberilýär.

Her bir aýry kondensatoryň kuwwatynyň uly bolmaklygy sebäpli ulanylanda olary parallel birleşdirip:

bütewi batareýa görnüşinde çatýarlar, ykjam gapda (şkafda) ornaşdyrýarlar. Şeýle batareýalaryň birnäçesinden toparlar ýa-da seksiýalar emele getirip sete çatýarlar. Şeýle edilende basgançaklar boýunça hem kuwwatyny hem-de potensialyny sazlaşdyrmak bolýar.

Kondensator enjamlaryny aýratynlykda, toparlar görnüşinde hem-de merkezleşdirilip ulanyp bolar. Aýratynlykda ulanylanda ony dwigareliň set birleşmesine çatýarlar, toparlaýyn ulanylanda şinanyň potensialy **660-Woltdan** geçmeýän ýagdaýda umumy şina dakýarlar. Merkezleşdirilip peýdalanylanda bolsa 6-10 kW potensialy bolan şina çatýarlar. Kondensatorlary köplenç üçburçlyk görnüşde edip liniýa potensialy diýilýän potensiala çatýarlar, şonda faza potensialyna çatanyňa garanyňda 3 esse artyk kuwwat alynýar. Her bir kondensatory ýa-da 3-5 kondensatordan emele gelen topary ereýji garaýjy bilen gorag ýagdaýyny göz önünde tutmaly. Bütün batareýany şina awtomatik **ýazdyryjynyň** üsti bilen çatmaly (hala kiçi potensially bolsun, hala-da ýokary potensially). Şeýle çatylyşyň mysaly sudury 4-7-1-nji çyzgyda görkezilendir.



4-7-1-nji çyzgy.

Kondensatorlaryň batareýa birleşmesiniň çatgysy zarýad söndüriji garşylyk bilen üznüksiz çatylmalydyr. 6-10 kW kondensator enjamlary üçin söndüriji garşylyk hökmünde potensial transformatoryny peýdalanmak bolar, 380 W çenli potensial üçin bolsa gyzyşly ýşyklandyryjylar peýdalanýarlar. Eger zarýad söndüriji garşylyk çatylmasa, kondensator enjamy setden öçürilen wagtynda onda setiň potensialy saklanyp galýar, howply ýagdaý ýüze çykýar. Beýleki kompensirleýji enjamlara garanynda kondensator enjamlary özleriniň ýönekeýligi, hyzmat etmekliginiň aňsatlygy hem-de arzanlygy bilen tapawutlanýar, galyberse-de enjam statik apparat, az aktiw energiýa ýitgili we başgalar. Kondensatorly kompensirleýji enjamyň ýetmezçiligi hem ýok däl, mysal üçin onuň kuwwat ululygy potensialyň kwadratyna bagly, kuwwat

üýtgewini endigan alyp bolanok, şonuň ýalyda potensial üýtgewi-de endigan däl.

Potensialy 380 W bolan kondensator enjamlary YK-0,380 tipli 150-den 300 kvara çenli kuwwatlykda goýberilýär, potensialy 6 we 10 kW - KY-6 we KY-10 tipli bolup, jaýyň içinde ornaşdyrylýar we KYH-6 we KYH-10 tipli açyk meýdanda ornaşdyryp bolýan 200 kwar-dan tä 400 kwar kuwwaty bolan enjamlar goýberilýär.

Kompensirleýji enjamlaryň kuwwatyny kesgitleme

Kompensirleýji enjamlaryň kuwwatlyklaryny setiň ýük ýaýrawynyň tygşytly ýagdaýyna gabatlap ornaşdyrmalydyr. Onuň üçin başda setiň ýaýraw nokatlaryndaky (uzellerdäki) kuwwat koeffisiýentlerini bilmelidir ($\cos\varphi$). Kuwwat koeffisiýentiniň ($\cos\varphi$) kesgitleniş ýagdaýyna garap özara tapawutlandyrylar :

- 1) derwaýys kuwwat koeffisiýenti

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3UI}} , \quad (4.7.1.)$$

wattmetriň (P), woltmetriň (U), ampermetriň (I) ýa-da fazometriň ($\cos\varphi$) kömegi bilen geçirilen ölçeg esasynda ;

- 2) orta kuwwat koeffisiýenti, bu ululyk deň wagt aralyklarynda ýöne dürli wagtlarda alnan ölçeg ululyklarynyň orta arifmetiki bahasydyr :

$$\cos \varphi_{or} = \frac{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + \cos \varphi_3 + \dots + \cos \varphi_n}{n} , \quad (4.7.2.)$$

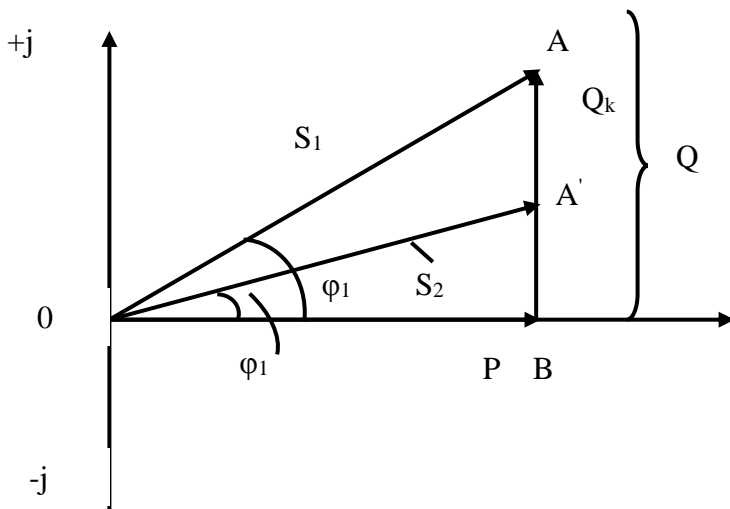
bu ýerde: n - ölçeg sany ;

- 3) arasazlaşykly (sallarlanan) kuwwat koeffisiýenti, bu ululygy aktiw hem-de reaktiw energiýany hasaba alýan abzallaryň belli bir wagt aralygyndaky (sutkada, aýda, ýylda) görkezen bahalarynyň üsti bilen tapyp bolýar :

$$\cos \varphi_{a.s} = \frac{Wa}{\sqrt{Wa^2 + Wr^2}}, \quad (4.7.3.)$$

Derwaýys kuwwat koeffisiýentini haýsan bolsa bir iş durky üçin (kärhananyň max ýa-da min ýüki üçin) kompensirleýji enjamyň kuwwat ululygyny kesgitlenjek bolanda ulanýarlar. Kärhananyň belli bir wagt aralygynda (köplenç bir aý dowamy) sarp eden elektrik energiýasynyň tölegi hasap edilende orta ýa-da arasazlaşykly kuwwat koeffisiýentinden peýdalanylýar.

Diýeliň, bir elektrik energiýasyny sarp edijiniň ýa-da topar sarp edijiniň talap edýan kuwwat ululygy $P+jQ$ we onuň tebigy kuwwat koeffisiýenti bolsa $\cos\varphi_1$ bolsun. Bu kuwwat koeffisiýenti elektroenergetika kada-kanunlarynyň (PUE) bellän ululygyndan (0,92-0,95) ep-esli pes, şonuň üçin hem ol ululygy sarp edijileriň max ýüki döwründe kadalaşdyrylan ululygyň derejesine götermeli. Meselä wektor diagrammasynyň üsti bilen garalyň (4-7-2-nji çyzgy).



4-7-2-nji çyzgy. Kuwwat kompensirleniş wektor diagrammasy.

Kompensirleýji enjam ulanylmadyk ýagdaýda kuwwat ululygy OAB üçburçlyk bilen aňladylandyr, bu ýerde $OB=P$ sarp edijileriň aktiw kuwwatyny aňladýan bolsa, onda $AB=Q$ wektor olaryň reaktiw kuwwatyny aňladýar. Meseläniň maksady, kompensirleýji enjamy sarp edijilere parallel çatanymyzda onuň haýsy kuwwat ululygynda $Q_K = AA'$ faza süýşuwi φ_1 ýagdaýdan φ_2 ýagdaýa çenli kiçelip bilýänini aýdyňlaşdyrmakdyr.

Wektor diagrammasyndan (4-7-2-nji çyzgy):

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q}{P} ; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q - Q_K}{K}$$

Bu aňlatmalardan Q/P ululygy aýryp :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg} \varphi_1 - \frac{Q_K}{P}$$

Bu ýerden

$$Q_K = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (4.7.4.)$$

B Ä Ş I N J I B A P

SETİŇ IŞ DURKUNYŇ HASABY

§ 5-1 Esasy ýönekeýleşdirmeler

Elektrik taslamalary ýerine ýetirilýän döwürlerde elektrik sarp edijileriň hem-de elektrik setlerindäki oturdylan enjamlaryň iş şertleri anyklanmalydyr. Şeýle edilende elektrik üpjünçiliginiň hili oňat bolýar hem-de setiň ulgamyndaky ulanylýan enjamlaryň ygtybarlygy artýar. Ondan başga-da, elektrik energiýasynyň öndürilişiniň we onuň ýaýradlyşynyň iň oňaly ýagdaýyny saýlap almaga mümkinçilik döreýär, ýagny energiýa ýaýrawunyň optimal ýagdaýyny üpjün etmäge ýol açýar.

Iş durkunyň parametrlerini anyklamak setiň iş durkunyň hasaplamasynyň esasy bolup durýar. Hasap işlerini amala aşyrmak üçin nämeler gerek : ilki bilen setiň özara elektrik birleşmeleri (sudury) gerek, set elementleriniň garşylyklary we geçirijilikleri, elektrik ýükleriniň kuwwatlyklary, düwünlerdäki potensial ululyklarynyň bahalary, käbir halatlarda bolsa dispetçer çyzytlary boýunça çeşmelerden gelýän kuwwat ululyklary.

Elektrotehnikada elektrik setlerine elektrik zynjyrlary ýaly garaýarlar, şonuň üçin bolsa onuň hasabyny etmel üçin elektrotehnikanyň esasy kanunlarynyň biri bolan Kirgofyň kanunlaryny ulanmaklyk kanuny zat we ýeterlik hasap edilýär. Emma, şeýle kanuny mümkinçilige garamazdan, setiň iş durkunyň hasaby örän çylşyrymly bolýar, sebäbi setiň elementleriniň känligi hem-de başda berilýän (kabul edilýän) ululyklaryň öz boluşly aýratynlyklary elektrotehnikanyň kanunlaryny göniden-göni ulanaýyp bolmazlygyna getirýär.

Diýeliň, haýsam bolsa bir elektrik ýüküniň kuwwaty berlip, ol ýüküň täsiri beýleki ýükler bilen birlikde setiň iş durkunyň hasabyna girmeli bolsun

($\underline{S}_i = P_i + jQ_i$). Bu ýükiň togy diňe elektrik kabul edijiniň gysgyçlaryndaky potensial U_i belli bolan ýagdaýynda kesgitlenip biliner. Şol bir wagtyň özünde bolsa potensial U_i ýagny setiň potensialynyň özi gözlenilýän ululyk bolup durýar. Şeýle ýagdaý kesgitlenmeli ululygy Kirgofyň kanunyny gös-göni ulanyp tapmak usulyna päsgelçilik döredýär.

Şeýle ýagdaý setiň iş durkunyň hasabyny geçirmäge başga bir hasap ýolyny gözlemäge mejbur edýär. Şeýlelikde hasap üçin iki usul ulanylýar : gaýtalap (yzygider) ululygy saýlap almak we kem-kemden ýakynlaşma (iterasiýa ýoly). Bu usullaryň birinjisini ulanmaklyk setiň elektrik birleşmesi ýönekeý bolanda amatly bolýar, ikinjisine, umuman elektrik hasaplamalarynyň esasy hökmünde garalýar.

Kem-kemden ýakynlaşma usulynda başda goýberilýän uly ýalňyşlykdan ýuwaş-ýuwaş meseläniň takyk çözüdine geçmeklikdir. Birinji ýakynlaşma (oňa nul iterasiýasy hem diýilýär) gözlenýän ululygy çak bilen, bolup biläýjek sanyny kabul etmeklikde tapylýar. Elektrik setlerinde birinji ýakynlaşma üçin setiň ähli düwünlerinde potensial ululygy deň we ol ululyk nominal baha eýedir diýip kabul etmek amatly bolýar. Şeýle çemeleşilende, (5.1.1.) aňlatmanyň kömegi bilen ilki ýükleriň tok ululyklaryny we başdaky iş durkunyň parametrlerini, soňra bolsa, ýükiň gysgyçlaryndaky potensial ululyklaryny kesgitläp bolýar. Şeýle usulda kesgitlenen potensial ululyk indiki hasap aýlawy üçin ulanylanda ikinji ýakynlaşmany aňladýar, ýagny täze takyklanan potensial ululygy (5.1.1) aňlatmada peýdalanylýan, togy we beýleki ululyklary ýokarda agzalan usulda hasaby yzygider gaýtalap, ahýry ýokary takyklygy alýarlar.

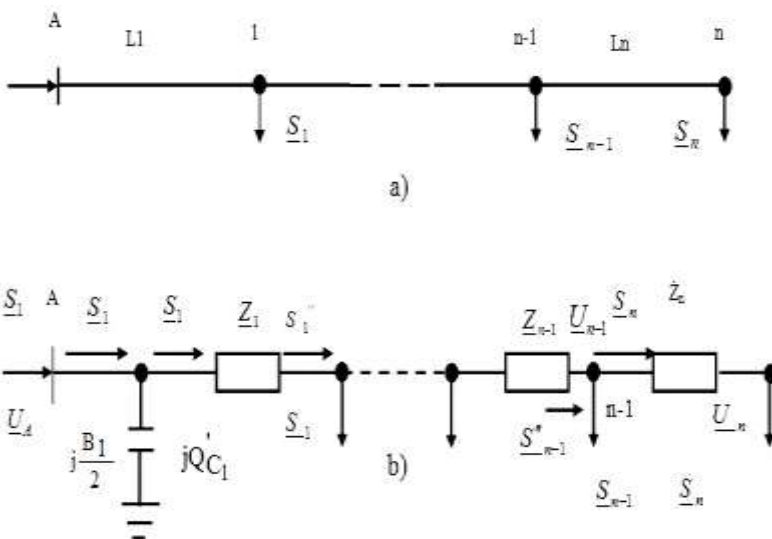
$$\dot{I}_i = \frac{\hat{S}_i}{\sqrt{3 \dot{U}_i}} , \quad (5.1.1.)$$

Iş ýüzünde, setiň hasabyny ikinji ýa-da üçünji ýakynlaşmada (1-nji ýa-da 2-nji iterasiýada) bes etmek ýeterlik bolýar. Şeýle hasaplarda çäklenmä ýerli setleriň hem-de raýon setleriniň potensialy 110 we 220 kW ululygyndaky setlerdir. Häzirki wagtda ýerli setleriň iş seljermesi geçirilende hasabyň birinji ýakynlaşmasy bilen kanagatlanýarlar, sebäbi bu setleriň energiýa hiline ýokary talap goýulýar, ýagny potensial, nominal bahadan uly bir üýtgäp durmaýar. Şeýle edilende goýberilýän ýalňyş hasap takyklygynyň çäginde. Potensialy 110 we 220 kW bolan raýon setlerinde hasabyň ikinji ýakynlaşmasynda bes etmek bolar, şondaky goýberilýän ýalňyşlyk hem hasap ýalňyşlygynyň çäginde çykmaýar, sebäbi hasap üçin başdaky alnan ululyklaryň takyklygy beýle bir uly däl.

§ 5-2 Açyk setleriň iş durkunyň hasaby

Birnäçe elektrik ýükli açyk setiň umumy hasap sudury 5-2-1-nji, a çyzygyda we onuň oruntutma sudury bolsa 5-2-1-nji, b getirilendir.

Başda iş durkunyň hasap yzygiderligi bilen tanyş bolalyň. Raýon seti üçin iki hasaplaýyş usulyna garalyň : birinjisi üçin setiň " n " nokadynyň potensialy berlen diýip hasaplanylýar (U_n). Kā halatlarda bu usula "*ahyrky ululyk*" boýunça diýip hem aýdýarlar we ikinjisinde seriň başlangyjyndaky potensial ululygy berlen diýip hasaplanylýar (U_A). Bu usula bolsa başgaça "başdaky ululyk" boýunça diýip atlandyrylar.



5-2-2-nji çyzgy. Açyk setiň umumy hasap sudury (a) we onuň oruntutma sudury (b).

Hasap yzygiderliligine birinji usulda garap geçeliň, ýagny ahyrky ululyklar belli. Setiň n we $n-1$ nokatlar aralygynda \underline{S}_n kuwwatlyk \underline{Z}_n garşylygyň üstünden geçende ol garşylykda aktiw hem reaktiw kuwwat ýitgisi bolup geçýär. Şoňa görä şol aralygyň başyndaky kuwwat onuň ahyryndaky kuwwatdan tapawutlydyr. Onda n - nokadyň. Potensialynyň anyklygynda ähli aralyklar üçin yzygider birsyhly hasap aýlawyny ýerine ýetirmek bilen aralyklaryň başky hem ahyrky kuwwat ululyklaryny hem-de çatyryk nokatlaryň potensiallaryny anyklap bolar.

Hakykatdan hem, n - nokadyň belli \underline{U}_n potensialynda \underline{Z}_n garşylykdaky kuwwat ýitgisini kesgitlemek kyn dälirdi.

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_n &= 3I_n^2 r_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} \cdot r_n \\ \Delta Q_n &= 3I_n^2 x_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} \cdot x_n \end{aligned} \right\} \quad (5.2.1.)$$

Şondan soňra bolsa aralygyň başyndaky kuwwaty taparys.

$$\underline{S}'_n = \underline{P}'_n + j\underline{Q}'_n = \underline{P}_n + \Delta\underline{P}_n + j(\underline{Q}_n + \Delta\underline{Q}_n) \quad (5.2.2.)$$

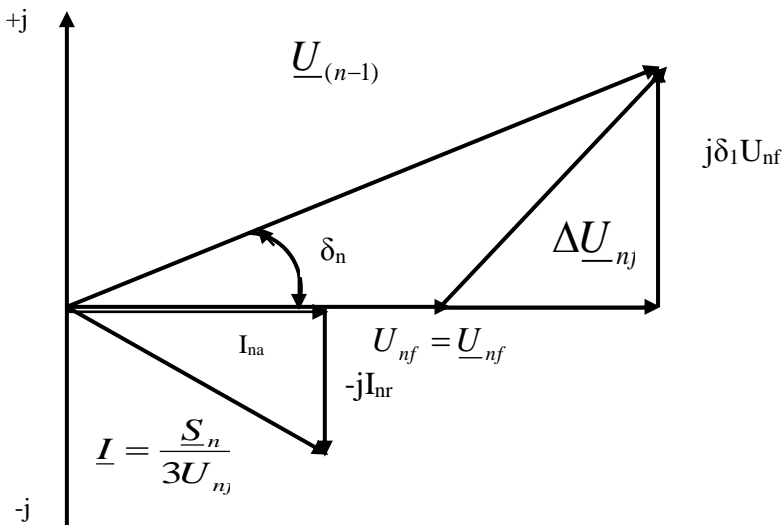
Indiki aralygyň ahyryndaky, ýagny (n-1) nokatdaky kuwwat ululygy çatrykdaky kuwwat sazlygy düzgün boýunça

$$\underline{S}''_{n-1} = \underline{P}''_{n-1} + j\underline{Q}''_{n-1} = \underline{P}'_n + \underline{P}_{n-1} + j(\underline{Q}'_n + \underline{Q}_{n-1}) \quad (5.2.3.)$$

Eger, n - nokatdaky \dot{S}_n kuwwat induktiw häsiýetde bolanynda (n-1) we (n_ nokatlar aralygyndaky liniýanyň fazasyndaky potensial çökmesi aşakdaky getirilen görnüşde:

$$\begin{aligned} \Delta\underline{U}_{nf} &= \underline{I}_n \underline{Z}_n = (\underline{I}_{na} - j\underline{I}_{nr})(r_n + jx_n) = \underline{I}_{na}r_n + \underline{I}_{nr}x_n + j(\underline{I}_{na}x_n - \underline{I}_{nr}r_n) = \\ &= \Delta U_{nf} + j\delta U_{nf} \end{aligned} \quad (5.2.4.)$$

tapylar, ýa-da tok ululygyny kuwwat ululyk bilen çalşyranymyzda S_n ,



5-2-2-nji çyzgy. Garalýan setiň ahyrky aralygynyň wektor diagrammasy.

$$\begin{aligned}\Delta \underline{U}_{nf} &= \frac{\hat{S}_n}{3\hat{U}_{nf}} \underline{Z}_n = \frac{1}{3\hat{U}_{nf}} [(P_n - jQ_n)(r_n + jx_n)] = \\ &= \frac{1}{3\hat{U}_{nf}} [P_n r_n + Q_n x_n + j(P_n x_n - Q_n r_n)]\end{aligned}\quad (5.2.5.)$$

Eger, potensial wektory bolan \underline{U}_n wektoryň ugryny argument hasap okunyň ugry bilen gabatlaşdyrsak, onda $\hat{U}_{nf} = \underline{U}_{nf} = U_{nf}$ bolar, we şonuň üçin

$$\Delta \underline{U}_{nf} = \frac{1}{3} \left(\frac{P_n r_n + Q_n x_n}{U_{nf}} + j \frac{P_n x_n - Q_n r_n}{U_{nf}} \right) = \Delta U_{nf} + j \delta_1 U_{nf} \quad (5.2.6.)$$

Şeýlelikde, (5.2.5.) we (5.2.6.) aňlatmalara laýyk gelýän wektor diagrammasyny 5-2-2-nji çyzgyda gurarys. Şu diagrammada $\Delta \underline{U}_{nf}$ - potensial çökmesiniň ΔU_{nf} ugurdaş (prodolnaýa slagayuşaýa) bölegi, $\delta_1 U_{nf}$ bolsa $\Delta \underline{U}_{nf}$ - potensial çöküminiň keselyň çökme bölegi. Wektor diagrammadan görnüşi ýaly.

$$\underline{U}_{(n-1)f} = \underline{U}_{nf} + \Delta \underline{U}_{nf} + j \delta_1 U_{nf}$$

Faza potensialdan liniýa potensialyna geçip hem-de açyk görnüşe ýüzlensek, onda

$$\underline{U}_{n-1} = \underline{U}_n + \sqrt{3} [I_{na} r_n + I_{nr} x_n + j(I_{na} x_n - I_{nr} r_n)] \quad (5.2.7.)$$

ýa-da

$$\underline{U}_{n-1} = \underline{U}_n + \frac{P_n r_n + Q_n x_n}{U_n} + j \frac{P_n x_n - Q_n r_n}{U_n} \quad (5.2.8.)$$

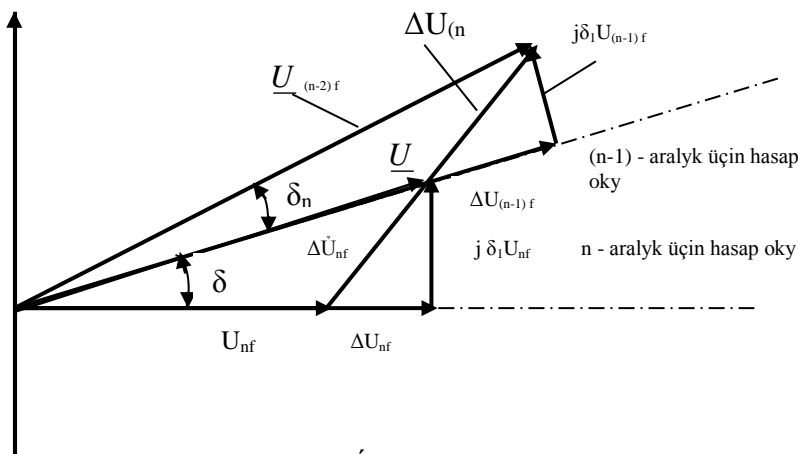
Bu ýerden (n-1) nokatdaky potensial moduly

$$U_{n-1} = \sqrt{\left(U_n + \frac{P_n r_n + Q_n x_n}{U_n} \right)^2 + \left(\frac{P_n x_n - Q_n r_n}{U_n} \right)^2} \quad (5.2.9.)$$

Şeýlelikde, açyk setiň ahyrky aralygynyň hasaby tamam bolýar. Häzirki ýagdaýda setiň indiki aralygynyň hasabyny geçirmek üçin ähli gerek bolan ululuklar aýdyňlaşdyryldy. Diýmek, "ahyrky ululyklar hasabyny" indiki aralyklar üçin hem edil ýokarda garalan usulda garamak bolar.

Indiki $(n-1)$ aralyk üçin hasap geçirilende ýokarda getirilen aňlatmalary ulanmak bilen, $U_{(n-1)f}$ wektory täzedan argumentiň hasap okunyň ugry bilen ugurdaş diýip kabul etmeli. Ähli aralyklar üçin şeýle bir-birine meňzeş hasaplary geçirmek ýeterlikdir. Aýratynlykda, mysal edip ahyrky ululyklar, basky aralyk üçin \underline{U}_1 potensial hem-de basky aralygyň ahyryndaky \underline{S}'_1 kuwwatdyr, şu berlen (belli edilen) ululyklaryň kömegi bilen basky aralygyň başyndaky kuwwat \underline{S}'_1 , çeşmeden gelýän \underline{S}_1 we çeşmäniň gysgyçlaryndaky potensial U_A ululyklar anyklanar.

Umuman, setiň başky we ahyrkylary potensiallary U özara ululyklary we fazalary boýunça tapawutlanýarlar, faza tapawudy garalan meselede δ_{An} ululyk bilen häsiýetlendirilip biliner. Hasap geçirilende hem aralygyň ahyrynyň potensial wektory hasap okunyň ugryna gabat gelýär diýip alnypdy, şoňa görä $\underline{U}_{(n-1)f}$ potensialy bilen U_{nf} potensialyň özara faza süýşüwi δ_n bolýar 5-2-2-nji çyzgy. Şeýle çalymdaş faza süýşüwi galan beýleki aralyklara hem mahsusdyr. Şeýle ýagdaý iki ýanaşyk aralyk üçin 5-2-3-nji çyzgyda wektor diagrammalaryny birlikdäki ýanaşyk edip görkezilendir.



5-2-3-nji çyzgy. Ýanaşyk iki aralyk üçin wektor diagrammasy.

Faza süýşüwiniň ululygy potensial çökmäniň keseleýin çökme bölegine baglydyr, onuň mysal görnüşi çyzgy 5-2-2-de getirilendir, şonuň bilen birlikde ol ululyk aşakdaky aňlatma ýaly tapylýar, hem-de islendik aralyk üçin meňzeşlikde ulanarlykdyr.

$$\delta_n = \arctg \frac{\delta_1 U_{nf}}{U_{nf} + \Delta U_{nf}} \quad (5.2.10.)$$

5-2-3-nji çyzgydan görnüşi aýly, iki aralyk üzňelikdäki nokatlaryň potenciallarynyň faza süýşüwe her aralyklardaky potensialyň ahyrky ululygy bilen başky ululygynyň arasyndaky faza süýşüwleriniň jemine deňdir. Onda, umumy ýagdaýda.

$$\delta_{An} = \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (5.2.11.)$$

"Başky bahalar" bilen hasap edilende çeşmäniň potensialy U_A belli diýip kabul edilýär. Şunlukda setiň ahyryndaky (n) nokadyň hem-de beýleki nokatlardaky näbelli potenciallar takyklanylýar. Hasap iki aýlawda geçirilýär.

Hasabyň birinji aýlawynda setiň ähli çatyryk nokatlarynyň potensiallary özara bir ululykda we ol potensial nominal baha (U_{nom}) eýedir diýip kabul edýärler we ol birinji ýakynlaşma baha bolýar. Şeýle şertde kuwwat ýaýrawuny tapýarlar.

Hasaby 5-2-1 çyzgyda gabatlap geçirenimizde onuň yzygiderliligi şeýledir: ilki bilen ahyrky aralykdaky kuwwat ýitgisini tapýarys.

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_n &= \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{nom}^2} \cdot r_n ; \\ \Delta Q_n &= \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{nom}^2} \cdot x_n ; \end{aligned} \right\} \quad (5.2.12.)$$

soňra bolsa şol aralygyň başdaky kuwwatyny S'_n tapýarys, ýagny

$$\underline{S}'_n = P'_n + jQ'_n = P_n + \Delta P_n + j(Q_n + \Delta Q_n) \quad (5.2.13.)$$

Indi (n-1) aralygyň ahyrynyň kuwwatyny (n-1) düwtin üçin kuwwat sazlygynyň üsti bilen kesgitlep bileris, ýagny

$$\underline{S}''_{n-1} = \underline{S}_{n-1} + \underline{S}'_n = P_{n-1} + P_n + \Delta P_n + j(Q_{n-1} + Q_n + \Delta Q_n) \quad (5.2.14.)$$

Edil şuna meňzeş hasaplary beýleki aralyklar üçin hem geçirip, ahyr soňy S'_1 we S_1 kuwwatlary taparys. Şu ýerde bir zady belläp geçiliň, S_1 kuwwat tapylanda Q'_{C1} zarýad kuwwatyny göz önünde tutup hasaba alynmalydyr

$$(Q'_{C1} = U_A^2 \cdot \frac{B_{C1}}{2})$$

\underline{U}_A - çeşmäniň potensialy ; B_{C1} - aralygyň sygym geçirijiligi, ýagny $[\frac{1}{\text{Om} \cdot \text{km}}]$

$B_{C1} = b_0 \cdot l_1$. Bu ýerde b_0 - udel sygym geçirijilik

Hasabyň ikinji aýlawynda setiň düwün nokatlarynyň potensiallaryny kesgitlemeli ; alynan netije hasaba ikinji ýakynlaşmany aňladar. Şeýle hasaplamany geçirmek üçin berilen ululyklar bolup çeşmäniň potensialy \underline{U}_A we öňki aýlawda takyklanan her aralygyň ahyryndaky kuwwat akymydyr. Şeýlelikde başky aralyk üçin

$$\underline{U}_{1f} = \underline{U}_{Af} - \Delta \underline{U}_{1f} \quad (5.2.15.)$$

Argument hasap okuny we \underline{U}_{Af} potensialwektorynyň ugruny gabatlaşdyryp hem-de faza potensialyndan liniýa potensialyna geçip (5.2.15.) aňlatmadan alarys

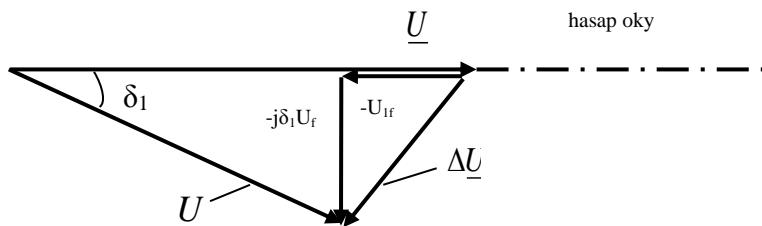
$$\underline{U}_1 = \underline{U}_A - \Delta \underline{U}_1 - j\delta_1 \underline{U}_1 = \underline{U}_A - \Delta \underline{U}_1 - j\delta_1 \underline{U}_1 \quad (5.2.16.)$$

ýa-da

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_A - \frac{P'_1 r_1 + Q'_1 x_1}{U_A} - j \frac{P'_1 r_1 + Q'_1 x_1}{U_A} =$$

$$\underline{U}_A - \sqrt{3[I_{1a} r_1 + I_{1r} x_1 + j(I_{1a} x_1 - I_{1r} r_1)]} \quad (5.2.17.)$$

Ýokarda getirilen aňlatmalara (5.2.15.) we (5.2.17.) laýyk gelýän wektor diagrammasyny gurarys 5-2-4-nji çyzgy.



5-2-4-nji çyzgy. Setiň aralygynyň wektor diagrammasy.

Şu wektor diagrammadan hem-de (5.2.18.) aňlatmadan (1) düwündäki potensial moduly aşakdaky ýaly tapylar hem-de görkeziler (5-2-5-nji çyzgy).

$$U_1 = \sqrt{\left(U_A - \frac{P'_1 r_1 + Q'_1 x_1}{U_A}\right)^2 + \left(\frac{P'_1 x_1 - Q'_1 r_1}{U_A}\right)^2} \quad (5.2.18.)$$

Bu potensialyň argumenti

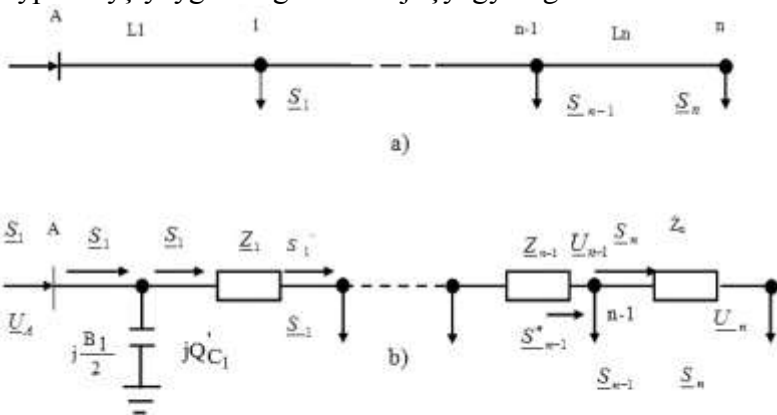
$$\delta_1 = \arctg \frac{-\delta_1 U_1}{U_A - \Delta U_1} \quad (5.2.19.)$$

Potensial hasaby galan aralyklar üçin hem birmeňzeş geçirilýär. Mysal edip alanymyza ahyrky aralykda potensial.

$$\underline{U}_n = \underline{U}_{n-1} - \frac{P'_n r_n + Q'_n x_n}{U_{n-1}} - j \frac{P'_n x_n - Q'_n r_n}{U_{n-1}}$$

Ýeri gelende aýtsak, δ_{An} bolsa (5.2.11.) aňlatma bilen kesgitlenilýär. Ikinji aýlawda setiň iş durkuwyň hasaby tamam bolýar.

Setiň iş durkunyň hasabynyň "basky berlenler" bilen alnyp barlyş yzygiderligi 5-2-5-nji çyzgyda getirilendir.



5-2-2-nji çyzgy. Aýyk setiň umumy hasap sudury (a) we onuň oruntutma sudury (b).

Hasabyň birinji aýlawynda setiň ähli düwün nokatlarynyň potensial nominal baha deň diýip, setiň her aralygynyň başyndaky kuwwat akymyny tapýarys (5-2-5-nji, a çyzgy), ikinji aýlawynda bolsa, çeşmäniň potensialynyň belli ululygynda (U_A) setiň düwün nokatlaryndaky potensial ululygyny anyklaýarys (5-2-5-nji, b çyzgy). Şu aýlawda berlen ululyklar U_A we S'_I bolup durýarlar we olar öňki aýlawyň netijeleridir.

Potensialy 110 kW we ondan aşakda bolan setler üçin düwün nokatlardaky potensial anyklymasyny belli bir derejede ýönekeýleşdirmek bolýar. Sebäbi, şeýle setleriň aktiw we induktiw garşylyklary takmynan deň bolýarlar ýa-da aktiw garşylygy induktiw garşylygyndan artyk bolýar. Şeýle şertlerde liniýadan induktiw häsiýetli reaktiw kuwwatlykly energiýa berlende potensial çökmäniň keseleýin bölegi örän az bolýar, ýagny

$$\delta_1 U_n = \frac{P_n x_n - Q_n r_n}{U_n} \quad \text{ünsden düşürerli ýagdaýdaky ululykdyr.}$$

Şeýle bolansoň, onuň potensialyň modulyna täsiri has azdyr, ýagny onuň täsiri hasap takyklygynyň çäklerindedir. Şonuň üçin potensial ululygy 110 kV we ondan aşakda bolan setlerde hasap işleri geçirilende potensial çökmesine derek onuň ugurdaş potensial çökmesini kabul etmek ýetirlikdir.

$$U_n = \sqrt{(U_{n-1} - \Delta U_n)^2 + \delta_1 U_n^2}$$

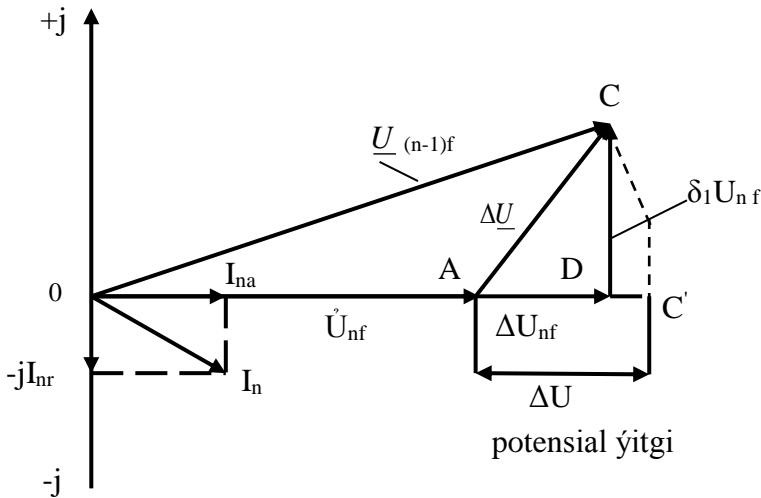
Şeýle ýagdaýda potensial ýitgisi deregine ugurdaş potensial çökmesini almak bolar, ýagny "ahyrky berlenler" bilen bolanda.

$$U_{n-1} = U_n + \sqrt{3(I_{na} r_n + I_{nr} x_n)} = U_n + \frac{P_n r_n + Q_n x_n}{U_n} \quad (5.2.20.)$$

"Başky berlenler" bilen hasap geçirilende bolsa

$$U_n = U_{n-1} - \sqrt{3}(I_{na}r_n + I_{nr}x_n) = U_{n-1} - \frac{P'_n r_n + Q'_n x_n}{U_{n-1}} \quad (5.2.21.)$$

Potensial ýitgisi bilen potensial çökmesini garyşdyrmak bolmaz. Potensial ýitgisi dereğine liniýanyň başyndaky we ahyryndaky potensiallaryň absolýut ululyklarynyň algebraik tapawudyny alýarlar. Potensial çökmesi diýip şol nokatlardaky potensiallaryň geometrik tapawudyna aýdýarlar (5-2-6-njy çyzgy).



5-2-6-njy çyzgy .Setiň ahyrky aralygynyň wektor diagrammasy.

Wektor diagrammadan (5-2-6-njy çyzgy).

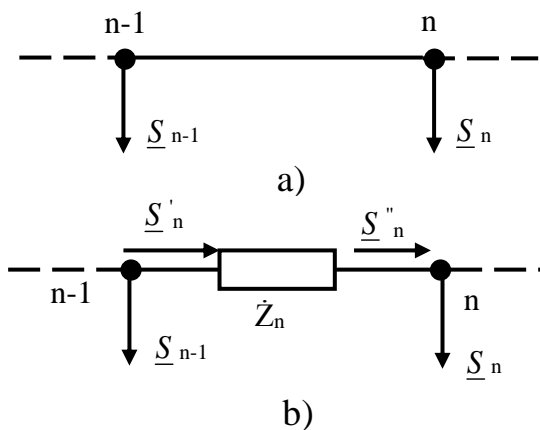
$$AC' = OC - OA = U_{(n-1)f} - U_{nf}$$

potensial ýitgidir ; AD - ugurdaş potensial çökmesidir. Şeýlelikde, yönekeýleşdirip $AC' \approx AD$ diýip alynýar we bu ýagdaý ýerli setler üçin kanuny zat hökmünde garamak bolar.

§ 5-3 Açyk ýerli setiň hasaby

Ýerli setler üçin artykmaç yönekeýleşdirme girizilýär, ýagny bu setlerde potensial üýtgew örän az bolýar, sebäbi, energiýa harçlaýjylaryň onuň hiline bolan talaby ýokary bolýar. Şol sebäpli potensial ýitgisi kesgitlenende setiň ähli düwünlerinde naprýaženiýe nominal baha deň diýip alynýar.

Goý, ýerli setiň haýsam bolsa, bir bölegi bar diýeliň (5-3-1-nji çyzgy).



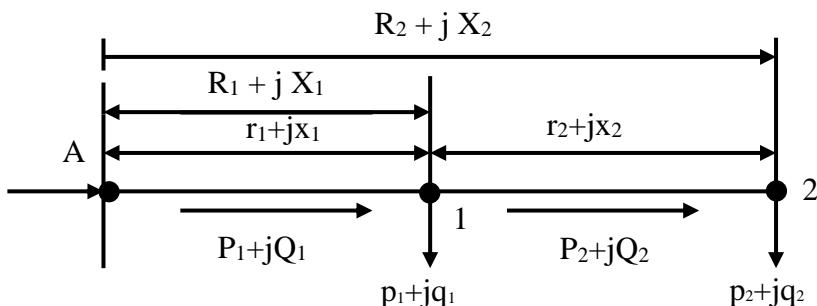
5-3-1-nji çyzgy. Ýerli setiň bir aralygy.

Eger, ol setiň orantutma suduryndaky $\dot{\underline{Z}}_n$ garşylygyň üstünden (5-3-1-nji, b çyzygy) $\dot{\underline{I}}_n$ tok geçýän bolsa, onda aralygyň başyndaky kuwwat ululygy bilen ahryrynyň kuwwat ululygy deň bolar. Ol şerte görä, $\dot{U}_n = \dot{U}_{n-1} = U_{nom}$ diýip garalsa, onda $\dot{S}'_n = \dot{S}''_n$ bolar. Diýmek, potensia ℓ üýtgewi ýok diýdigimiz, kuwwat ýitgisi ýok diýdigimize bara-bar bolýan ekeni.

$$\underline{S}'_n = \sqrt{3} \underline{U}_{n-1} \cdot \hat{I}_n, \quad \underline{S}''_n = \sqrt{3} \underline{U}_{n-1} \cdot \hat{I}_n, \\ \underline{S}'_n = \underline{S}''_n$$

Şeýlelikde, kabul eden ýönekeýleşdirmämiziň düýp manysy, hasaby birinji ýakynlaşmada bes etmek ýeterlik bolýandygyny aňladýar.

Liniýada kuwwat ýitgisiniň hasaba alynmaklygy gerek bolmadyk ýagdaýynda, ýagny ýerli setlerde, umumy potensial ýitgini berlen ýükleriň ululyklary bilen göniden-göni tapanmak ýeterlik bolýar. Mysal edip ýerli setiň bir bölegine seredeliň (5-3-2-nji çyzygy), şu ýerde ýük kuwwatlyklary kiçi harplar bilen bellenip, liniýa aralyklardaky kuwwat ululyklary şol bir nyşanda (indeksde) uly harplar bilen bellenendir.



5-3-2-nji çyzygy. Ýerli setiň bir bölegi.

Kabul edilen şertlerde doly potensial ýitgi.

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3}[(I_{1a}r_1 + I_{2a}r_2) + (I_{1r}x_1 + I_{2r}x_2)] = \\ &= \frac{1}{U_{nom}}[(P_1r_1 + P_2r_2) + (Q_1x_1 + Q_2x_2)],\end{aligned}\quad (5.3.1.)$$

ýa-da, umumy ýagdaý üçin, haçanda sete (n) ýük birikdirilende

$$\Delta U = \sqrt{3}\left(\sum_{i=1}^n I_{ia}r_i + \sum_{i=1}^n I_{ir}x_i\right) = \frac{1}{U_{nom}}\left(\sum_{i=1}^n P_{ir}r_i + \sum_{i=1}^n Q_{ir}x_i\right), \quad (5.3.2.)$$

5-3-2-nji çyzygyda getirilen elektrik sudury üçin, eger kuwwat ýitgisi göz önünde tutulmadyk ýagdaýynda :

$$\left. \begin{aligned}\underline{S}_2 &= \underline{S}_2 \\ \underline{S}_1 &= \underline{S}_1 + \underline{S}_2\end{aligned}\right\} \quad (5.3.3.)$$

şeyle-de

$$\left. \begin{aligned}\underline{I}_2 &= \underline{i}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{i}_1 + \underline{i}_2\end{aligned}\right\} \quad (5.3.4.)$$

onda (5.3.1.) aňlatma laýyklykda umumy potensial ýitgisi (5.3.3.) we (5.3.4.) deňlikleri göz önünde tutup,

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sqrt{3}[(i_{1a} + i_{2a})r_1 + i_{2a}r_2] + \sqrt{3}[(i_{1r} + i_{2r})x_1 + i_{2r}x_2] = \\ &= \sqrt{3}[i_{1a}r_1 + i_{2a}(r_1 + r_2)] + \sqrt{3}[i_{1r}x_1 + i_{2r}(x_1 + x_2)],\end{aligned}\quad (5.3.5.)$$

ýa-da

$$\Delta U = \sqrt{3}[(i_{1a}R_1 + i_{2a}R_2) + (i_{1e}X_1 + i_{2r}X_2)] \quad (5.3.6.)$$

Eger, ýükler kuwwat ululyklarynda berlen bolanda

$$\Delta U = \frac{1}{U_{nom}}[(p_1R_1 + p_2R_2) + (q_1X_1 + q_2X_2)] \quad (5.3.7.)$$

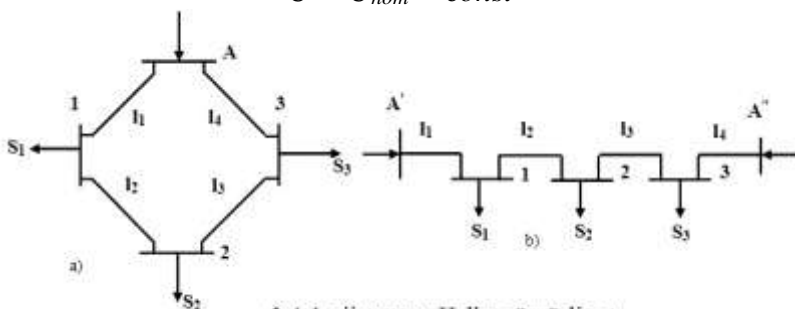
(5.3.6.) we (5.3.7.) aňlatmalarda 5-3-2-nji çyzga laýyklykda R_1 , R_2 , X_1 we X_2 ululyklar bilen çesmeden ýüküň dakylan nokadyna çenli aralyklaryň jemi aktiw hem reaktiw garşylyklary bellendir. Umumy ýagdaý üçin :

$$\Delta U = \sqrt{3} \left(\sum_{i=1}^n i_{ia} R_i + \sum_{i=1}^n i_{ir} X_i \right) = \frac{1}{U_{nom}} \left(\sum_{i=1}^n p_i R_i + \sum_{i=1}^n q_i X_i \right) \quad (5.3.8.)$$

§ 5-4 Halka setiň iş durkunyň hasaby

Ýapyk halka görnüşli setiň iş durkuna garalyň (5-4-1-nji çyzgy). Halka görnüşli setden birnäçe kabul ediş merkezlerine energiýa berilýär diýip hasaplalyň. Kabul ediş merkezlerindäki (punktardaky) ýükler hasap ýükleri diýip kabul edilýärler, ýagny, şol merkezlerdäki (punktardaky) oturdylan transformatorlardaky bolup geçýän ýitgiler ýüküň ululygynda hasaba alnan diýip düşünilýär. A - nokatdaky energiýa çeşmesi bolup haýsam bolsa kuwwaty uly bolan podstansiýa ýa-da elektrostansiýa diýip düşünmeli hem-de onuň potensial ululygy üýtgeşsini diýip kabul etmeli, ýagny

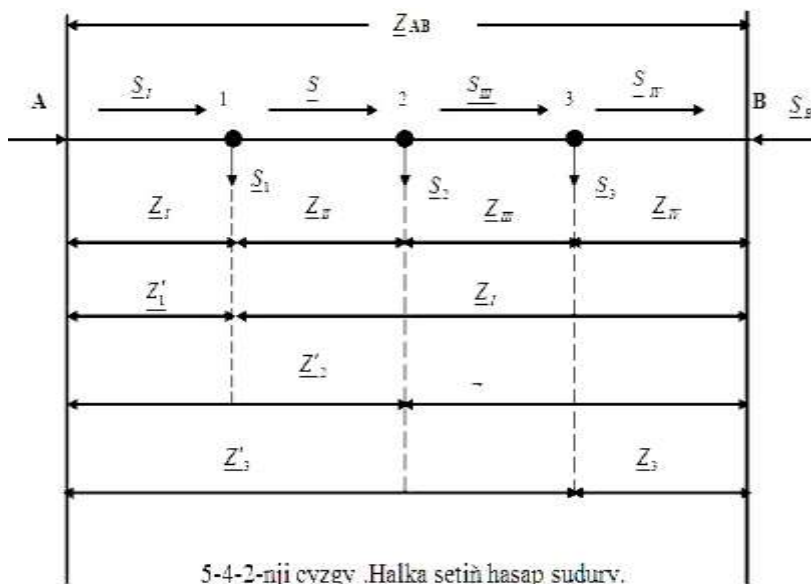
$$U = U_{nom} = const$$



5-4-1-nji çyzgy. Halka görnüşli set.

Eger, halka görnüşli setiň suduryňy (shemasyny) iýmitlendiriji punktadan (A - punktadan) kesip ýaýratsak, onda 5-4-1-nji çyzgydaky b) görnüşini alarys. Alnan görnüş ikitaraplaýyn iýmitlendirilen

setiň suduryna meňzeşdir, hem-de A' we A'' punktlardaky potensiallaryň ululyklary hem fazalary deňdirler. 5-4-2-nji çyzgyda garalýan setiň hasap sudury getirilendir we bu ýerde \underline{S}_1 , \underline{S}_2 we \underline{S}_3 podstansiýanyň hasap kuwwatlyklarydyr, ýagny ýükde transformatoraky ýitgi hem-de liniýada emele gelýän zarýad kuwwatyň hasaby göz önünde tutulan diýilip hasap edilendir. Şu ýerde kuwwatyň hakyky ugry, hasap geçirilende anyk bolýar.



Hasap geçirmek üçin belli ululyklar bolup iýmitlendiriji çeşmäniň potensial ululygy hem-de ýükleriň kuwwat ululyklary. Potensial hem-de kuwwat ululyklary setiň dürli nokatlaryna deňişli bolany üçin, hasaby belli ýakynlaşma usulynda amal edýärler, bu usul bilen bolsa biz açyk setleriň hasabyny geçirenimizde tanyş bolupdyk.

Birinji ýakynlaşmany almak üçin setiň hemme nokatlarynda nominal potensial (U_{nom}) täsir edýär diýip kabul etmeklik ýeterlidir.

Şeýle çaklamadan soň suduryň aýry-aýry aralyklaryndan akýan tok ululygyny aşakdaky ýaly edip taparys.

$$\underline{I}_n = \frac{\hat{S}_n}{\sqrt{3}U_{nom}}$$

Iýmitlendiriji punktlardaky potensial deňligi liniýada potensial çökmesiniň ýokdygyny aňladýar, onda Kirgofyň ikinji düzgünine eýerip, potensial çökmesine aşakdaky ýaly edip ýazarys :

$$\frac{\hat{S}_I}{\sqrt{3}U_{nom}} \cdot \underline{Z}_I + \frac{\hat{S}_{II}}{\sqrt{3}U_{nom}} \cdot \underline{Z}_{II} + \frac{\hat{S}_{III}}{\sqrt{3}U_{nom}} \cdot \underline{Z}_{III} - \frac{\hat{S}_{IV}}{\sqrt{3}U_{nom}} \cdot \underline{Z}_{IV} = 0$$

ýa-da

$$\underline{S}_I \hat{Z}_I + \underline{S}_{II} \hat{Z}_{II} + \underline{S}_{III} \hat{Z}_{III} - \underline{S}_{IV} \hat{Z}_{IV} = 0 \quad (5.4.1.)$$

2,3 we 4 aralyklardaky kuwwat akymalaryny I aralygyň kuwwat akymynyň \underline{S}_I hem-de ýükleriň kuwwat ululyklarynyň $\underline{S}_1, \underline{S}_2$ we \underline{S}_3 üsti bilen aňladalyň. Liniýanyň hemme nokatlarynyň potensial deňligi liniýada kuwwat ýitgisiniň ýoklugyny aňladýar, onda

$$\underline{S}_I + \underline{S}_{IV} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3$$

$$\underline{S}_I = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 - \underline{S}_{IV} \quad (5.4.2.)$$

Ondan başga-da, Kirgofyň birinji düzgünine görä

$$\underline{S}_{II} = \underline{S}_I - \underline{S}_1 \quad (5.4.3.)$$

$$\underline{S}_{III} = \underline{S}_I - \underline{S}_1 - \underline{S}_2 \quad (5.4.4.)$$

(5.4.2.) ÷ (5.4.4.) aňlatmalary başky (5.4.1/) aňlatma goýup hem-de belli ýönekeýleşdirmeler ulanyp

$$\underline{S}_I(\hat{Z}_I + \hat{Z}_{II} + \hat{Z}_{III} + \hat{Z}_{IV}) - \underline{S}_I(\hat{Z}_{II} + \hat{Z}_{III} + \hat{Z}_{IV}) - \underline{S}_2(\hat{Z}_{III} + \hat{Z}_{IV}) - \underline{S}_3\hat{Z}_{IV} = 0$$

Soňra, 5-4-2-nji cyzgydaky bellikleri ulanyp

$$\underline{S}_I = \underline{S}_A = \frac{\underline{S}_1\hat{Z}_1 + \underline{S}_2\hat{Z}_2 + \underline{S}_3\hat{Z}_3}{\hat{Z}_{AB}} \quad (5.4.5.)$$

Edil, soňa meňzeşlikde hem-de kanunylykda

$$\underline{S}_{IV} = \underline{S}_B = \frac{\underline{S}_I\hat{Z}_1 + \underline{S}_2\hat{Z}_2 + \underline{S}_3\hat{Z}_3}{\hat{Z}_{AB}} \quad (5.4.6.)$$

Umumy ýagdaý üçin

$$\underline{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_m \hat{Z}_{mB}}{\hat{Z}_{AB}} ; \quad (5.4.7.)$$

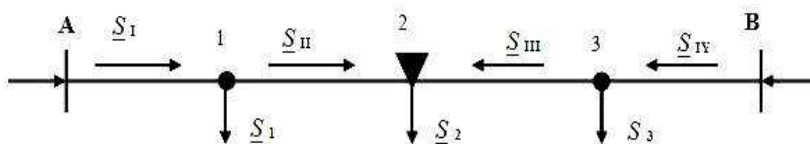
$$\underline{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_m \hat{Z}_{mA}}{\hat{Z}_{AB}} ;$$

bu ýerde : \underline{Z}_{mA} we \underline{Z}_{mB} - ýükiň dakylan "m" nokadyndan degişlilikde A we B nokatlar aralyklaryndaky garşylyklar.

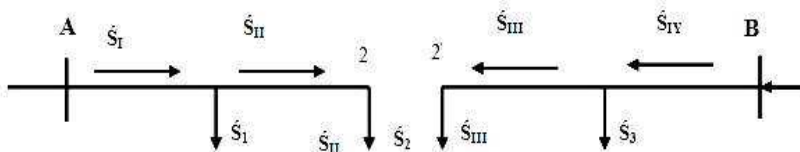
Çeşmelerden gelip, başky aralyklardan akýan kuwwat ululyklar mälüm bolandan soňra, Kirgofyň düzgünine laýyklykda galan aralyklar boýunça akýan kuwwat ulululyklaryny tapmagyň hiç bir kynçylygy ýokdyr.

Liniýanyň aralyklarda akýan kuwwat ululyklaryny tapmak bilen onuň iş durkunyň hasabynyň birinji etaby tamamlanýar. Hasabyň ikinji etabynda liniýa aralyklaryndaky kuwwat ýitgilerini we düwün nokatlaryndaky (uzlawyýe toçki)

potensial ululyklaryny takykklamaly. Aýdalyň, hasabyň birinji etabynda setde kuwwat ýaýrawy 5-4-3-nji ,a çyzgyda görkezilişi ýaly bolupdyr. Suratdan görnüşi ýaly "2" nokada kuwwat iki tarapdan gelýär. Şeýle nokada kuwwat akymynyň ýa-da bolmasa tok akymynyň bölünşik nokady diýilip aýdylýar, hem-de ony garaldylan üçburçlyk bilen bellýärler.



a)



b)

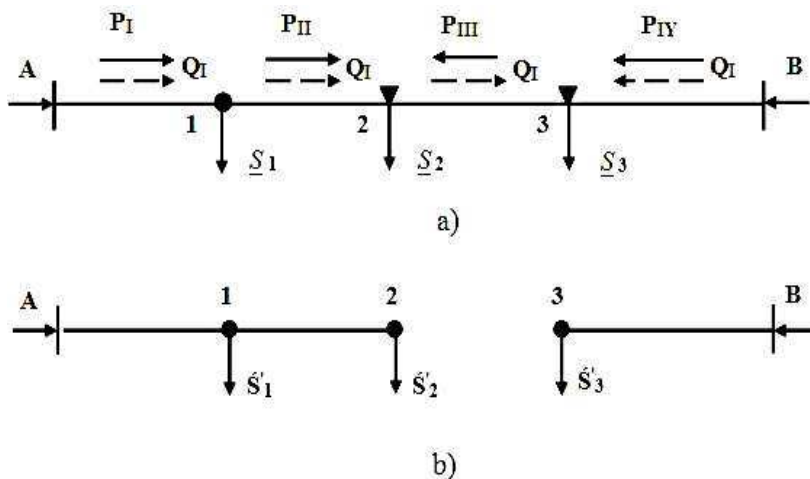
5-4-3-nji çyzgy. Halka setde kuwwat ýaýrawy.

5-4-3-nji, a çyzga laýyk bolan 5-4-3-nji, b çyzgyny getirip görkezmek bolar, ýagny ony kuwwat ýa-da tok bölünşik nokadynda iki bölege bölünýär diýen hyýalynda alarys. Meselä şeýle çemeleşmek kuwwat ýa-da tok ýaýrawyna täsir edip bilmez, egerde, 2-nokada \dot{S}_{II} ýük dakylan we 2'-nokada \dot{S}_{III} ýük dakylan diýip hasap edilende.

Şeýlelikde 5-4-3-nji, b çyzgydaky sudur iki sany özbaşdak aýyk setden durýar. Şonuň üçin bolsa hasaby gelejekde aýyk setiň "başky berlen" ululyklary bilen hasap edilişi ýaly hasap geçirmek bolar. Raýon ähmiýetli setler üçin kuwwat ýitgisini hasaba alyp her aralyklardaky takyk kuwwat

ýa-da tok akymy tapylyp, soňra aýyrgyt nokatlarynyň (uzlowsýe točki) potentsiallaryny anyklaýarlar. Ýerli setler üçin bolsa kuwwat ýitgisini göz önünde tutmazdan potensial ululyklary kesgitlenilýär.

Hasap geçirilende iki sany kuwwat ýa-da tok bölünşik nokady ýüze çykmagy mümkindir, ýagny biri aktiw we beýlekisi reaktiw kuwwat ýa-da tok ýaýrawyna degişli bolmagy ähtimaldyr. Şeýle kuwwat ýaýrawynyň sudury 5-4-4-nji, a çyzgyda getirilendir we ol ýerde nokat 2 aktiw kuwwat bölünşiğine, nokat 3 bolsa reaktiw kuwwat bölünşiğine degişlidir. Beýle ýagdaýda hem halka seti iki sany özbaşdak açyk set görnüşinde görkezmek bolar (5-4-4-nji ,b çyzgy).



5-4-4-nji çyzgy. Iki bölünşik nokatly halka setiň sudury.

Ilki başda iki bölünşik nokat aralygyndaky kuwwat ýitgisini tapýarys. Soňra 2 nokada

$\underline{S}'_2 = P'_2 + jQ'_2 = P_{II} + j(Q_{II} + \Delta Q_{III})$ kuwwat dakylan we 3 nokada bolsa

$\underline{S}'_3 = P'_3 + jQ'_2 = P_{IV} + \Delta P_{IV} + jQ$ dakylan diýip hasap etmek bilen özbaşdak iki açyk seti alarys.

Bölünşik nokatlary (2 we 3) aralygyndaky kuwwat ýitgileri aşakdaky ýaly tapylýar :

$$\Delta P_{III} = \frac{P_{III}^2 + Q_{III}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_{III} ;$$

$$\Delta Q_{III} = \frac{P_{III}^2 + Q_{III}^2}{U_{nom}^2} \cdot x_{III}$$

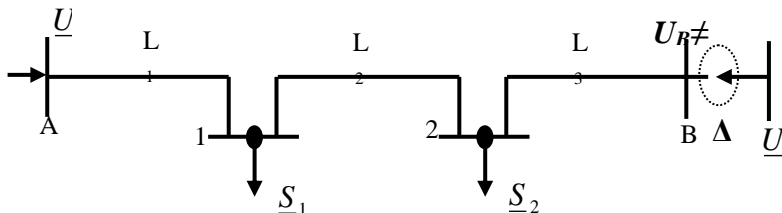
§ 5-5 Potensiallary deň bolmadyk çeşmelerden ikitaraplaýyn iýmitlendirilen liniýalaryň iş durkunyň hasaby

Eger, çeşmeleriň potensiallary deň bolan halda, ýagny $U_A = U_B$, onda hasaby halka setiň usuly bilen geçirmek bolardy, emma welin, biziň häzirki garaýan meselämizde ($U_A \neq U_B$) şert başgaça bolup dur.

Kabul edilen, $U_A < U_B$, onda .Bu mesele üçin özara täsirli usuly ulanmak mümkindir, ýagny $\underline{U}_B = 0$, diňe \underline{U}_A potensialyň täsiri bar, şunlukda toguň ýa-da kuwwatyň bir ýaýrawyny tapýarys, soňra bolsa, $\underline{U}_A = 0$, setde \underline{U}_B potensial täsir edýär we özüniň tok ýa-da kuwwat ýaýrawyny ýüze çykarýar diýip çaklalyň. Indi bolsa bir tok ýa-da kuwwat ýaýrawy beýleki tok ýa-da kuwwat ýaýrawy bilen ugry hemde ululygy bilen goşulýarlar diýip hasap etsek, onda garaýan setiň iş durkunyň netijesi gelip çykar. Eger, şeýle usul elektrik zynjyrlary üçin amatly usullaryň biri bolup durýan bolsa, elektrik setleri üçin hem ulanmak mümkinçiligi kanuny zatdyr, ýöne bu usuly elektrik setleri üçin biz özümizçe çemeleşmekçidiris, ýagny, ilki iki çeşmäniň hem potensialy deň diýip, bir, tok ýa-da kuwwat ýaýrawyny taparys, soňra bolsa setde diňe potensiallaryň tapawudy tasir edýär diýip

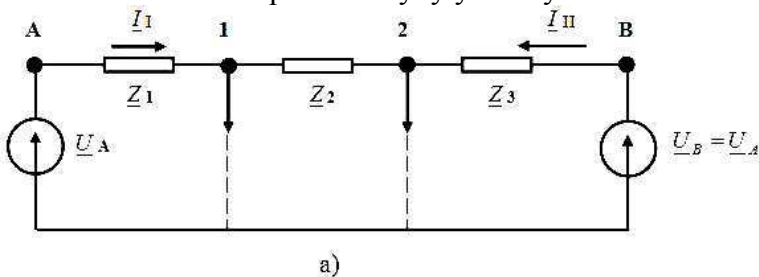
togyň ýa-da kuwwatyň ikinji ýaýrawyny taparys. Şeýlelikde iki togyň ýa-da kuwwatyň ululygy hem-de ugry boýunça biri-birine ýüklewi iş durkunyň netijesini berer.

Garaňýan mesele üçin setiň sudury aşaky çyzgyda getirilendir.

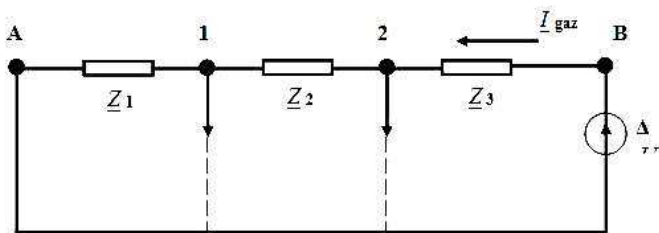


5-5-1-nji çyzgy .Çeşmeleriň potensiallary deň bolmadyk.Setiň sudury.

Meseläniň hasap sudurlaryny ýerine ýetirilen



a)



b)

5-5-2-nji çyzgy. Setiň hasap sudurlary.

Eger 1 we 2 nokatlaryň potensiallary özara deň we nominal bahasyna laýyk diýip alsak, onda tok ýa-da kuwwat ýaýrawy halka setiň hasaby ýaly tapylar (5-5-2-nji, a çyzgy). Setiň potensialy 110 kW we ondan kiçi bolanda A, 1 we 2 nokatlaryň potensiallary özara deň diýip hasaplaýarlar, sebäbi şeýle setlerdäki potensial ýitgi az bolýar diýip hasap edilýär. Şeýle çaklamada 1 we 2 nokatlara birleşen elektrik ýükleri ýok hökmünde garamak mümkin, sebäbi kiçi (az) potensialdan dörän sazlaýjy diýip atlandyrylýar I_{saz} tok garşylygy az bolan liniýanyň üstünden aýlanýar (5-5-2-nji, b çyzgy).

$$\underline{I}_{saz} = \frac{\Delta \underline{U}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{\underline{U}_{Bf} - \underline{U}_{Af}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \quad (5.5.1.)$$

Şeýlelikde, ikitaraplaýyn iýmitlendirilen dürli potensially setiň sakalaryndan akýan tok ýa-da kuwwat ululyklary aşakdaky ýaly formulalar bilen kesgitlener.

$$\begin{aligned} \underline{S}_A = \underline{S}_I &= -\sqrt{3} \underline{U}_A \hat{\underline{I}}_{saz} + \frac{1}{\hat{\underline{Z}}_{AB}} \left[\underline{S}_1 (\hat{\underline{Z}}_2 + \hat{\underline{Z}}_3) + \underline{S}_2 \hat{\underline{Z}}_3 \right]; \\ \underline{S}_B = \underline{S}_{II} &= -\sqrt{3} \underline{U}_B \hat{\underline{I}}_{saz} + \frac{1}{\hat{\underline{Z}}_{AB}} \left[\underline{S}_1 \hat{\underline{Z}}_1 + \underline{S}_2 (\hat{\underline{Z}}_1 + \hat{\underline{Z}}_2) \right] \end{aligned} \quad (5.5.2.)$$

Umumy ýagdaý üçin aşakdaky formulany getirmek bolar.

$$\begin{aligned}\underline{S}_A &= \underline{U}_A \frac{\underline{\hat{U}}_A - \underline{\hat{U}}_B}{\underline{\hat{Z}}_{AB}} + \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \underline{\hat{Z}}_{mB}}{\underline{\hat{Z}}_{AB}} ; \\ \underline{S}_B &= \underline{U}_B \frac{\underline{\hat{U}}_B - \underline{\hat{U}}_A}{\underline{\hat{Z}}_{AB}} + \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \underline{\hat{Z}}_{mA}}{\underline{\hat{Z}}_{AB}}\end{aligned}\quad (5.5.4.)$$

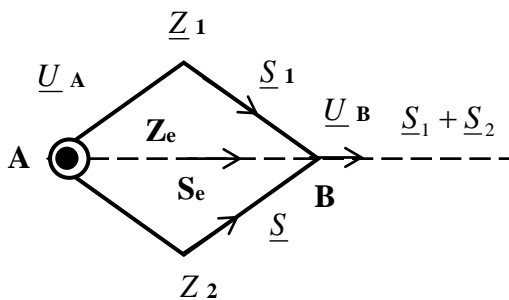
§ 5-6 Seti özgerdme usuly bilen çylşyrymly setleriň hasaby

Haçanda set örän çylşyrymly hem-de onuň hasaby ýükleriň sete çatylyş wariantlary köp bolanda, elektrostansiýalaryň dürli kuwwatlyklaryny göz önünde tutmaly ýagdaýynda, setiň hasabyny gecirmek üçin EHM ulanmaly bolýar. Emma, set beýle bir çylşyrymly bolmadyk ýagdaýda we hasap belli sudur üçin geçirmeli bolanda EHM ulanmak maksada laýyk bolmaýar. Şeýle ýagdaýlarda çylşyrymly seti kem-kemden ýönekeýleşdirip el hasabyny ulanmak amatly bolýar.

Ýönekeýleşdirmе usulyň manysy çylşyrymly seti kem-kemden özgerdip, ikitaraplaýyn iýmilendirilen setiň suduryňa getirýärler. Soňra bolsa alnan sudura görä kuwwat ýa-da tok ýaýrawyny tapýarlar (ikitaraplaýyn iýmitlendirilen setiň hasaby bilen biz öň tanyşypdyk). Özgerdilen setiň liniýa aralyklarynda kuwwat ýa-da tok ululyklary belli edilenden soň, yzygider ýagdaýda kem-kemden tersine özgertmek bilen (tersine sökmek bilen) kuwwat ýa-da tok ýaýrawyny ilki başdaky berlen setiň özi üçin kesgitleýäris.

Parallel liniýalaryň özgerdmesine garalyň. Iki parallel liniýaly (köp hem bolup biler) çylşyrymly däl ýapyk set berlen (5-6-1-nji çyzgy)). Liniýalaryň deňişlilikde ýükleri \underline{S}_1 we \underline{S}_2 hem-de garşylyklary \underline{Z}_1 we \underline{Z}_2 . Iki liniýa derek bir liniýa bolar ýaly etmeli hem-de iki kuwwat akymyny bir kuwwat

akymy bolar ýaly ekwiwalent elektrik setiniň suduryňy almaly (onda garşylyk ululygy \underline{Z}_{ekw} we kuwwat ululygy \underline{S}_{ekw} bolar).



5-6-1-nji çyzgy. Ýüksiz parallel liniýalaryň ekwiwalenti.

Şeýle özgertme heçirilende B-noktdaky potensial üýtgewi bolmaly dälär hem-de B - nokatdan sagda kuwwat üýtgewi rugsat edilmeyär.

Elektrotehnikanyň kanunyna laýyklykda iki parallel liniýa üçin :

$$\underline{S}_{ekw} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 ; \quad \underline{Z}_{ekw} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

Eger üç parallel liniýa bolsa :

$$\underline{S}_{ekw} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 ; \quad \underline{Z}_{ekw} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 + \underline{Z}_2 \underline{Z}_3 + \underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}$$

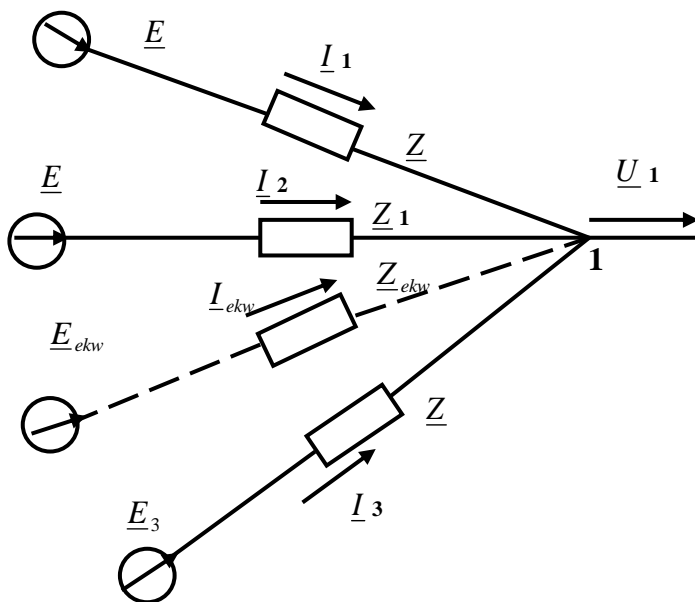
Eger, alnan ekwiwalent seti söklesek, onda \underline{S}_{ekw} kuwwatyň her liniýa düşýän bölegini tapmaly bolarys. Meseläniň şertine görä B - noktdaky potensial her halda bolanda hem üýtgeýsizdir onda A we B nokatlar arasyndaky parallel liniýalardaky potensial çökme deňdir, ýagny

$$\frac{\underline{S}_1 \underline{Z}_1}{\underline{U}_B^*} = \frac{\underline{S}_2 \underline{Z}_2}{\underline{U}_B^*} = \frac{\underline{S}_3 \underline{Z}_3}{\underline{U}_B^*} = \frac{\underline{S}_3 \underline{Z}_3}{\underline{U}_B^*} \quad (5.6.1.)$$

Onda (5.6.1.) peýdalanyp taparys :

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_{ekw} \frac{\underline{Z}_{ekw}}{\underline{Z}_1} ; \underline{S}_2 = \underline{S}_{ekw} \frac{\underline{Z}_{ekw}}{\underline{Z}_2} ; \underline{S}_3 = \underline{S}_{ekw} \frac{\underline{Z}_{ekw}}{\underline{Z}_3} \quad (5.6.2.)$$

Birnäçe energiýa çeşmeleri bir güzer nokada (nokat 1) birleşen ýagdaýlarynda, onda olaryň deregine oruntutma sudurda bir ekwiwalent çeşme bilen çalşyrmak hasap suduryny ýönekeýleşdirýär (5-6-2-nji çyzgy).



5-6-2-nji çyzgy. Elektrostansiýalaryň bir (nokat) düwüne aralykda ýüksüz birleşmesi.

Birnäçe elektrostansiýalaryň ekwiwalent elektrostansiýa bilen çalşyrylmasy

Şu getirilen sudurda üç çeşmäniň hem e.h.g. umumy bolan 1-nokatdan \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 we \underline{Z}_3 garşylyklar arkaly bölünendirler. Özgertme geçirilmäkäde we geçirilenden soň hem umumy nokatdan (1) sagda iş durky üýtgeşsiz bolmalydyr, ýagny $U_1 = \text{const}$ hem-de tok ýa-da kuwwat akymy 1-nokatdan sag tarapda üýtgeşsiz bolmaly.

Her elektrostansiýanyň togy :

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_1 &= (\underline{E}_{1f} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_1 ; \\ \underline{I}_2 &= (\underline{E}_{2f} - \underline{U}_{2f}) \underline{Y}_2 ; \\ \underline{I}_3 &= (\underline{E}_{3f} - \underline{U}_{3f}) \underline{Y}_3 \end{aligned} \right\} \quad (5.6.3.)$$

$$\underline{I}_{ekw} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = (\underline{E}_{ekw} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_{ekw} \quad (5.6.4.)$$

Iş durkunyň üýtgeşsizlik şertine görä :

$$\underline{I}_{ekw} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = (\underline{E}_{ekw} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_{ekw} \quad (5.6.5.)$$

Bu ýerde tok bahalaryny ýerinde goýsak :

$$(\underline{E}_{1f} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_1 + (\underline{E}_{2f} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_2 + (\underline{E}_{3f} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_3 = (\underline{E}_{ekw} - \underline{U}_{1f}) \underline{Y}_{ekw} \quad (5.6.6.)$$

Soňra, özgertme kömegi bilen, aşakdaky aňlatmany alarys

$$\underline{E}_{1f} \underline{Y}_1 + \underline{E}_{2f} \underline{Y}_2 + \underline{E}_{3f} \underline{Y}_3 - \underline{U}_{1f} (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) = \underline{E}_{ekw} \underline{Y}_g - \underline{U}_{1f} \underline{Y}_{ekw} \quad (5.6.7.)$$

Ekwiwalent elektrostansiýanyň geçirijiligi

$$\underline{Y}_{ekw} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 \quad (5.6.7.)$$

şeylelikde, ahyrky aňlatmanyň kömegi bilen E_{af} e.h.g. U_1 potensiala baglanşygy bolmadyk görnüşini alarys :

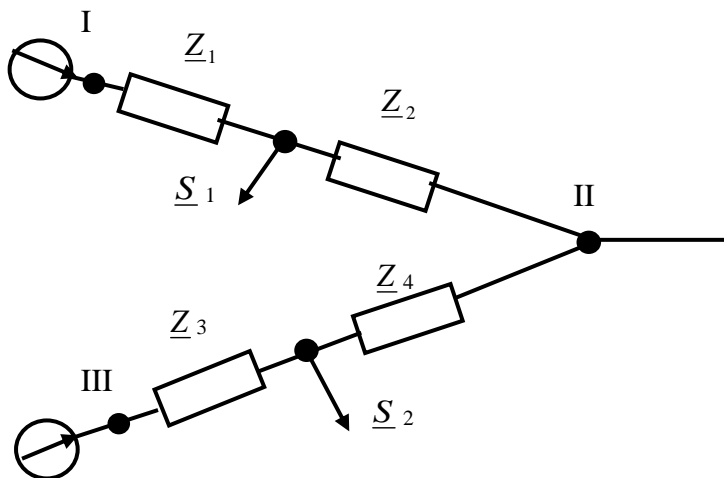
$$\underline{E}_{ekw} = \frac{\underline{E}_{1f} \underline{Y}_1 + \underline{E}_{2f} \underline{Y}_2 + \underline{E}_{3f} \underline{Y}_3}{\underline{Y}_g} \quad (5.6.9.)$$

Aňlatmany umumylaşdyrsak n - sany elektrosyansiýanyň ekwiwalent e.h.g. aşakdaky görnüşi alar

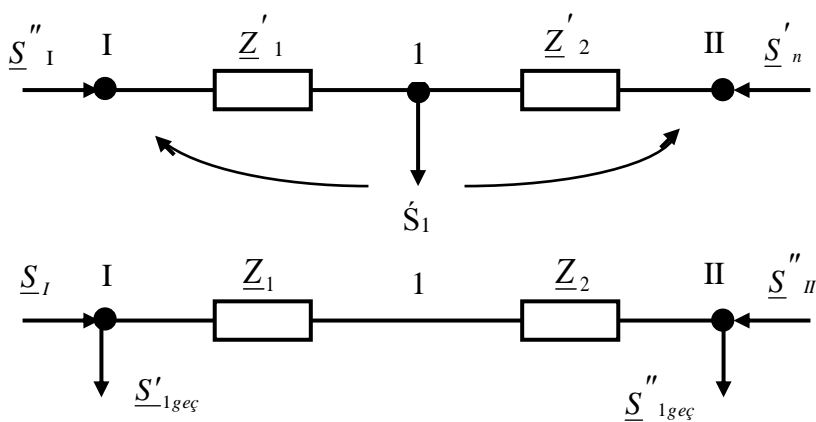
$$\underline{E}_{ekw} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{E}_{mf} \underline{Y}_m}{\sum_{m=1}^m \underline{Y}_m} \quad (5.6.10.)$$

Birnäçe energiýa çeşmelerini ýa-da birnäçe parallel liniýalary bir ekwiwalent görnüş bilen çalşyrmaklyga köplenç ýagdaýlarda aralykda dakylan elektrik ýüki päsgel berýär. Şeýle bolanda şol ýüki çep hem-de sag tarapdaky çäk nokada ýa-da taraplardaky çeşmelere geçirýärler. Ýük geçirilýän çäk nokatlaryny edil çeşme hökmünde garap, ikitaraplaýyn iýmitlendirilendäki ulanylýan düzgüne laýyklykda geçirilýän ýük ululyklaryny kesgitleýärler. Bu ýagdaýda hem çäk nokatlaryndan daşda iş durky üýtgeşsiz bolmalydyr, ýagny energiýa meselesi üýtgeşsizligine galmalydyr.

Ine, 5-6-3-nji çyzgy şeýle ýagdaý görkezilendir.



5-6-3-nji çyzgy. Elektrostansiýalaryň bir düwüne aralykda ýükli birleşmesi.

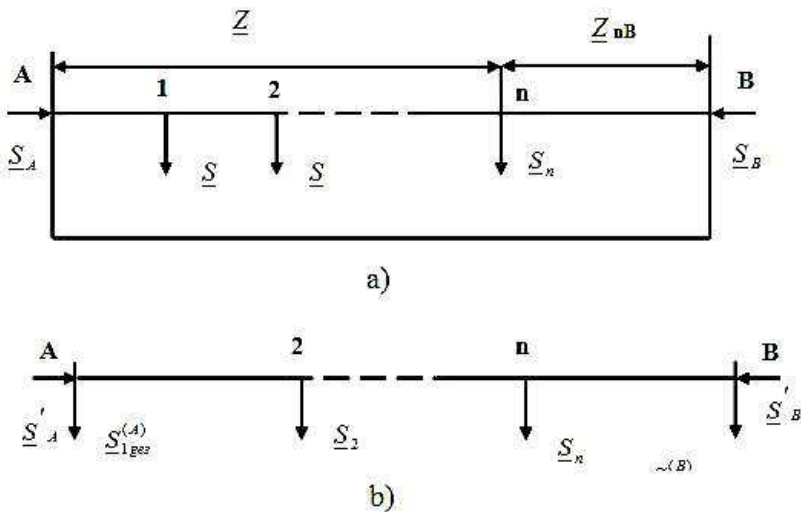


5-6-4-nji çyzgy. Aralykdaky elektrik ýüküniň çäk nokatlara geçirilişi.

ikitaraplaýyn iýmitlendirilen setiň düzgünine görä

$$\underline{S}'_{1_{geç}} = \underline{S}_1 \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} ; \quad \underline{S}''_{1_{geç}} = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \quad (5.6.11.)$$

Netijede, umumy ýagdaý üçin, haçanda iki nokat aralygynda birnäçe elektrik ýükleri bolanda hem geçirme düzgüni güýjinde galyp, talap edilýän şertleri kanagatlandyrýar. Şeýle setiň sudury 5-6-5-nji çyzgyda getirilendir.



5-6-5-nji çyzgy. Ýük geçirmäniň umumy usuly.

Bu getirilen sudury ikitaraplaýyn iýmitlendirilen set hökmünde garalýar, onuň üçin bolsa düwün nokatlarda potensial ululyklary we olaryň fazalary özara deňdirler. Onda (6.6.11.) aňlatma laýyklykda A we B nokatlara tarap daşdan gelýän kuwwat ululyklary üçin aňlatmalary alarys :

$$\begin{aligned}\underline{S}_A &= \frac{\underline{S}_1 \hat{Z}_{1B} + \underline{S}_2 \hat{Z}_{2B} + \dots \underline{S}_n \hat{Z}_{nB}}{\hat{Z}_{AB}} \\ \underline{S}_B &= \frac{\underline{S}_1 \hat{Z}_{1A} + \underline{S}_2 \hat{Z}_{2A} + \dots \underline{S}_n \hat{Z}_{nA}}{\hat{Z}_{AB}}\end{aligned}\quad (5.6.12.)$$

Eger \underline{S}_1 ýüki A hem-de B nokatlara geçirsek, onda setiň(5-6-5-nji, b çyzgy), ýaly görnüşi alar. Indi, A we B nokatlara daşdan gelýän kuwwat ululyklarynyň aňlatmalary aşakdaky ýaly görnüşi alar :

$$\begin{aligned}\underline{S}'_A &= \frac{\underline{S}_{1geç}^{(A)} \hat{Z}_{AB} + \underline{S}_2 \hat{Z}_{2B} + \dots + \underline{S}_n \hat{Z}_{nB} + \underline{S}_{1geç}^{(B)} \hat{Z}_{BB}}{\hat{Z}_{AB}} \\ \underline{S}'_B &= \frac{\underline{S}_{1geç}^{(A)} \hat{Z}_{AA} + \underline{S}_2 \hat{Z}_{2B} + \dots + \underline{S}_n \hat{Z}_{nA} + \underline{S}_{1geç}^{(B)} \hat{Z}_{BA}}{\hat{Z}_{AB}}\end{aligned}$$

$$bu \quad ýerde \quad \hat{Z}_{AA} = \hat{Z}_{BB} = 0$$

Şerte görä, ýük geçirilende çäk nokatlardan daşda iş durky üýtgeşsiz bolup galmaly, şonuň üçin $\underline{S}'_A = S'_A$ we $\underline{S}_B = S'_B$. Onda (5.6.11.) aňlatmany (5.6.13.) aňlatma bilen özara deňläp, aşakdaky ýaly aňlatma alarys.

$$\underline{S}_{1geç}^{(A)} = \underline{S}_1 \frac{\hat{Z}_{1B}}{\hat{Z}_{AB}} \quad we \quad \underline{S}_{1geç}^{(B)} = \underline{S}_1 \frac{\hat{Z}_{1A}}{\hat{Z}_{AB}}$$

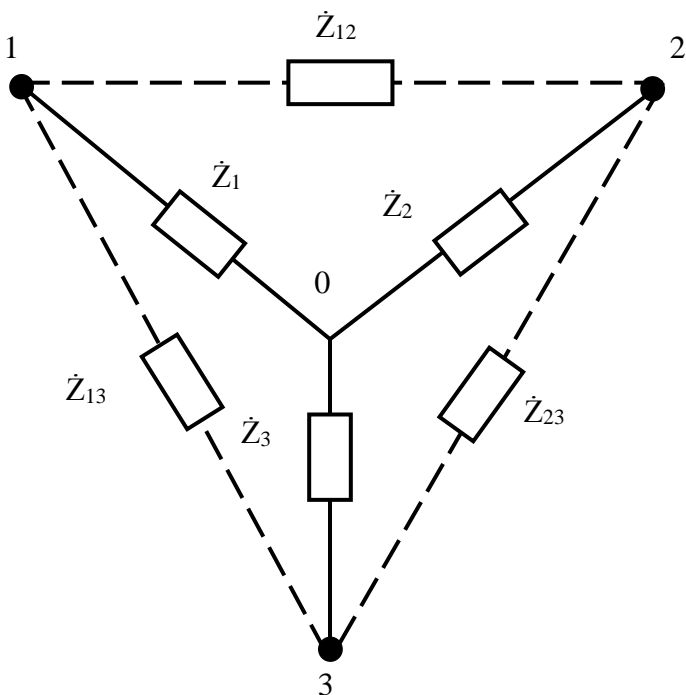
Ýokarda getirilen aňlatma sazlykda islendik aralykdaky ýük üçin umumy ýük geçirme aňlatmasyny alarys

$$\left. \begin{aligned} \underline{S}_{nge\zeta}^{(A)} &= \underline{S}_n \frac{\hat{Z}_{nB}}{\hat{Z}_{AB}} ; \\ \underline{S}_{nge\zeta}^{(B)} &= \underline{S}_n \frac{\hat{Z}_{nA}}{\hat{Z}_{AB}} ; \end{aligned} \right\} \quad (5.6.14.)$$

Getirilen aňlatmalaryň kömegi bilen islendik ýük islendik nokada (garalyan çägiň içinde) geçirilendäki ululygyny tapmak bolar. Mysal edip alsak, hamala \underline{S}_2 ýük 1 we n - nokatlara geçirilipdir diýeliň. Şonda şol nokatlaryň kuwwatlyklary deňişlilikde aşakda getirilen ululyklarça artar :

$$\begin{aligned} \underline{S}_{2ge\zeta}^{(1)} &= \underline{S}_2 \frac{\hat{Z}_{2n}}{\hat{Z}_{1n}} ; \\ \underline{S}_{2ge\zeta}^{(n)} &= \underline{S}_2 \frac{\hat{Z}_{21}}{\hat{Z}_{1n}} ; \end{aligned}$$

Set suduryňyň özgertmesine mahsus bolan ýönekeýleşdirmäniň biri hem üçburçlyk görnüşdäki birleşmäni ýyldyz görnüşindäki birleşmä öwürmektir, ýa-da tersine (5-6-6-njy çyzgy).



5-6-6-нй çызгы. Üçburçlyk hem-de ýyldyz birleşme.

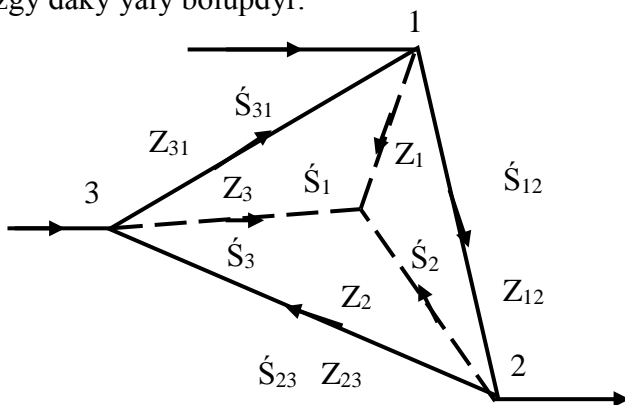
Ýyldyz birleşmeden üçburçlyk birleşmä geçilende :

$$\left. \begin{aligned} \underline{Z}_{12} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} ; \\ \underline{Z}_{13} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} ; \\ \underline{Z}_{23} &= \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1} ; \end{aligned} \right\} \quad (5.6.15.)$$

Üçburçlyk birleşmeden ýyldyz birleşmä geçilende bolsa aşakdaky aňlatmanyň kömeginden peýdalanylýar :

$$\left. \begin{aligned} \underline{Z}_1 &= \frac{\underline{Z}_{12} \cdot \underline{Z}_{13}}{\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{13} + \underline{Z}_{23}} ; \\ \underline{Z}_2 &= \frac{\underline{Z}_{12} \cdot \underline{Z}_{23}}{\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{13} + \underline{Z}_{23}} ; \\ \underline{Z}_3 &= \frac{\underline{Z}_{13} \cdot \underline{Z}_{23}}{\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{13} + \underline{Z}_{23}} ; \end{aligned} \right\} \quad (5.6.16.)$$

Şeýlelikde çylşyrymly set ýönekeýleşýär we deň potensially ikitaraplaýyn iýmitlendirilen setiň hasaby ýaly edip hasap geçirmek bolýar. Şeýle hasap geçirilende ýyldyz birleşmäniň her şöhesindäki kuwwat akymy anyk bolýar. Diýeliň, şeýle hasap netijesinde ýyldyz birleşmäniň şöhelelerinde kuwwat ýaýrawy, ýagny S_1 , S_2 we S_3 5-6-7-nji çyzgy daky ýaly bolupdyr.



5-6-7-nji çyzgy. Üçburçlyk birleşmäni ýyldyz birleşmä öwürmek.

Onda özgerdilen sudury sökläp, üçburçlyk birleşme taraplaryndaky kuwwat akymalaryny tapmak üçin üçburçlygyň islendik tarapynda potensial çökmesi şol tarapa bagly bolan şöhlelerdäki potensial çökmesine deňdir diýip hasap edenimizde

$$\frac{\underline{S}_{12}}{\underline{\hat{U}}_{nom}} \cdot \underline{Z}_{12} = \frac{\underline{S}_1}{\underline{\hat{U}}_{nom}} \cdot \underline{Z}_1 - \frac{\underline{S}_2}{\underline{\hat{U}}_{nom}} \cdot \underline{Z}_2, \quad \text{bu ýerden}$$

$$\underline{S}_{12} = \frac{\underline{S}_1 \underline{Z}_1 - \underline{S}_2 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_{12}}; \quad \underline{S}_{23} = \frac{\underline{S}_2 \underline{Z}_2 - \underline{S}_3 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{23}}; \quad \underline{S}_{31} = \frac{\underline{S}_1 \underline{Z}_1 - \underline{S}_2 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_{12}}; \quad (5.6.17.)$$

$$\underline{S}_{31} = \frac{\underline{S}_3 \underline{Z}_{31} - \underline{S}_1 \underline{Z}_1}{\underline{Z}_{31}};$$

Eger, san otirisatel bolsa, onda üçburçlygyň tarapynda görkezilen kuwwat akymynyň ugruny tersine ugrukdymaly.

Indi dürli özgertmelere degişli bolan bir mysala garap geçeliň (Mysal "Электрические сети энергетических систем" atly В.А.Боровиков, В.К.Косарев, Г.А.Ходот awtorlaryň edebiýatyndan alyndy).

Mysal (7-1-1-nji) 110 kW potensialy setde "b" punktda elektrik ýüküniň artmagy sebäpli, setiň geçirijilik ukybyny artdyrmak üçin A çeşmeden "b" nokada çenli aralyga täze bir liniýa gurulan (5-6-7-nji çyzgyda zire çyzyjaklar bilen görkezilendir). Set hemme ýerde howa liniýalarynda gurnalandyr. Kabul ediji podstantsiýalarda max ýükde liniýanyň zarýad kuwwatlyklaryny göz önünde tutulyp görkezilendir (MWt we MWAr). Aralyk uzynlyklary kilometrlerde berlendir. Meseläniň talap edýän ululyklary özgeriş alan setdäki kuwwat ýaýrawlaryny hem-de olara laýyk gelýän sim ýogynlyklary kesgitlemeli.

I. Seti özgerdip, iki taraplaýyn iýmitlendirilen set görnüşine getirme.

1. a we e düwünlerdäki ýükleri (5-6-8-nji, a çyzgy) A, b we d düwünlere ýokarda agzalan düzgünler boýunça geçireliň ýöne garşylyklary liniýalaryň uzynlyklary bilen çalşyrmagy göz önünde tutmakda geçireliň.

$$\underline{S}_{aA} = \frac{(16 + j12) \cdot 25}{45} = 8,9 + j6,7 ;$$

$$\underline{S}_{ab} = \frac{(16 + j12) \cdot 20}{45} = 7,1 + j5,3 ;$$

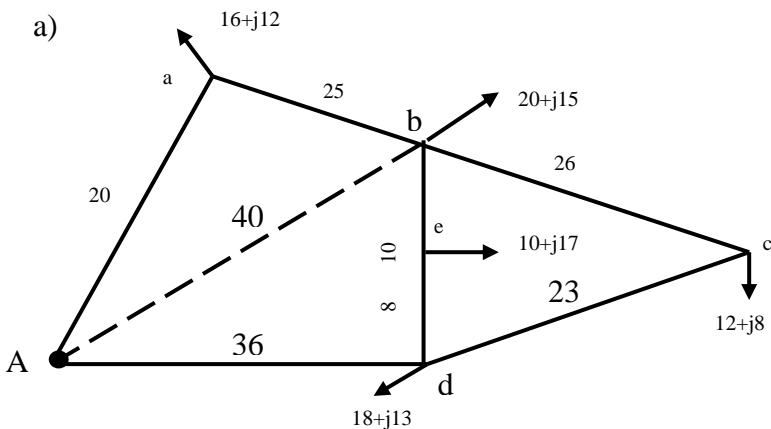
$$Jemi: \underline{S}_a = 16 + j12$$

$$\underline{S}_{eb} = \frac{(10 + j7) \cdot 8}{18} = 4,4 + j3,1 ;$$

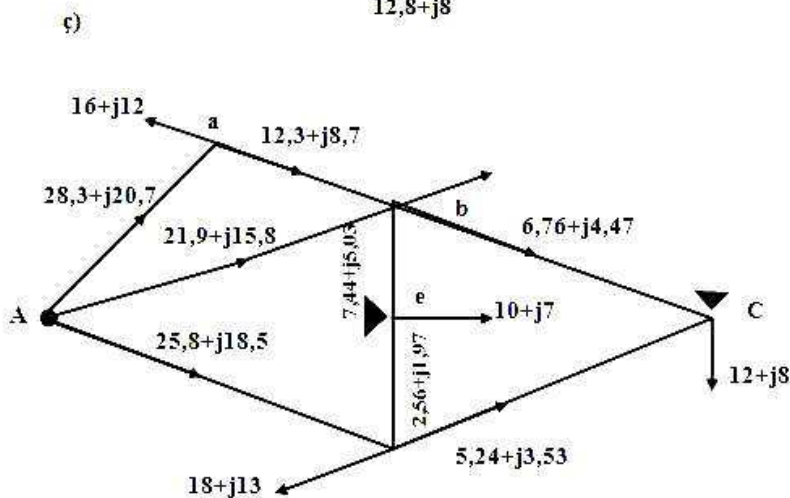
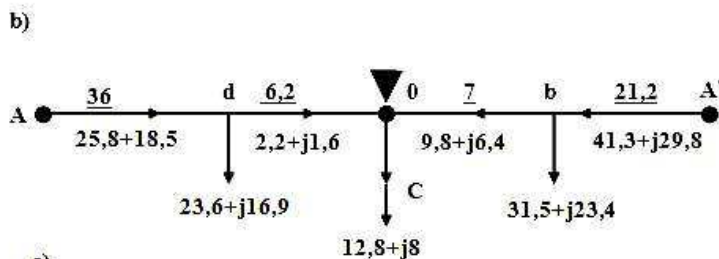
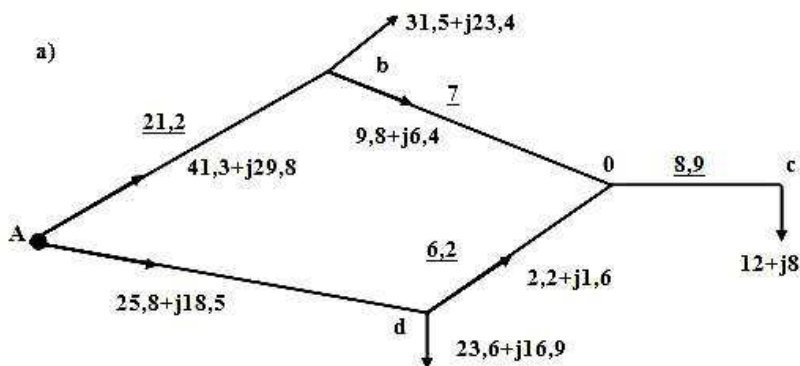
$$\underline{S}_{ed} = \frac{(10 + j7) \cdot 10}{18} = 5,6 + j3,8 ;$$

$$Jemi: \underline{S}_e = 10 + j7$$

Bu ýagdaý haçanda set birsyhly gurnalanda kanuna laýykdyr.



5-6-8-nji çyzgy. Çylşyrymly setiň sugury.



5-6-9-nji çyzgy. Çylşyrymly setiň sudury we onuň özgerdilişi.

2. Parallel liniýalar bolan Aab we Ab ýüksiz ýagdaý;arynda ekwiwalent

$$l_e = \frac{45 \cdot 40}{45 + 40} = 21,2 \text{ km} \quad \text{uzynlygy bolar}$$

3. bcd üçburçlygyny (5-6-9-njy, a çyzgy) ýyldyz görnüşe (5-6-9-njy, b çyzgy) öwürýäris :

$$l_{bo} = \frac{26 \cdot 18}{67} = 7 \text{ km} ; \quad l_{do} = \frac{18 \cdot 23}{67} = 6,2 \text{ km} ; \quad l_{co} = \frac{23 \cdot 26}{67} = 8,9 \text{ km}$$

4. Ýönekeý halka seti (5-6-9-njy, b) A çeşmede arasyny üzüp ikitaraplaýyn iýmitlendirilen set görnüşine getirýäris (5-6-9-njy, b).Bu ýerden kuwwat akymynyň ýaýrawyny taparys :

$$P_A = \frac{23,6 \cdot 34,4 + 12 \cdot 28,2 + 31,5 \cdot 21,2}{70,4} = 25,8 \text{ Mwt} \quad ;$$

$$P_{A'} = \frac{23,6 \cdot 36 + 12 \cdot 42,2 + 31,5 \cdot 49,2}{70,4} = 41,3 \text{ Mwt}$$

Şu usula meňzeşlikde :

$$Q_A = 18,5 \text{ MWar} \quad ; \quad Q_{A'} = 29,8 \text{ MWar.}$$

Şeýlelikde , Ad liniýanyň ýüki

$$\underline{S}_{Ad} = 25,8 + j18,5 \quad ; \quad S_{Ad} = 31,5 \text{ MV.A}$$

Her aralykdaky kuwwat akymyny hem-de kuwwat akymynyň bölüw nokadyny kesgitläris (7-6-9-njy, b çyzgy O nokat).

II. Özgerdilen sudury ðňki kaddyna getirmek.

1. A'_b ekwiwalent liniýadaky (5-6-9-njy, b çyzgy) kuwwat akymyny A_{ab} we A_b parallel liniýalar boýunça bölüşdireliň, ýöne bir zady bellemeli, ýagny a- nokatda ýük ýok ýagdaýy üçin (5.6.2. aňlatmany ulanýarys). Bu ýerde garşylyklar uzynlyk aralyklary bilen çalşyrylýar.

$$\underline{S}_{AB} = \frac{(41,3 + j29,8) \cdot 21,2}{40} = 21,9 + j15,8 ; \quad S_{Ab} = 27 \text{ MVA} ;$$

$$\underline{S}_{Aab} = \frac{(41,3 + j29,8) \cdot 21,2}{45} = 19,4 + j14,80$$

2. bcd üçburçlygyň taraplaryndan akýan kuwwat ululyklaryny tapalyň (5-6-9-njy, d çyzgy), ýöne, bu ýerde: e - nokat ýüksiz diýip hasap etmeli). Onda (7.1.17. aňlatma) esasynda garşylyklary uzynklyk ululyklary bilen çalşyryp taparys :

$$\underline{S}_{bc} = \frac{(9,8 + j6,4) \cdot 7 + (12 + j8) \cdot 8,9}{26} = 6,76 + j4,47 ;$$

$$\underline{S}_{dc} = \frac{(2,2 + j1,6) \cdot 6,2 + (12 + j8) \cdot 8,9}{23} = 5,24 + j3,53 ;$$

$$\underline{S}_{bd} = \frac{(9,8 + j6,4) \cdot 7 + (2,2 + j1,6) \cdot 6,2}{18} = 3,04 + j1,93$$

Şu aňlatmalar kuwwat akymynyň b - nokatdan d - nokada ugrudan halatynda dogrudyr.

3. Öňki göçürilen ýükleri **a** we **e** nokatlara gaýtaryp getireliň hem-de başky birleşmedäki kuwwat akymlaryny kesgitleliň (5-6-9-njy çyzgyda):

$$\underline{S}_{Aa} = (19,4 + j14,0) + (8,9 + j6,7) = 28,3 + j20,7 \quad ; \quad S_{Aa} = 35,1 \text{ MVA} \quad ;$$

$$\underline{S}_{Aa} = (19,4 + j14,0) + (8,9 + j6,7) = 28,3 + j20,7 \quad ; \quad S_{Aa} = 35,1 \text{ MVA} \quad ;$$

$$\underline{S}_{be} = (3,04 + j1,93) + (4,4 + j3,1) = 7,44 + j5,03 \quad ; \quad S_{be} = 9 \text{ MVA} \quad ;$$

$$\underline{S}_{ed} = (3,0 + j1,93) - (5,6 + j3,9) = -2,56 - j1,97$$

ýagny, aktiw hem-de reaktiw kuwwatlyklaryň akymy *d* nokatdan *e* nokada

$$\underline{S}_{de} = 2,56 + j1,97 \quad ; \quad S_{de} = 3,2 \text{ MVA}$$

III. *A_b* liniýanyň sim ýöginlygyny kesgitleme.

Liniýanyň (*Ab*) üstünden max ýük ýylyň dowamynda $3500 = T_{max}$ sagatlaýyn geçýär. Onda, tok setde simiň üstünden akýan togyň tygşytlylyk dykyzlygy

$$1,1 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad \text{bolar}$$

Liniýadan akýan tok ululygy

$$I = \frac{27}{\sqrt{3} \cdot 110} = 142 \text{ A}$$

Gelejekde ýük ululygy artmagy mümkin hasaplap AC-150/24 markaly sim alýarys.

III. Alnan simi *Ad* liniýada näsazlyk dörän ýagdaýyna barlama.

Ad liniýada awariýa ýüze çykdy diýip hasaplalyň, onda, täze dörän birleşme sudury üçin ýokarda getirilen

hasaplar ýaly hasaby täzeden heçirip Ab liniýanyň üstünden akýan kuwwat ululygyny tapýarys. $\underline{S}_{Ab} = 35,5 + j25,5$:

$S_{Ab} = 43,5 \text{ MVA}$; $I_{Ab} = 228 \text{ A}$, ýagny AC - 150 simiň çäklendirilen tok ululygyndan (445 A) kiçidir. $I_{\text{çäk}} > I_{Ab}$, ýagny $445 \text{ A} > 228 \text{ A}$.

Y. Ab liniýa üçin saýlanyp alynan sim ýogynlygyna laýyklykda kuwwat ýaýrawyny hasaplama.

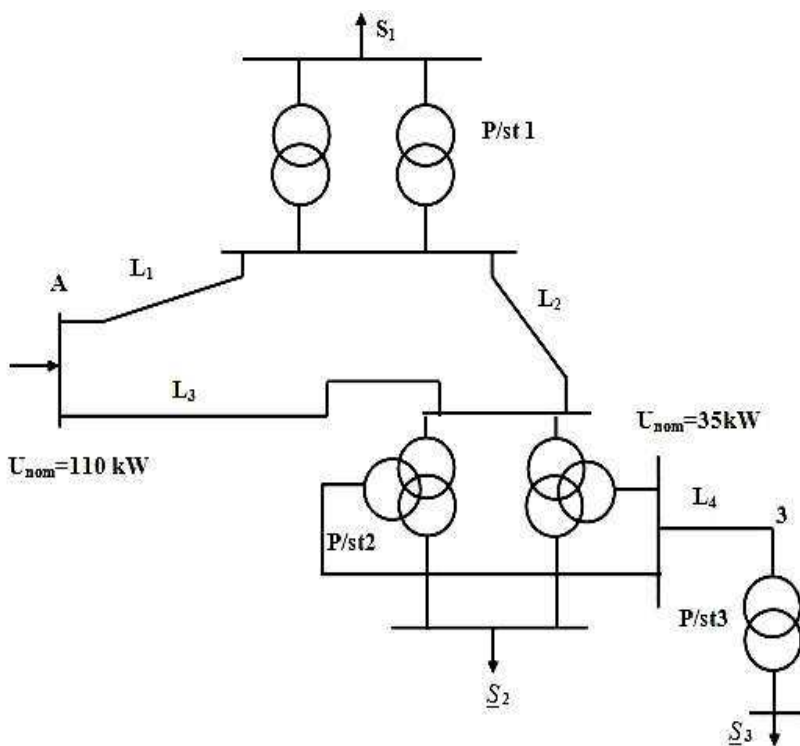
Umuman set birleşmesi birsyhly ýogynlykdaky simden bolman hem biler, gaýtam, köplenç şeýle-de bolýar. Şonuň ýaly ýagdaýda kuwwat ýaýrawuny garşylyklaryň üsti bilen geçirmeli bolýar, ýa-da ähli seti bir ýogynlyga getirip, soňra kuwwat ýaýrawuny anyklamaly bolýar.

ALTYNJY BAP

BIRNÄÇE NOMINAL POTENSIALLY SET BIRLEŞMELERİNİŇ IŞ DURKUNYŇ HASABY

§ 6-1 Parametleri getirme usuly

Häzirki zaman elektrik ulgamlarynda dürli potensialy bolan setler özara baglanyşykly işleýärler. Şeýle utgaşmalar transformatorlaryň ýa-da awto-transformatorlaryň kömegi bilen çatylyrlar. (6-1-1-nji çyzgyda) şeýle birleşmäniň sudur şekili we (6-1-2-nji çyzgyda) bolsa birleşmäniň oruntutma sudury getirilendir.



6-1-1-nji çyzgy. Set sudury.

Soňra, \underline{U}''_2 hem-de \underline{S}''_{T2} kesgitlenenenden soň hasap bir nominal potensially sudura görä ýerine ýetirilip biliner.

Eger, hasap "başky berlen ululyklar" bilen geçirilse, onda hasap durky iki öwrümden durýar. Setiň ähli nokatlarynda potensial ululygy deň diýip çaklamak bilen, öňürti kuwwat ýitgisini hemme elementler üçin kesgitlep, hemme elementler üçin üstünden geçýän kuwwatlyklary kesgitleýäris. Çyzgydan görnüşi ýaly, L_4 liniýa üçin potensial 35 kV ululygynda, galan elementler üçin bolsa 110 kV-dyr. Hasabyň ikinji öwrümünde A nokatdaky \underline{U}_A potensial anyklanandan soň liniýanyň degişli düwün nokatlaryndaky potensial ululyklary takyklanylýar. Ikinji öwrümde hasaba girizilmäkä \underline{U}_A eýýäm belli-berlen, birinji öwrümde bolsa her elementniň başlangyjyndaky kuwwat akymy kesgitlenildi. Şeýlelikde, başdan (aýaga) ahyra çenli bir düwün nokatdan beýleki düwün nokada potensial ululygyny aýdyňlaşdyryp \underline{U}'_2 - orta potensially liniýanyň getirilen ululygyny kesgitleýäris we soňra ol ululygy transformatoryň transformasiýa koeffisiýentine gatnaşdyryp orta potensially liniýanyň başyndaky hakyky potensial ululygyny kesgitleýäris.

$$\underline{U}_2 = \frac{\underline{U}'_2}{K_{Y-or}}$$

Soňra hasap L_4 liniýa üçin alynyp barylýar, ýagny

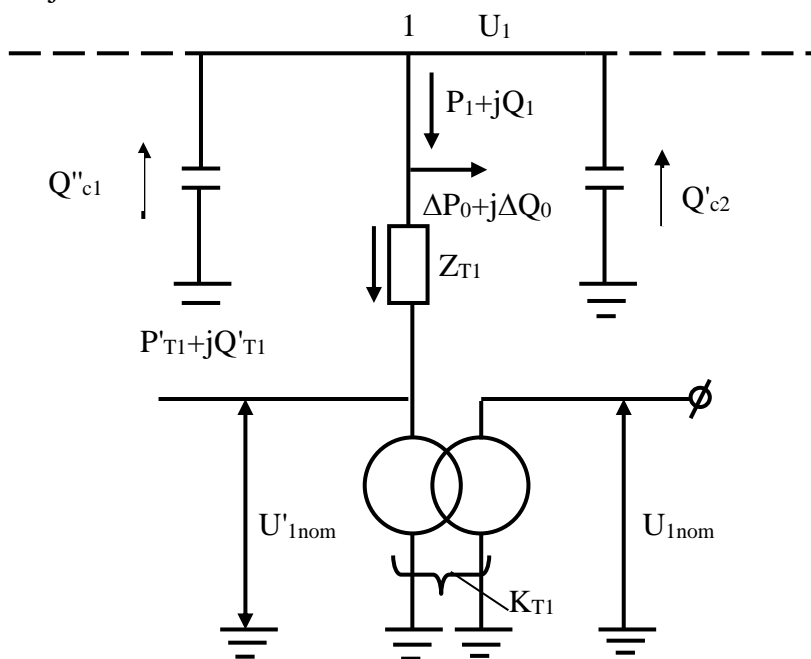
$$\Delta U_4 = \frac{P'_4 r_4 + Q'_4 x_4}{U_2}$$

Bu ýerden 3 nokatdaky potensial ululygy.

$$U_3 = U_2 - \Delta U_4$$

Eger hasap geçirişiň maksady peseldiji stansiýanyň şinasyndaky pes potensialyň ululygyny kesgitlemek bolsa,

onda ýene bir öwrüm bilen hasabyň üsti ýetirilmelidir. Şu halatda transformatoryň garşylygynda bolup geýýän potensial ýitgini göz önünde tutmalydyr hem-de magnit baglansygy hasaba almalydyr. Şu ýagdaýa mysal hökmünde bir bölejik sudura üns berip geçeliň (6-1-3-nji çyzgy). Şu çyzgyda elementleriň ýaýraw haldaky özara birleşmeleri getirilendir we her haýsysynyň hasapda göz önünde tutulmagy hökmanydyr, bolmasa, peseldiji stansiýanyň hasap ýükini doly aňladyp bilmez. Görkezilen kuwwatlyklar aýdyňlaşdyrylmalydyr hem-de jemlenmelidirler.



6-1-3-nji çyzgy. 1-nji peseldiji stansiýanyň (P/st) elementleriniň ýaýrawy.

Potensial U_1 hasabyň öňki öwrüminde kesgitleneni sebäpli ol ululyk bize belli.

$$\underline{S'}_{T1} = P'_{T1} + Q'_{T1}$$

Onda, transformatoryň sargysynyň hem-de onuň üstünden akýan kuwwat belli ýagdaýynda ondaky potensial ýitgini tapmagyň hiç bir kynçylygy ýokdyr, ýagny \underline{Z}_{T1} - iň üstünden

$$\Delta U_{T1} = \frac{P'_{T1} r_{T1} + Q'_{T1} x_{T1}}{U_1}$$

Onda kiçi potensially şinadaky getirilen potensial ululygy aşakdaky ýaly bolar.

$$U'_{1nom} = U_1 - \Delta U_{T1}$$

Onda peseldiji stansiýanyň kiçi potensially şinasyndaky gözleýän potensialymyz aşakdaky aňlatmada kesgitlener.

$$U_{1nom} = \frac{U'_{1nom}}{K_{T1}}$$

Dürli potensially set birleşmelerinde hasap geçirilende ýokarda getirip görkezen usulymyz bilen deň güýçlilikde potensial ululygyny bir ululyga (bir basgançaga) getirip hasap geçirmekdir. Şeýle edilende 6-1-2-nji çyzgyda L_4 liniýanyň garşylygyny (Z_4) 110 kV potensial ululygyna getirmeli ($\underline{Z}'_4 = \underline{Z}_4 \cdot K^2_{Y-or}$) we soňra 2 we 2' nokatlary göni birleşdiräýmeli bolýar (aralykda ideal transformator aýrylaýýar).

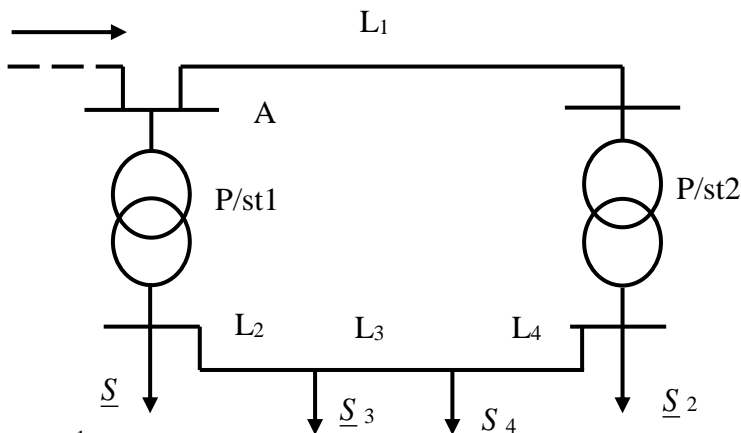
Şeýlelikde 3-nji nokatdaky potensial hem bir basgançaga getirilen halda bolýar, ýagny

$$U'_3 = K_{Y-or} \cdot U$$

bolar.

Ýönekeý sudurlarda hasap iki görnüşinde-de deňgüýçlidir. Ýone çylşyrymly sudur ýagdaýlarynda, mysal üçin transformatorlar ýapyk sudur birleşmelerinde

gelenlerinde hasaby potensial ululygyny bir basgançaga getirip geçirme oňaýly bolýar.

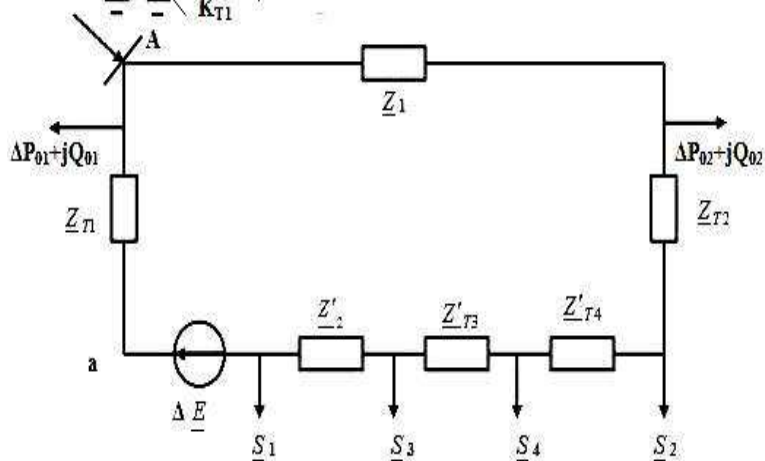
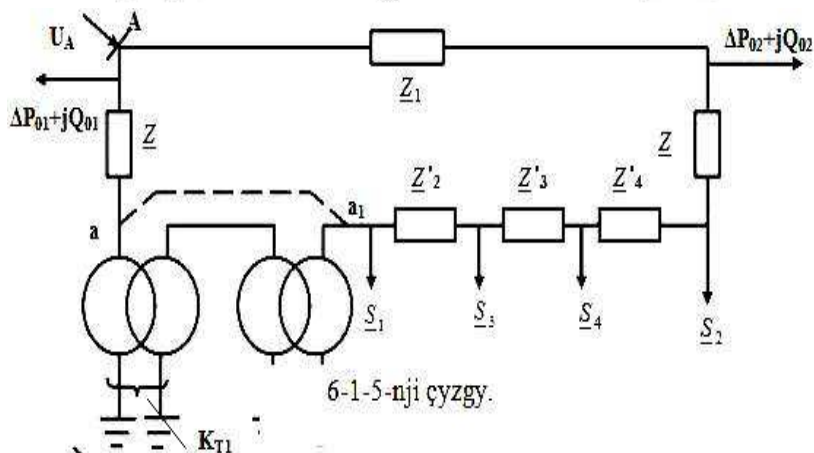
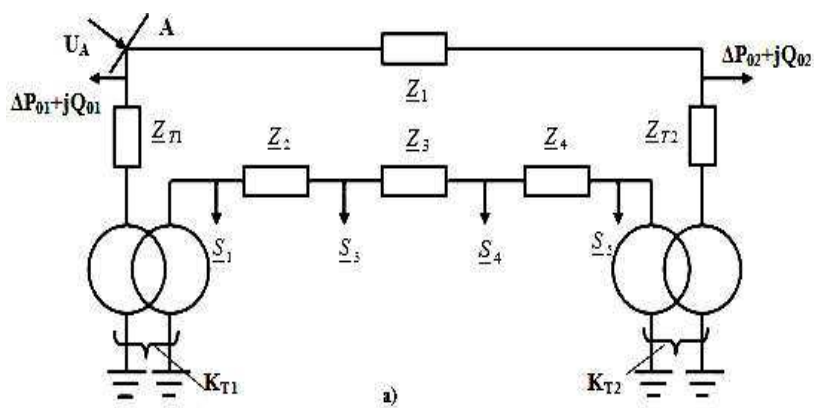


6-1-4-nji çyzgy. Transformatorlar ýapyk birleşmelerde.

6-1-4-nji çyzgyda şeýle ýagdaýyň mysaly getirilendir. Bu getirilen halka görnüşli suduryň oruntutma (hasap) sudury 6-1-5-nji, a çyzgyda görkezilendir. Transformatorlary magnit baglanyşyklar iki sany ideal (ýagny hiç-hili ýitgisiz) transformatorlaryň şekili bilen görkezilendir. Eger L_2 , L_3 we L_4 liniýalaryň Z_2 , Z_3 we Z_4 garşylyklaryny L_1 liniýanyň Z_1 derejesine basgançagyna gotersek, onda oruntutma 6-1-5-nji, b çyzgyda görnüşdäki ýaly bolar.

Aýdalyň, a nokadyň potensialy belli we $U_a = U_{nom}$. Ideal transformatorlaryň oruntutma sudurlarynda ne garşylyk ne-de geçirijilik bar, onda a_1 nokadyň potensialy transformatorlaryň transformasiýa koeffisiýentleri bilen kesgitlener :

$$U_{a1} = U_a \frac{K_{T2}}{K_{T1}}$$



Transformasiýa koeffisiýentleri deň bolanda ($K_{T1} = K_{T2}$) $U_{a1} = U_a$, onda a_1 nokat bilen a nokady birleşdirip ideal transformatorlary sudurdan aýraýmaly bolýar. Eger, $K_{T1} \neq K_{T2}$ bolanda $\underline{U}_a = \Delta \underline{E} = \underline{U}_{a1}$, bu ýerden

$$\Delta \underline{E} = \underline{U}_a \left(\frac{K_{T2}}{K_{T1}} - 1 \right)$$

Hasap suduryny 6-1-6-njy çyzgydaky ýaly edip görkezmek bolar.

§6-2 Elektrik setiniň iş durkunyň sazlygy

Elektrik setiniň we ulgamynyň işleýşi barada umumy düşünje

Mälim bolşy ýaly, elektrik energiýasy elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen amala aşyrylýar. Elektromagnit tolkunlarynyň tizligi ýagtylyk tizligine barabardyr. Şeýle bolansoň energiýa öndürilişi bilen onuň sarp edilişi bir wagtda bolup geçýän. Köp mukdarda toplan saklamak mümkinçiliginiň bolmanlygy sebäpli, öndürilişi bilen sarp edilişiniň her bir pursatda özara deň bolmalydyr.

Ýurdyň dürli ýerlerinde gurlan elektrostansiýalaryň özara elektrik setleri bilen birleşmegi köp derejede maksada laýyk ýagdaý döredýär :

- 1) generatorlaryň max ýüki peselýär ;
- 2) ätiýaçlyk kuwwatlyklar azalýar ;
- 3) ulgamba bejeriş-düzediş işleri ýenilleşýär ;
- 4) elektrik stansiýalaryň ýükiniň sazlygy ;
- 5) parallel işleýän generatorlaryň iş durnuklylygy we başga-da birnäçe oňalyklar.

Elektrik birleşmelerinden emele gelen ulgamlaryň iş durkynyň käbir meselelerine garalyň.

Elektrik energiýasynyň hil tarapyna göz aýlalyň, mysal edip energiýanyň ýygylgyny alalyň. Ýygylk ($f=50\text{ Gs}$) bolmalysyndan üýtgeşe, onda ol birnäçe çylşyrymly iş prosesini ýerine ýetiriji maşynlaryň (kagyz çykaryjy, tekstil we başgalar) işiniň hiline ýaramaz täsirini ýetirýär. Elektrik energiýasynyň ýygylgynyň peselmegi bilen iş maşynynyň öndürijiligi peselýär, käbir mehanizmler üçin öndürijilik peselmesi ýygylgyň birinji derejesine bagly bolsa (metal işläp bejerýän stanoklar, degirmenler), başgalarynda ýygylgyň üçünji we ondan hem ýokary derejelerine bagly bolup durýarlar (howa sorujylar, nasoslar we başgalar). Ýygylgyň has aşak gaçmagy stansiýanyň öz içindäki işleýän möhüm iş enjamlarynyň öndürijiligine-de täsir edýär (suw ýada başga bir suwuklygy aýlaýjy nasoslar, gazanlara suw beriji nasoslar, üfleýji ýa-da sorujy enjamlar), ahyrynda bütin elektrostansiýanyň iş durkuny pese gaçyrmagy ähtimal bolýar.

Ýygylgyň peselmegi generatoryň öndürüp bilýän aktiw energiýasy sarp edijileriň talap edýän aktiw energiýasyndan az bolan halatda ýüze çykýar.

Ýygylgyň peselmegi sarp edijileriň reaktiw energiýasynyň artmagyna getirýär. Sebäbi, asinhron maşynlaryň hem-de transformatorlaryň magnitlandyryş togy artýar, bu ýagdaý bolsa umumy potensial peselmesine getirýär.

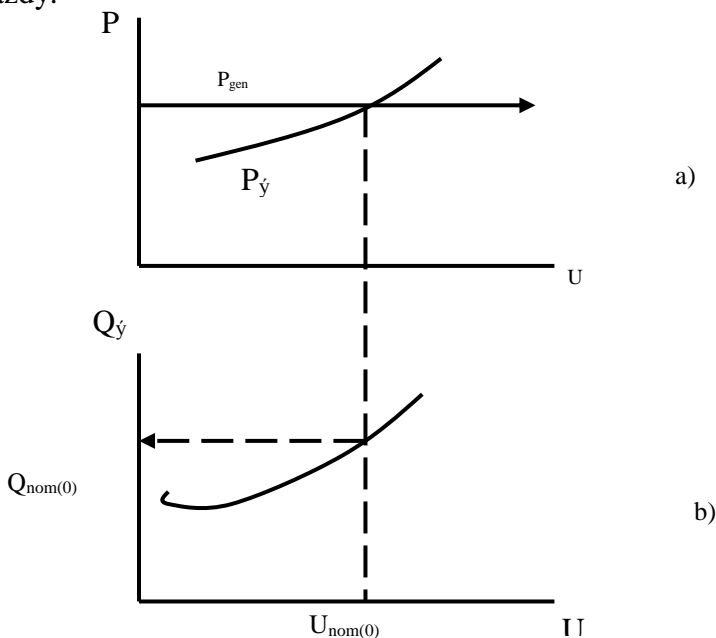
Elektrik ulgamynda kadaly ýygylgy $50 \pm 0,1\text{Gs}$ saklamak üçin genera-torlaryň aktiw kuwwatyny awtomatiki usul bilen sazlaýarlar.

Elektrostansiýalaryň aktiw kuwwat paýlaşygy umuman elektrostansiýalaryň tygşytly iş durkuna gabatlaşdyrýarlar, sebäbi, ön saz işläp duran özara bagly ulgamdaky arabaglylykdaky setlerde aktiw kuwwat ýitgisi onçakly uly bolmaýar.

Reaktiw kuwwatyň paýlaşygy bolsa elektrik setiniň aýry böleklerinde hem-de düwünlerinde ön göz önünde tutulan

potensial ölçegini üpjün etmek nukdaý nazarynda gelip çykýar.

Setiň iş durkyna seljerme berlende aktiw kuwwat deňagramlylygy üpjün edilen diýip hasap edilýär we setiň tok ýygylgy doly berjaý hökmünde garalýar ($f=50\text{Gs}$). Şeýle ýönekeýleşdirmede ýükiň hem-de çeşmäniň durnukly (statiki) häsiýetlendirijisiniň potensiala bagly üýtgewini göz önünde tutaýmaly bolýar, ýagny $P_y=f(U)$ we $Q_y=f(U)$. Bu ýerde $P_{gen} = const$ diýip kabul edilýär (6-2-1-nji , a çyzgy). Eger ýükiň aktiw kuwwatynyň potensiala baglylyk häsiýetini ($P_y=f(U)$) generatoryň (çeşmäniň) aktiw üýtgewsiz gönisi bilen bir çyzgyda ýerleşdirsek, onda biz setiň potensial ululygyny anyklap bileris. Bu ýagdaý belli bir şertde amal edilýär, garalýan düwüninde $Q_{nom(0)}$ reaktiw kuwwaty berip bilýän çeşme bolan ýagdaýynda (6-2-1-nji, a we b çyzgyda). Eger şeýle çeşme bolmadyk ýagdaýynda islenilýän iş durky üpjün bolmazdy.



6-2-1-nji çyzgy.

- a) $P = f(U)$
- b) $Q = f(U)$

§ 6-3 Reaktiw kuwwatyň deňagramlylygy (balansy)

Reaktiw kuwwatyň deňagramlylygyny (balansyny) kesgitlesek, onda çeşmäniň setiň ýükiniň dürli üýtgewli iş durkyna hötde gelip biljegini anyklap bileris. Deňlige gatnaşyjylary setiň hasaby netijesinde kesgitleäris. Şeýle hasaplamalaryň diňe bir deňligi kesgitleämek üçin däl-de, eýsem taslamalar ýerine ýetirilende artykmaç talap edilýän reaktiw çeşmeleriň kuwwatyny kesgitlemäge-de ýardam edýär. Reaktiw kuwwaty esasy sarp edijiler bolup asinhron maşynlar hem-de transformatorlardyr. Asinhron maşynlaryň gysgyçlarynda nominal potensial üpjün edilende olaryň magnitlenmegi üçin sarp edilýän reaktiw kuwwat ululygy takmynan ulgamdaky bar reaktiw kuwwatyň üçden bir bölegine çenli baryp ýetýär;

ulgamdaky galan reaktiw kuwwatlyklar bolsa setiň reaktiw garşylyklarynda, transformatorlarda we beýleki sarp edijilerde harçlanylýar. Elektrik setlerinden sarp edilýän reaktiw kuwwat ululygy potensial ululygyna bagly bolýar. Haýsam bolsa setiň bir böleginde potensialyň peselmegi bilen reaktiw kuwwatyň sarp edilşi pese gaçýar, sebäbi asinhron maşynlaryň magnitlenişi üçin sarp edilýän reaktiw kuwwat azalýar ($\Phi \equiv U$), şeýle hem transformatorlarda azalýar. Ýöne, potensial has aşaklaverse (20% we ondan hem artyk) asinhron maşynlaryň hem-de transformatorlaryň sargylaryndaky reaktiw kuwwat ýitgisi artýar, şonuň ýaly-da setiň reaktiw garşylygynda reaktiw kuwwat ýitgisi artýar. Onuň üstesine-de setiň öndürýän reaktiw kuwwaty azalýar ($Q_C = U^2 B$). Bu ýagdaýlar, hemmesiniň jemliginde setiň potensialynyň ýitgisini artdyrýarlar, netijede elektrik hereketlendirijileriniň (elektrodwigatelleriň) togtamagyna getirýär. Şeýle hadysa potensial çökmesi diýip atlandyrylar. Elbetde, häzirki zaman ulgamlarynda beýle hadysanyň ýüze çykmagyna ýol

berilmeyär. Awtomatlaşdyrylan potensial sazlaýjylar, oýandyryjy sargynyň oýandyryş ukybynyň çaltlaşdyrylmagy ýokarda agzalan hadysany ýoga çykarýar.

Ýokarda agzalan ýogdaýlary göz önünde tutsak, onda reaktiw kuwwat yetmezçiligini düýbünden mümkin bolmaz ýaly ýagdaý ugrunda göreşmeli.

Generatorlaryň aktiw hem-de reaktiw kuwwat öndüriligi onuň sarp edilşinden epesli artyk bolmalydyr, ýagny ätiýaçlyk kuwwaty bolmalydyr.

Setde reaktiw kuwwat çeşmesi bolup sinhron maşynlary ulanylyp biliner. Generatorlaryň reaktiw kuwwaty nominal kuwwat koeffisiýenti arkaly tapylýar :

$$Q_{gen} = P_{gen} \cdot tg \varphi_{gen} \quad (6.3.1.)$$

Sinhron kompensatoryň sete berip biljek iň uly kuwwaty onuň nominal kuwwatyna $Q_{s.k(nom)}$ deňdir. Reaktiw kuwwat çeşmesi bolup kondensator batareýalary hem hyzmat edýär ($Q_{k(nom)}$). Elektrik setiň özi hem reaktiw kuwwat çeşmesi bolup durýar ($Q_s = U^2 \cdot b_0 \cdot l = U^2 \cdot B$).

Görşümüz ýaly, kondensatorlaryň hem-de set ulgamlarynyň öndürýän reaktiw kuwwatlyklary setiň potensialyna bagly bolup durýarlar.

Öndürilýän reaktiw kuwwat jemi :

$$Q_{\Sigma} = P_{gen} \cdot tg \varphi_{gen} + Q_{s.k(nom)} + Q_{kon(nom)} + Q_s \quad (6.3.2.)$$

Setde sarp edilýän reaktiw kuwwat elektrik ýükleriniň, setdäki ýitginiň, ýagny setiň özündäki ýitginiň, transformatorlardaky we awtotransformatorlardaky ýitgileriň jeminden durýar :

$$Q_{sarp\Sigma} = P_{\dot{y}} \cdot tg \varphi_{\dot{y}} + \Delta Q_s + \Delta Q_T + \Delta Q_{a.t.} \quad (6.3.3.)$$

Potensialy 110 kW set üçin $\Delta Q_s \approx Q_s$, şonuň üçin kuwwat sazlaşygynda olary hasaba almasaňda

bolýar. Ikisargyly transformatorlardaky reaktiw ýitgi podstansiýasy üçin aşakdaky ýaly aňlatmada kesgitlemeli

$$\Delta Q_T = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_K \%}{100} \cdot \frac{S_2^2}{S_{nom}} + n \frac{I_0 \%}{100} \cdot S_{nom} \quad (6.3.4.)$$

Eger, garalýan kiçi beketde ýük kuwwaty transformatorlaryň jemi kuwwatyna deň bolsa, ýagny ($S_y = S_2 = nS_{nom}$), onda (6.3.4.) aňlatmany özgerdip :

$$\Delta Q_T = nS_{nom} \frac{u_K \% + I_0 \%}{100} ,$$

ýa — da

$$\Delta Q_T \approx 0,1nS_{nom} = 0,1S_y$$

n — transformatorlaryň sany.

Köplenç setde potensial birnäçe gezek (m -gezek) özgerdilýär, bu halda

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot m \cdot S_y \quad (6.3.5.)$$

Üç sargyly transformatorlardaky we awtotransformatorlardaky ýitgiler, eger üç sargynyň hem üstünden tok akýan bolsa, olaryň üç şöhleli oruntutma sudurlaryna salgylanyp ýitgi hasabyny geçirmeli. Şeýle hasaplar maglumaty önde garalypdy.

§6-4 Elektrik setlerinde reaktiw kuwwat çeşmeleri

Elektrik ýükleriniň talap edýär aktiw kuwwatlyklaryny stansiýalarda oturdyran sinhron generatorlaryň kömegi bilen alyp bolýar, emma welin, reaktiw kuwwatlyklary diňe bir sinhron generatorlaryndan däl-de başgaky enjamlar kömegi

bilen hem alyp bolýar. Şeýle enjamlar stansiýalarda postansiýalarda ýa-da bolmasa energiýa sarp edijileriň ýanynda oturdylýarlar.

Reaktiw kuwwat çeşmeleri bolup kondensator batareýalary (KB), sinhron maşynlary, ýarymgeçirijili reaktiw kuwwaty çeşmeleri (ИРМ - источники реактивной мощности), ýörite ýasalan sinhron sazlaýjylary (kompensatorlar) we başgalar hyzmat edýärler.

Sinhron sazlaýjylary (kompensatorlary) sinhron hereketlendirijilerden ýa-da sinhron generatorlardan ýenilleşdirilen gurnawlylygy bilen tapawutlanyp, onuň (walyna) okuna ýük dakylmaýar, ýagny boş aýlaw hereketindedir.

Sinhron sazlaýjynyň (kompensatoryň) oruntutma sudury 6-4-1-nji çyzgynyň

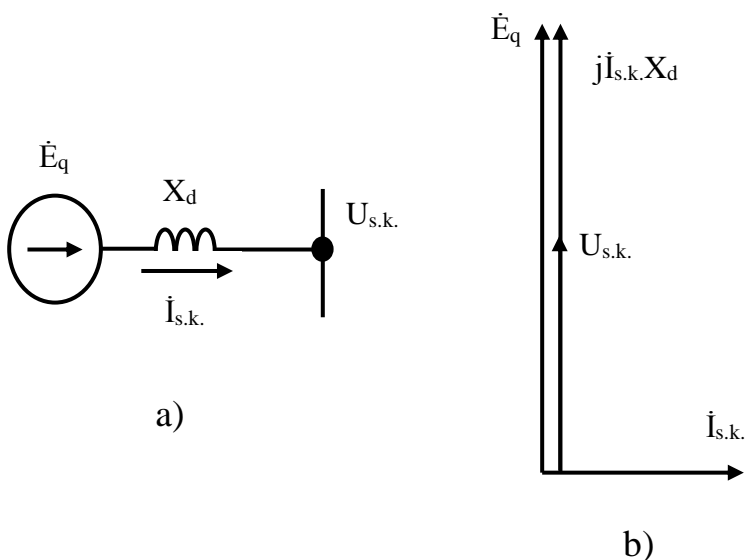
a) bölümünde görkezilendir, sudur ýönekeýleşdirme maksady bilen hem-de aktiw garşylygynyň azlygy zerarly maşynyň magnit polýusynyň ugurdaş reaktiw garşylygy bilen alynandyr.

Eger, ýönekeýleşdirip $X_q = X_d$ diýip alsak, onda

$$I_{s.k.} = \frac{E_q - U_{s.k.}}{\sqrt{3}X_d}$$

bolar, şeýlelikde maşynyň gysgyçlaryndaky kuwwat.

$$S_{s.k.} = Q_{s.k.} = \sqrt{3}U_{s.k.} I_{s.k.} = \frac{E_q - U_{s.k.}}{X_d} U_{s.k.} \quad (6.4.1.)$$



6-4-1-nji çyzgy.

(a) – sinhron sazlaýjynyň oruntutma sudury;

(b) wektor ululukly iş durky

(6.4.1.) aňlatyma laýyklykda, sazlaýjy maşynyň kuwwat ululygy hem-de onuň alamaty (ugry) sazlaýjynyň e.h.g. bilen sete dakylan nokatdaky potensial gatnaşyklaryna bagly bolup durýar. E.h.g. maşynyň oýandyryjy toguna bagly, onuň ulalmagy bilen ol artýar.

Eger oýandyryjy toguň belli bir bahasynda $E_q = U_{s.k.}$ diýip alsak, onda sazlaýjy maşynyň öndürýän reaktiw kuwwaty $Q_{s.k.} = 0$ bolar. Şu ýagdaýdan ötri oýandyryjy togy (i_0) artdysak, maşynyň berýän kuwwaty $Q_{s.k.} > 0$ bolar, şu hili iş durkyna artyk oýandyryşly diýilip aýdylýar. Eger oýandyryjy togy azaltsak

$E_q < U_{s.k.}$ ýagdaýy alsak, onda $Q_{s.k.} < 0$ bu iş durkyna kem oýandyryşly diýip aýdylýar. Görşümüz ýaly, sinhron sazlaýjynyň iş durkyny oýandyryjy togyň üsti bilen endigan ýagdaýda üýtgedip bolýan eken, onda bu ýagdaýy el bilen ýa-

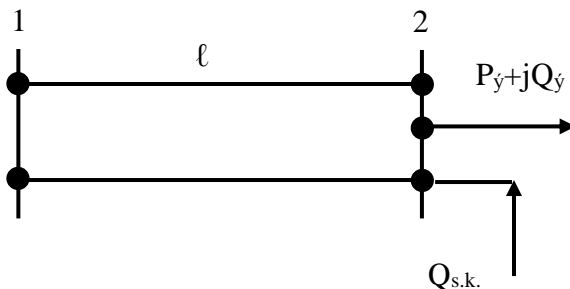
da awtomatiki usulda aňsat amal edip bolmagy şeýle reaktiw kuwwat çeşmesiniň oňaly taraplarynyň biridir.

Sinhron sazlaýjylaryň (kompensatorlaryň) nominal kuwwaty aşa oýandyryşly tokda görkezilýär. Eger oýandyryjy tok kemterlik etse, onda reaktiw kuwwaty sete berip bilmeyär, gaýta setden reaktiw kuwwaty alyp başlaýar.

$$Q_{s.k.(kemt) \max} = -\frac{U_{s.k.}^2}{X_d} \quad (6.4.2.)$$

Sinhron sazlaýjy (6.4.1.) aňlatmadan görnüşi ýaly setiň potensialy peselen ýagdaýynda aşa oýandyryşly tokda sete artdyrylan reaktiw kuwwat bermeklige ukyply. Şeýle ýagdaý, elbetde, sazlaýjynyň oýandyryş togyny awtomatik usulda dolandyrylan halatda amal edip bolar. Sinhron sazlaýjynyň şu aýratynlygy, kä halatlarda oňuna (položitel) sazlaýyş effekti adyny alan aýratynlygy, olary ulanylanda setiň hem-de ulgamyň iş durkyny düýpgöter oňatlaşdyrmaga mümkinçilikler döredýär. Sebäbi, reaktiw kuwwat berilmesi artdyrylanda awaryýa ýa-da awaryýadan soňky iş durkunda potensial derejesini saklamaga hemaýat edýär.

Sözümizi tassyklamak üçin 6-4-2-nji çyzga ýüzleneliň. Iki gatly setde potensial ýitgi



6-4-2-nji çyzgy. Iki gatly set sudury.

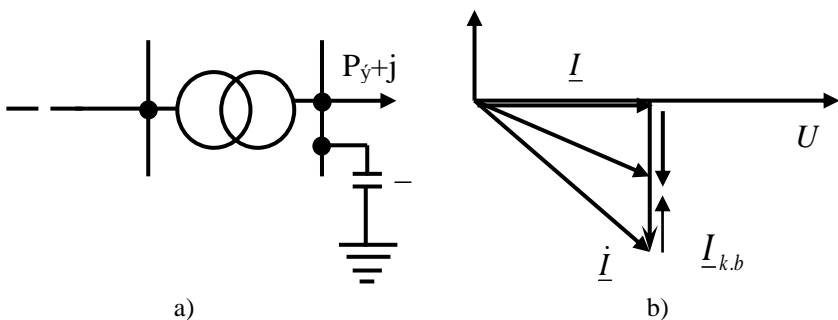
$$\Delta U \approx \frac{P_{\dot{y}} \cdot r_1 = (Q_{\dot{y}} - Q_{s.k.})x_1}{U_{nom}} \quad (6.4.3.)$$

Haýsam bolsa bir sebäbe görä setiň biri sandan çyksa, onda potensial ýitgisi.

$$\Delta U' \approx \frac{2[P_{\dot{y}} \cdot r_1 + (Q_{\dot{y}} - Q'_{s.k.})x_1]}{U_{nom}} \quad (6.4.4.)$$

Eger-de $Q'_{s.k.} = Q_{s.k.}$ diýip hasap etsek, onda $\Delta U' = 2\Delta U$ we, şu sebäbe görä awariýa ýagdaýdan soňra sarp edijileriň gysgyçlarynda potensial peselmesi has artar. Eger-de agzalyp geçilen ýagdaýda sinhron sazlaýjynyň kuwwaty artdyrylan bolsa ($Q'_{s.k.} > Q_{s.k.}$), onda potensial peselmesi sete berilýän reaktiw kuwwata baglylykda belli bir derejede azalardy. Sinhron sazlaýjylary (kompensatorlary) 5000kW·Ar we ondan ýokary kuwwatlylykda goýberilýär, şonuň üçin olar senagat kärhanalarynda kän ulanmaýarlar köplenç uly kuwwatly elektrik setleriniň kabul ediji kiçi beketlerinde ornaşdyrýarlar. Potensialy 220, 330 we 500 kW bolan elektrik geçiriji setleriň ahyrky ýa-da aralykda ýerleşen kiçi beketler sinhron sazlaýjylar üçin ornaşdyrmaly nokatlar bolyp durýarlar.

Kondensator batareýalarynyň kuwwaty uly bolmaýar, şonuň üçin olary elektrik energiýasyny sarp edijileriň kiçi beketlerinde ýa-da sarp edijileriň ýanynda sete dakýarlar. Şeýle ýagdaýa gabatlaşýan kondensator birleşmesi 6-4-3-nji çyzgyda görkezilendir.



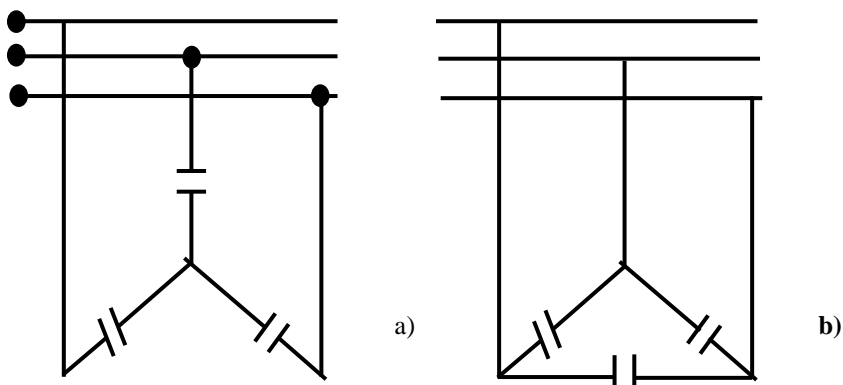
6-4-3-nji çyzgy. Kiçi beketde oturdylan kondensator batareýasy

Kiçi peseldiji beketiň çykyş şinasyna kondensator birikdirilen. Batareýanyň berip biljek reaktiw kuwwaty (6-4-3-nji, a çyzgy).

$$Q_k = \frac{U_{nom}^2}{X_k} \quad (6.4.5.)$$

Kondensator batareýasynyň täsiri astynda 6-4-3-nji, b çyzgynyň bölüminden görnüşi ýaly setden akyp geçýän umumy (doly) tok azalýar, şoňa laýyklykda kuwwat ululygy azalýar, emma ýük üýtgeşsiz galýar (const). Diýmek kondensator batareýasy reaktiw kuwwat çeşmesi bolup durýan ekeni. Kondensator batareýasy hereketsiz enjamdyr, bu onuň oňat tarapydyr. Onuň ýetmezçilik tarapyna onuň kuwwatynyň potensialyň kwadrat derejesine baglylygydyr, onuň üçin kondensator batareýasynyň oňaysyz (otrisatel) sazlaýyş effektiniň barlygy bilen häsiýetlendirýärler. Bu ýetmezçiligini reaktiw X_k garşylygyny azaltmak bilen ýok etmek bolar, onuň üçin bolsa täzeden artykmaç kondensator batareýalaryny çatmaly bolýar. Çatylan batareýalaryň kuwwatyny birden ýokarlandyrmak üçin olaryň çatylyş usulyny üýtgetmek ýeterlikdir. Mysal üçin başda batareýalar ýyldyz görnüşde çatylan bolsa, potensial peselende üçburçlyk görnüşde çatyp,

olara berlen potensial ululygyny her bir fazada $\sqrt{3}$ esse ulaldyp bolar (6-4-4-nji çyzgy).



6-4-4-nji çyzgy. Batareýa çatylyşlary.

a) - ýyldyz görnüşde ;

b) - üçburçlyk görnüşde.

Kondensator batareýalarynyň berýän kuwwat ululygyny häzirki wagtda kadaly ulanylyşda olaryň sanyny azaltmak ýa-da artdyrmak bilen sazlaýarlar. Şeýle usula basgançakly sazlaýyş diýip at berýärler.

Iki görnüşdäki reaktiw kuwwat çeşmesi deňeşdirilende kondensator batareýalary arzandyr, sebäbi olardaky aktiw kuwwat ýitgi azdyr, galyberse-de, olar hereketsiz enjamlardyr, şonuň üçin olary ulanmak aňsatdyr. Aktiw kuwwat ýitgisi takmynan 0,5% töweregindedir. Sinhron reaktiw kuwwat çeşmesiniňki welin, onuň nominal kuwwatynda 1,5-2,5%, eger nominal kuwwatdan pes ýagdaýda işläninde kuwwat ýitgisi 6-8% çenli ýetip biler. Bu agzalanlardan başga-da aýlawly maşynlary ulanmak, hyzmat etmek işleri çylşyrymly, bilimi, hünäri ýokary derejede bolan gözegçini talap edýär. Kondensator batareýalary ulanylanda ýangyn howpyndan ägä bolmaly.

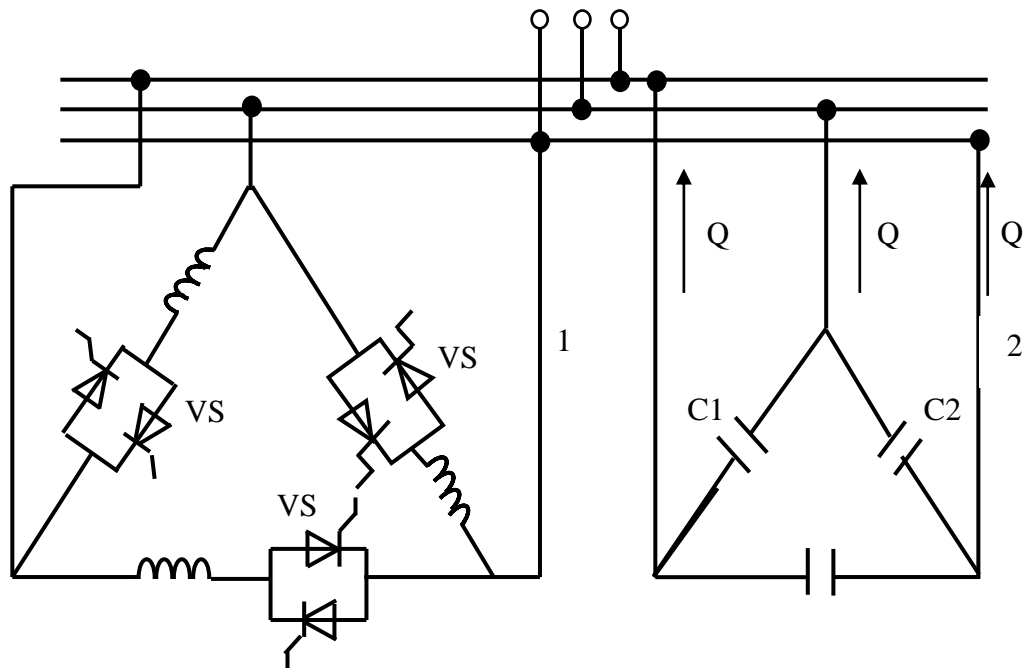
Reaktiw kuwwat çeşmesi hökmünde sinhron hereketlendirijiler (dwigateller) hem ulanylyp biliner. Haçanda onuň oýandyryş toguny nominal bahasyndan artdysak, ol reaktiw kuwwaty sete berýär, setiň üstünden akyp gelýän reaktiw kuwwat azalýar, netijede potensial peselmesi azalýar, potensial hili ýokarlanýar.

Senagatda goýberilýän sinhron hereketlendirijiler, nominal aktiw kuwwatynda hem-de nominal potensialda kuwwat koeffisiýentiniň $\cos\varphi = 0,9$ öňürdiji bahasyna hasaplanandyr (ýagny tok potensialdan öňürdýän ýagdaýynda hasaplanýar); ine şu ýagdaýda sinhron hereketlendiriji $Q_{nom} \approx 0,5 P_{nom}$ reaktiw kuwwat öndürmäge ukyplydyr

Eger set çalt üýtgewli urguly ýükleri 6-10 kW potenciallarda iýmitlendirýän bolsa (elektrik ýalynly peçler, polat sözyjy stanlar we başgalar), onda olaryň ýanynda tiz işe girýän (duýgur) reaktiw kuwwat çeşmesi (RKÇ) bolan ýöriteleşdirilen enjamlar oturtmaklyk maksada has laýyk bolýar.

Şeýle enjamyň (RKÇ) sudury 6-4-5-nji çyzgyda getirilendir. Bu ýerde induktiwligini sazlap bolýan LR induktiw we sygymly sazlanmaýan $C1 - C3$ kondensator serişdeleri ulanylandyr.

Induktiv üýtgewini tiristorlaryň kömegi bilen amala aşyrylýar olaryň dolandyryjy elektrodlary dolandyryş sudura birleşdirilendir. Bu RKÇ oňaly taraplary bolup, olaryň aýlaw hereketli bölegi ýok, reaktiw kuwwaty endigan sazlap sete berýär, reaktiw kuwwat ýükini üç-dört esse artdyrmaklyga ukyply hem çydamly. Reaktiw kuwwat sazlanşygyny has ýokary derejä ýetirilse ýokary garmonikalaryň ýüze çykmagy onuň kemçiligidir.

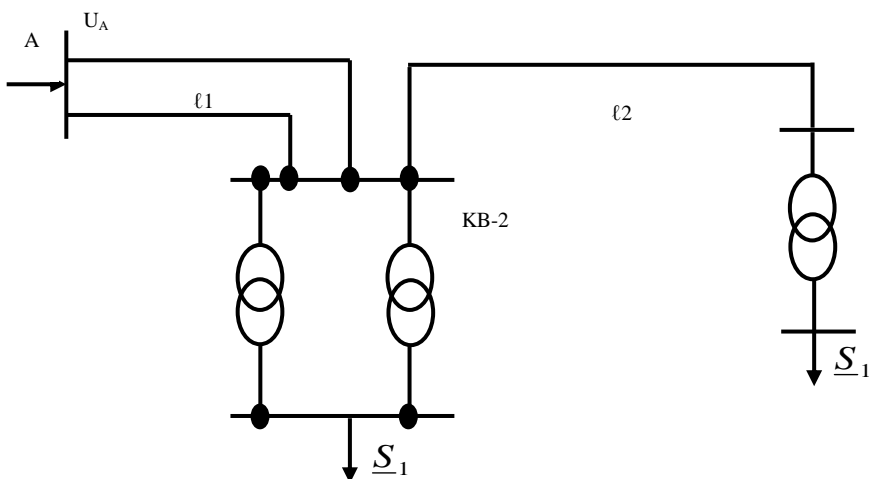


6-4-5-nji yzgy. RK iřleyiř prinsipiniň sudury.

LR - tiristor açaryň kömegi bilen (VS) potensial üýtgewini endigan sazlamak üçin serişde ;
 1 - 5,7,9 we ondan ýokary garmonikalary süzüji
 2 - $C1 - C3$ kondensatorlar batareýasy (reaktiw kuwwatyň sazlanmaýan bölegi) .

§ 6-5 Elektrik setiniň iş durkynyň sazlygy

Birnäçe bentlerdäki sarp edijilere elektrik energiýasyny birtaraplaýyn berlendäki setiň iş durky bilen tanyşalyň (6-5-1-nji çyzgy).



6-5-1-nji çyzgy . Birtaraplaýyn iýmitlendiriş.

Setiň başlangyjyndaky aktiw kuwwat akymy sarp edijileriň aktiw kuwwat möçberi hem-de setde ýitýän aktiw kuwwat jemi bilen kesgitlenilýär. Onda setden sarp edijilere ýetirilýän kuwwat möçberini örän az mukdarda, ýagny setdäki ýitginiň hasabyna üýtgedip boljak ekeni. Ol ýitgi üýtgewini bolsa diňe setiň başlangyjyndaky potensial ululygy bilen

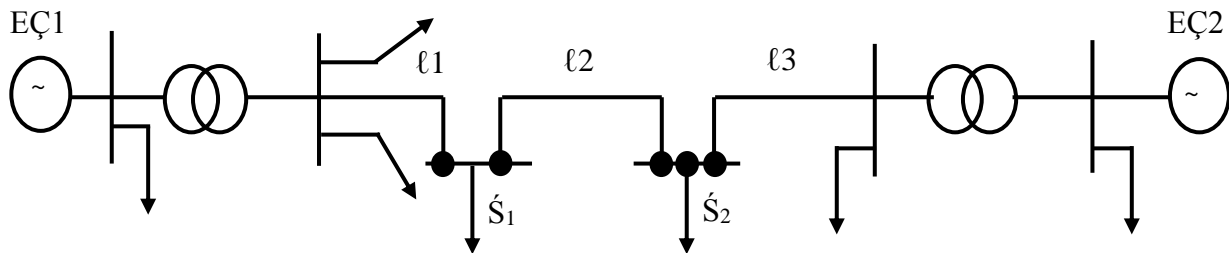
sazlap bolar. Setiň üstünden akyp geçýän reaktiw kuwwat möçberini bolsa, podstansiýalarda oturdylan reaktiw kuwwat çeşmeleriniň kömegi bilen sazlamak bolar. Şeýlelikde, artykmaç oturdylan reaktiw kuwwat çeşmeleriniň kömegi bilen podstansiýalary ulgama dakylan şinasynyň potensialyny sazlap bolar.

Eger köp sanly sarp edijiler elektrik energiýasyny özbaşdak çeşmelerden ikitaraplaýyn alýan bolsalar (6-5-2-nji çyzgy), onda kuwwat akymy diňe bir sarp edijileriň kuwwatyna bagly bolman, elektrik ulgamynyň işine gözegçilik edýän hünärmeniň islegine görä hem üýtgedilip biliner, ýagny elektrik çeşmelerinden gelýän kuwwat akymy maksada laýyklykda sazlanyp biliner.

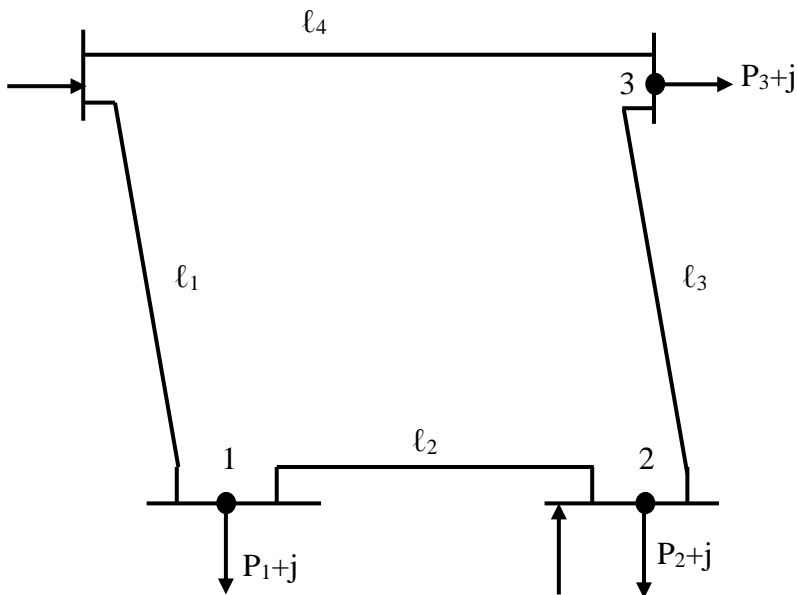
Ýokarda getirilen iýmitlendiriliş usulynda aralykdaky elektrik energiýasyny kabul ediji beketleriň doly kuwwatlyklaryny dürli kuwwat akymlary bilen kanagatlandyryp bolar, ýagny *EÇ1* we *EÇ2* beketlerdäki gözegçilik ediji hünärmenleriň özara ylalaşygyna doly bagly bolup durýar, käbir ýagdaýlarda kiçi beketleriň kuwwat talaplaryny bir elektrik çeşmesinden (elektrik beketden), başga bir ýagdaýlarda bolsa ol kuwwatlyklary beketler arasynda belli bir gatnaşykda paýlaşdyrmak maksada laýyk bolýar.

Ikitaraplaýyn iýmitlendirilende çeşmelerden gelýän her bir kuwwat ýaýrawa belli potensial gatnaşyklar degişlidir. Haýsy çeşmäniň potensialy beýlekä garanynda ýokary bolsa, ondan gelýän kuwwat akymy artyk bolýar.

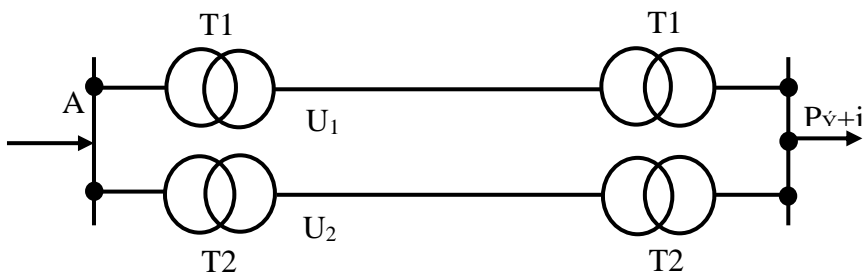
Eger set halka görnüşde düzülen bolsa (6-5-3-nji çyzgy), onda kuwwat ýaýrawy ýüklere hem-de liniýa aralyklarynyň garşylygyna bagly bolýar, set işine gözegçilik ýa-da gullyk edýän hünärmeniň islegine bagly bolmaýar. Edil şonuň ýaly-da iki parallel dürli potensially liniýalar bir nokady iýmitlendirýän bolsalar, onda olardan akýan kuwwatlyklar gözegçi hünärmeniň islegine bagly bolup durmaýar (6-5-4-nji çyzgy).



6-5-2-nji çyzgy . Ikitaraplaýyn iýmitlendiriliş.



6-5-3-nji çyzgy. Halka görnüşli set.



6-5-4-nji çyzgy . Dürli potensially parallel
iýmitlendiriş.

Doly kuwwat akymy şeýle parallel liniýalarda potensialyň ululygyny hem-de faza ululygyny üýtgetmek bilen sazlanyp biliner. Emma, parallel liniýalardaky kuwwat ýaýrawy liniýalaryň garşylyklaryna bagly bolup durýar, gözegçi hünärmeniň islegine bagly bolmaýar.

Halka setlerde, umuman ýapyk setlerde kuwwat ýaýrawynyň sazlygy reaktiw kuwwat çeşmesini ulanmak arkaly amal edilýär (kondensator batareýalary, sinhron maşynlary we başgalar).

Reaktiw kuwwat çeşmesi dakylanda ýapyk setiň aralyklarynda potensial ýitgisi üýtgeýär (azalýar), şoňa baglylykda bolsa kuwwat paýlanşygy bolup geçýär. Eger halka setiň (6-5-3-nji çyzgy) 2-nji düwüninde reaktiw kuwwatyny sazlap bolýan çeşme dakylan diýip hasap etsek, onda seti iki bölege bolup hasaplama usulyňy ulansak, setiň başyndaky reaktiw kuwwat ýaýrawynyň hasaby birinji ýakynlaşma bilen aşakdaky ýaly aňlatmada tapylýar.

$$Q_{\ell 1} = \frac{Q_1(r_2 + r_3 + r_4) + (Q_2 - Q_\varphi)(r_2 + r_4) + Q_3 r_4}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4} ;$$

$$Q_{\ell 4} = \frac{Q_1 r_1 + (Q_2 - Q_\varphi)(r_1 + r_2) + Q_3(r_1 + r_2 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}$$

Aňlatmalardan görnüşi ýaly, reaktiw kuwwat çeşmesiniň täsiri astynda setiň başyndaky kuwwat akymy üýtgeýär, ýagny ýapyk setde reaktiw kuwwat paýlanşygy bolup geçýär. Bellemeli zadyň biri hem ol paýlanşyk setiň aktiw garşylygyna bagly bolup durýar.

Set bölünşik tilsimine baglylykda aktiw kuwwat paýlanşygy aktiw ýüke hem-de reaktiw garşylyga bagly, şonuň üçin reaktiw kuwwat sazlygy aktiw kuwwat ýaýrawyna (paýlanşygyna) belli bir täsirini ýetirip hem durmaýar.

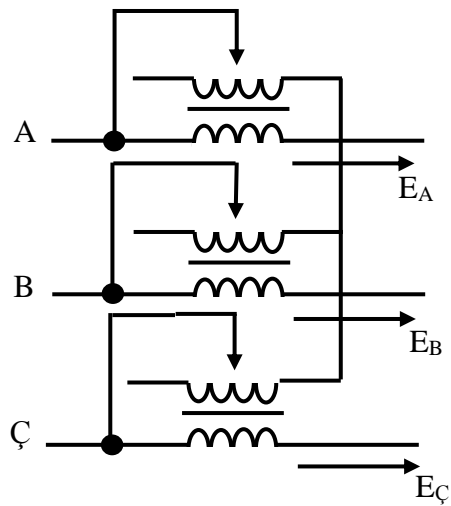
Halka setde ýa-da ýapyk setiň konturynda kuwwat sazlaşygyny amala aşyrmak üçin potensial ululygyny hem-de

faza ululygyny üýtgetmek ýolyny ulanýarlar, munuň üçin bolsa, woltsazlaýjy diýilýän transformatorlary peýdalanýarlar.

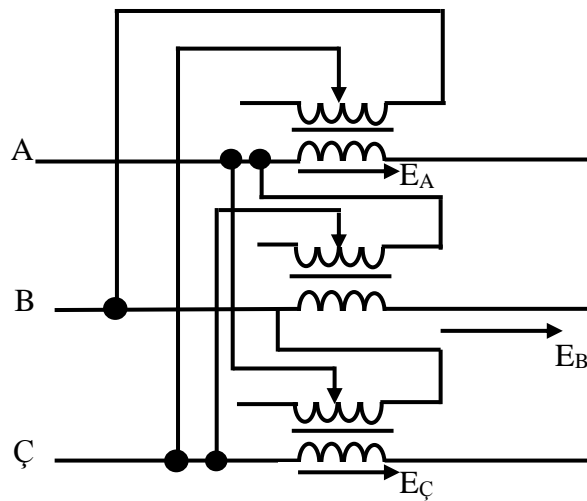
Kä halatlarda, reaktiw çeşmesi bilen bilelikde ýük astynda potensialy sazlanýan (ППН) transformatorlary peýdalanmak maksada has laýyk gelýär.

Çylşyrymly ýapyk setlerde köplenç sim ýogynlyklary deň bolmany üçin olaryň induktiw garşylygynyň aktiw garşylygyna bolan gatnaşyklary deň bolmaýarlar ($X/R \neq const$), şonuň üçin konturda sazlaýjy tok ýüze çykýar hem-de artykmaç kuwwat ýitgisini ýüze çykarýar. Şeýle halatlarda sazlaýjy transformatorlary (РТ-регулирующие трансформаторы) peýdalanýarlar, olaryň garşy-e.h.g. konturyň sazlaýjy togunyň garşysyna tok döredip sazlaýjy togyň täsirini ýok edýär. Şeýle transformatorlaryň ikinji sargysyny esasy ýük transformatorynyň sargysy bilen yzygider birleşdirýärler ýa-da sete bileşdirýärler. Eger sete birleşen bolsalar, onda olar ýaly transformatorlara liniýa sazlaýjylary (ЛР - линейные регуляторы) diýip atlandyryýarlar.

Sazlaýjy transformatorlaryň birinji sargysyny esasy ýük transformatorynyň haýsam bolsa bir sargysyna (köplenç ýagdaýda kiçi potensially sarga) birleşdirýärler ýa-da sete. Sazlaýjy transformatoryň potensial ululygyny üýtgedýän hem-de faza ululygyny üýtgedýän tilsimleri 6-5-5-nji, a we b çyzgynyň bölümlerinde getirilendir.



a)



b)

6-5-5-nji çyzgy . Potensial sazlaýjy transformatoryň tilsim sudury.

§ 6-6 Elektrik setiň we ulgamynyň iş durkunyň optimallaşdyrma meseleleri

Elektrik öndürilişinde hem-de ony ýaýradylýşynda hemişe halk-hojalygy üçin peýdaly usullary ulanylmalydyr. Şeýle talap sarp ediljilere gerek mukdardaky elektrik energiýasyny öndürmek üçin edilýän çykdajyynyň bir ýyla düşýän möçberiniň azlygy bilen kanagatlandyrylyp biliner. Bir ýylky çykdajyda ýangyç öndürlüşi, ony elektrostanasialara daşama, elektrik energiýany elektrik set bilen sarp ediljilere ýetirmäni, setde energiýa ýitgisi we başgalar üçin çykdajylar göz önünde tutulýar. Az çykdajyly elektrik üpjünçiligine elektrik ulgamynyň oňaly (optimal) iş durky diýilýar.

Ulgamyň iş durkunyň tygşylylygy ilki bilen stansiýada elektrik öndürýän enjamlaryň tehniki-ykdysady görkeziji häsiýetnamasyna bagly bolýar. Şonuň üçin ulgamyň optimal iş durky stansiýalar arasynda aktiw kuwwat berlişiniň sazlaşykly ýagdaýyny üpjün etmekden ybaratdyr. Stansiýalaryň optimal iş ýagdaýynda berýän kuwwat möçberine diň bir stansiýalaryň häsiýetnamalary täsir etmän, eýsem setden akyp geçýän reaktiw kuwwat hem täsir edýärler.

Bu ýagdaý setden elektroenergiýa berilende aktiw kuwwat ýitgisiniň ýüze çykmagy bilen düşündirilýär. Umumy kuwwat ýitgisi setiň parametrlerine, çatylyş usullaryna, reaktiw kuwwat toguna bagly bolýar. Şoniň üçin, bir meselede, ýagny, iş durkunyň optimal şertini kesgitlemekde birnäçe meseläniň bitewilikdäki täsirini göz önünde tutmaly bolýar.

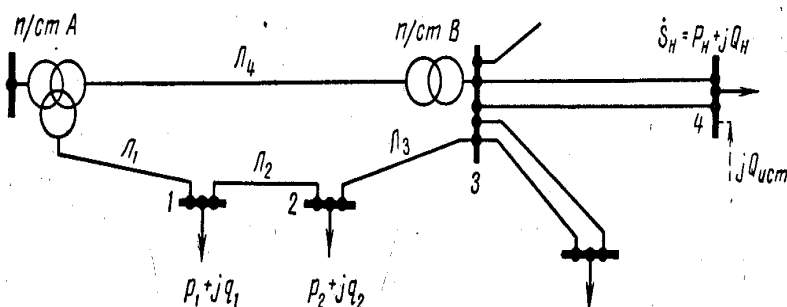
Setiň kuwwat ýaýrawynda diňe bir kuwwat ýitgisi bolup geçmän, potensial ýitgisi hem bolýar, bu ýagdaý bolsa öz gezeginde düwünlerdäki potensial näsazlygyny döredýär. Şonuň üçin bu meseläniň-de çözgüdini tapmaly, çäklendirilen ululygyny kesgitlemeli.

Şeýlelikde, çäklendirmeleri göz önünde tutmazdan optimal iş durka çemelişip-de we ony amal edip-de bolmaz.

Şonuň üçin çäklendirmeleri doly kanagatlandyryp bilýän, aktiw we reaktiw kuwwatlyklaryň oňaýly ýaýrawyny üpjün edip bilýän iş durkuna optimal iş durky diýip aýtmak bolar.

Çäklendirmeler sanawyna ýene-de generatorlaryň çäkli kuwwatyny, liniýadan geçirip boljak elektroenergiýanyň çäginini we ulgamyň beýleki elementleriniň çäkli ululyklaryny goşmak bolar.

Käbir ýagdaýlarda elektrik ulgamyndaky optimallýk meseläni setiň aýratyn bir bölegi üçin geçirilip biliner.



6-6-1-nji çyzgy.

Şeýle ýagdaýyň mysaly 6-6-1-nji çyzgyda energiýany *B* raýon podstansiýasyndan alýar. Bu aralyklardaky (*B*-goşa liniýa-şına 4) kuwwat ýaýrawy *A* podstansiýany öz içine alýan ulgamyň iş durkuna täsirini ýetirmeyär diýen ýalydyr. Şonuň üçin hem ol aralyklary iş durkunyň sazlaşygy onuň elementlerindäki aktiw kuwwat ýitgisini azaltmak meselesine gönükdirmek ýeterlidir.

Setde kuwwat ýitgisini setiň oruntutma suduryňyň zyyider hem-de parallel böleklerindäki ýitgileriň jemine deňdir (ýagny aktiw, reaktiw garşylyklaryndaky hem-de aktiw, reaktiw geçirijiliklerindäki ýitgiler).

Garşylykda aktiw kuwwat ýitgisi üçin

$$\Delta P = \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \cdot r \quad (6.6.1.)$$

Kanuny usuldyr, geçirijilikdäki ýitgi (transformatoryň, awtotransformatoryň magnitlandyryş golunda hem-de korona ýitgisi) setiň iş durkuna az derejede bagly bolany üçin, ol ululyklary üýtgewsiz hasap etmek bolar, ýagny

$$\Delta P_0 = \text{const} \quad \Delta P_{\text{korona}} = \text{const}$$

Ýokarda getirilen (6.6.1.) aňlatmadan görnüşi ýaly setiň her bir elementiniň parametri we potensialy berlen etsek, aktiw kuwwat ýitgisine has täsir edýän ululyk setdäki reaktiw kuwwat bolup durýar.

Hakykatda hem aktiw kuwwat akymy sarp edijiniň iş durkuna bagly, ony üýtgedip bolmaz, aktiw garşylyk simiň kese-kesigine bagly, enjamyň tipine we kuwwatyna bagly-üýtgewsiz. Ondan başga-da işläp duran setiň potensialyny kän ululyga üýtgedip bolmaz, onuň aktiw kuwwat ýitgisine täsiri az. Şu şertlerde reaktiw kuwwat akdyrylmasyny üýtgedilse, onuň aktiw kuwwat ýitgisine täsiri onçakly bolar.

Ýokarda getirilen çyzgyda petik ýagdaýda 3-4 liniýa bar, ol liniýa $\underline{S}_y = P_y + jQ_y$ sarp edijini iýmitlendirýär. Bu liniýa üçin ýokarda getirilen aňlatmamyzda kybapdaş aňlatmany ulanyp, aktiw kuwwat ýitgisini taparys.

$$\Delta P_l = \frac{P_y^2 + Q_y^2}{U_{nom}^2} \cdot r_l$$

Eger ýük çatylan şina haýsam bolsa bir reaktiw kuwwat çişmesini daksak ýitgisi azalar.

$$\Delta P_l = \frac{P_y^2 + (Q_y - Q_{\text{çeşme}})^2}{U_{nom}^2} \cdot r_l$$

bu ýerde: $Q_{\text{çeşme}}$ -goşmaça reaktiw
kuwwat çeşmesi;
 U_{nom}^2 -ýüküň üýtgän potensialy (ulalan).

Bu ýerden görşümüz ýaly aktiw ýitgisi onjaýly azalar we has az ýagdaýyna haçanda $Q_{\text{çeşme}} = Q_y$ bolanda ýeter.

Onda:

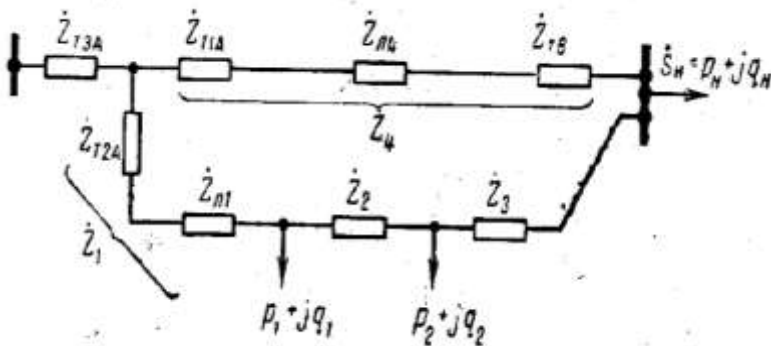
$$\Delta P_{l.min} = \frac{P_y^2}{U_{nom}^2} \cdot r_l$$

Diýmek, iň az aktiw ýitgisi haçanda $\cos \varphi = 1$ bolanda ýüze çykýan eken. Onda kuwwat koeffisiýentiniň ýokarlanmagyny diňe bir daşky reaktiw çeşmesini ulanmak bilen däl-de önümçilikde tehnologik prosesiniň oňynlaşdyrmagynda hem gazanyp boljakdygyna göz ýetirip bilýäris.

Daşky reaktiw çeşmäniň ulanylmagyny maksada laýyklygy tehniki-ykdysady deňeşdirmäniň netijesinde anyklanmalydyr, düýpli maýa goýumy bilen, täze oturdylan reaktiw kuwwat çeşmesinden geljek girdeji deňeşdirilmelidir.

Alan netijämiz, garalan mesele aýyk sete degişli. Haçanda set ýapyk bolanda, onda özara täsirini göz önünde tutmaly. Ýapyk sete mysal bolup, ýokarda getirilen sudurda A we B podstansiýalar aralygy hyzmat eder.

Garalýan ýapyk setiň oruntutma sudury podstansiýalaryň hasap ýükleri bilen aşakdaky ýaly bolar.



6-6-2-nji çyzgy.

Konturda umumy aktiw kuwwat ýitgisi.

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{m=1}^n \Delta P_m = 3 \sum_{m=1}^n I_m^2 r_m \approx \frac{1}{U_{nom}^2} \sum_{m=1}^n (P_m^2 + Q_m^2) r_m \quad (6.6.2)$$

Goý P_1 we Q_1 garalýan setiň haýsam bolsa bir gözbaşyndan gelýän aktiw we reaktiw kuwwatlyklar bolsunlar. P_1 kuwwat akyp geçende kuwwat ýitgisiniň iň az ýagdaýyny (minimum) kesgitlemek üçin (6.6.2) aňlatmany P_1 görä differensirläp, netijäni nula deňläp alarys:

$$\frac{d \Delta P_{\Sigma}}{d P_1} \approx \frac{1}{U_{nom}} \left[2 P_1 r_1 + \frac{d P_2^2}{d P_1} r_2 + \frac{d P_3^2}{d P_1} r_3 + \frac{d P_{34}^2}{d P_1} r_3 \right] \quad (6.6.1)$$

Bu ýerde:

$$P_2 \approx p_1 - P_1$$

$$P_3 \approx p_1 + p_2 - P_1$$

$$P_4 \approx p_1 + p_2 + p_3 - P_1$$

Şeýlelikde:

$$P_2^2 = p_1^2 - 2p_1P_1 + P_1^2$$

$$P_3^2 = (p_1 + p_2)^2 - 2(p_1 + p_2) \cdot P_1 + P_1^2$$

$$P_4^2 = (p_1 + p_2 + p_3)^2 - 2(p_1 + p_2 + p_3) \cdot P_1 + P_1^2$$

(6.6.3) aňlatmany P_1 boýunça differensirleseň

$$2P_1 r_1 - 2p_1 r_2 + 2P_1 r_2 - 2(p_1 + p_2)r_3 + 2P_1 r_3 - \\ - 2(p_1 + p_2 + p_3)r_4 + 2P_1 r_4 = 0$$

Bu ýerden, şeýlelikde

$$P_{1(\Delta P=\min)} = \frac{p_1(r_2+r_3+r_4) + p_2(r_3+r_4) + p_3r_4}{r_1+r_2+r_3+r_4} \quad (6.6.4.)$$

Q_1 kuwwat üçin hem ýokarda ulanan usulymyza kybapdaş usul bilen az kuwwat ýitgisine gabat şerti kanagatlandyryň deňlemäni alarys.

$$\frac{d \Delta Q_\Sigma}{d Q_\Sigma} \approx \frac{1}{U_{nom}} \left[2Q_1 r_1 + \frac{dQ_2^2}{dQ_1} r_2 + \frac{dQ_2^2}{dQ_3} r_3 \right. \\ \left. + \frac{dQ_4^2}{dQ_1} r_{24} \right] = 0$$

Özgertmeden soňra netije alarys.

$$Q_{1(\Delta P=\min)} = \frac{q_1(r_2 + r_3 + r_4) + q_2(r_3 + r_4) + q_3 r_4}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4} \quad (6.6.5.)$$

Ýapyk konturda umuman, n sany kuwwat sarp ediji bolanda

$$P_{1(\Delta P=\min)} = P_{A(\Delta P=\min)} = \frac{\sum_{m=1}^n p_m R_{mB}}{R_{AB}} \quad (6.6.6.)$$

$$Q_{1(\Delta P=\min)} = Q_{A(\Delta P=\min)} = \frac{\sum_{m=1}^n q_m R_{mB}}{R_{AB}}$$

Alynan netijäni, ýagny (6.6.5.) aňlatmany halk set üçin, biziň öňde gurap geçen meselämize degişli aňlatma bilen deňeşdirip göreliň

$$\underline{S}_A = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \hat{Z}_{mB}}{\hat{Z}_{AB}} \quad (6.6.7.)$$

$$\underline{S}_B = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \hat{Z}_{mA}}{\hat{Z}_{AB}}$$

Bu ýerde \underline{Z}_{mA} we \underline{Z}_{mB} -liniýanyň m nokatda çatylan ýüki bilen degişlilikde A we B çeşmeler aralygynyň doly garşylyklary. (6.6.6) aňlatmada getirilen kuwwat ýaýrawyna kuwwatyň tebigy ýaýrawy diýip atlandyryýarlar. Kuwwatyň

tebigy ýaýrawynda ýapyk setde az ýitgi şerti üpjün edilmeýär. Aktiw kuwwatyň az ýitgi şertini etmek üçin, ýapyk konturda aktiw hem-de reaktiw kuwwat ýaýrawy özleriniň geçýän aralyklarynda setiň aktiw garşylygyna baglylykda bolmaly. Bu şerti bolsa, kuwwat ýaýrawynyň tebigy paýlanyşygy üpjün edip bilmeýär, sebäbi, kuwwat ýaýrawy doly garşylyga bagly bolýar. Şeýlelikde, kuwwat ýitgisiniň azlygyny (6.6.5.) aňlatma laýyklykda üpjün etmek üçin islenilen ýagdaýynda kuwwat ýaýrawyny emeli ýol bilen, mejbury ýagdaýda sazlamaly. Şeýle sazlaýyş kontura (halka) wolt artdyryjy transformatory çatmak bilen amal edilip biliner.

Setiň (konturyň) ähli aralyklarynda sim ýogynlygy deň bolan ýagdaýynda az kuwwat ýitgili ýaýraw şertini başgaça usul bilen hem üpjün edilip biliner.

(6.6.6.) aňlatma esasynda

$$\underline{S}_A = \frac{\sum_1^n \underline{S}_m \hat{Z}_{mB}}{\hat{Z}_{AB}} = \frac{\sum_1^n \underline{S}_m R_{mB} \sqrt{1 + \left(\frac{X_{mB}}{R_{mB}} \right)^2}}{R_{mB} \sqrt{1 + \left(\frac{X_{mB}}{R_{mB}} \right)^2}} = \frac{\sum_1^n \underline{S}_m R_{mB}}{R_{AB}} \quad (6.6.8.)$$

Sebäbi deň sim ýogynlykdaky liniýa üçin

$$\frac{x_0}{r_0} = \frac{X_{mB}}{R_{mB}} = \frac{X_{AB}}{R_{AB}}$$

(6.6.7.) aňlatmanyň görkeziji ýaly, tebigy kuwwat ýaýrawy bilen emeli kuwwat ýaýraw şerti gabat gelýär, netijede bolsa ykdysady nukdaý nazardan maksada laýyk az kuwwat ýitgili iş durky ýüze çykýar. Bu ýagdaýy üpjün etmek üçin bolsa sete yzygider sazlaýjy kondensator çatmaly bolýar.

Sazlaýjy kondensatoryň kuwwaty ol ýa-da başga liniýanyň doly ýüküniň kuwwatyna hasaplanan bolmalydyr. Sazlaýjy kondensatoryň kömegi bilen setiň siminiň deňýogynlyk şertini üpjün edilýär, az kuwwat ýitigisi gazanylyar.

Şeýle sazlaşyk gerek boldy diýip çaklalyň, aýdalyň, konturda setiň bir goluna $\frac{x_1}{r_1}$ gatnaşyk beýleki gollaryňka uly,

$$\text{ýagny. } \frac{x_1}{r_1} > \frac{x_2}{r_2} = \frac{x_3}{r_3} = \dots \frac{x_m}{r_m}$$

Şu ýagdaýda 1 gola kondensator çatmaly bolaýr, ol kondensatoryň garşylygy

$$\frac{x_1 - x_K}{r_1} = \frac{x_2}{r_2}$$

sazlaşykdan kesgitlenip biliner

$$x_K = x_1 - r_1 \frac{x_2}{r_2} \quad (6.6.9.)$$

Ýitgini azaltmagyň iki usulynda-da, ýagny ýapyk konturda wolt artdyryjy ýa-da kondensator enjamlaryny ulanylanda artdyrylan düýpli maýa goýumy talap edilýär. Ol goşmaça çykdaýjy gürrüňsiz peýda getirer diýip düşünmek nädogry bolar. Onuň peýda berijiligini tehniki-ykdysady hasaplamalar esasynda kesgitlenmelidir.

Setiň oruntutma suduryndaky parallel gollaryndaky kuwwat ýitgisi olaryň sanyna baglydyr. Ol san azalanda kuwwat ýitgisi hem azalýar. Mysal üçin, energiýa geçiriji parallel işläp duran liniýalaryň birini öçürseň “korona” ýitgisi azalýar, podtsansiýada parallel işläp duran trnaformatoryň birini öçürseň, magnitlandyryş golunyň kuwwat azalýar. Muňa

garamazdan bu öçürişlerde oruntutma suduryň yzygider gollarynda kuwwat ýitginiň artmagyna alyp barýar. Onuň üçin umumy kuwwat ýitgisi azalýan bolan ýagdaýynda öçürmek maksada laýykdyr. Birnäçe parallel işleýän liniýalaryň oňaýly iş durky we olaryň sany hasaplamalar esasynda kesgitlenilip biliner. Edil şonuň ýaly-da islegi kanagatlandyryýan sany üç sargyly transformatorlaryň we awtotransformatorlaryň ýüke çatylyş sany kesgitlenilýär. Iki sargyly transformatorlar üçin bolsa, olaryň parallel işleýşiniň oňaýly sany umumy aňlatma bilen kesgitlenilip biliner.

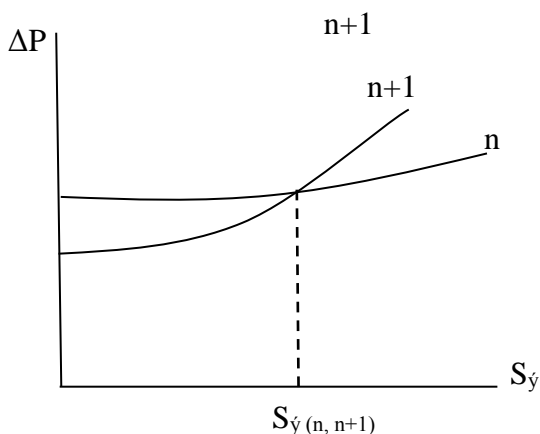
Birnäçe transformatoryň parallel işinde aktiw kuwwat ýitgisi

$$\Delta P_{T(n)} = \frac{1}{n} \Delta P_{gu} \frac{S_y^2}{S_{nom}^2} + n \Delta P_{bi}$$

Eger transformator sany artsa (n+1) bolsa

$$\Delta P_{T(n+1)} = \frac{1}{n+1} \Delta P_{gu} \frac{S_y^2}{S_{nom}^2} + (n+1) \Delta P_{bi}$$

6-6-3-nji çyzgyda dürli sandaky transformatorlar çatylyşyndaky aktiw kuwwat ýitgisiniň çyzgydy getirilendir. Çyzgylaryň şertli deňlik kanagat-landyrylýar.



6.6.3-nji çyzgy.

$$\frac{1}{n} \Delta P_{gu} \frac{S_{\gamma}^2}{S_{nom}^2} + n \Delta P_{bi} = \frac{1}{n+1} \Delta P_{gu} \frac{S_{\gamma}^2}{S_{nom}^2} + (n+1) \Delta P_{bi}$$

(6.6.9.) aňlatmanyň görkezilişine görä, sarp edijileriň kuwwaty $S_{\gamma, (n, n+1)}$ ýagdaýynda $n+1$ transformatoryň ýerine n -transformatory işletmek maksada laýyk bolýar.

$$S_{\gamma(n, n+1)} = S_{nom} \sqrt{\frac{n(n+1) \Delta P_{bi}}{\Delta P_{gu}}}$$

$S_{\gamma} < S_{\gamma (n, n+1)}$ bolanda n - transformator işlände az kuwwat ýitgisi bolýar, eger $S_{\gamma} > S_{\gamma (n, n+1)}$ bolanda az kuwwat ýitgisi $n+1$ transformator işledilende bolýar.

Goşmaça 1.

1.1-nji tablisa

Napryażeniýa baglylykda liniýada sütün aralyklary.

Napryażeniýe, kW	8-10	20- 35	110	220	230	500
Sütün aralygy, μ	50- 100	100- 200	170- 250	250- 350	300- 400	350- 450

1.2-nji tablisa

Metal ýa-da demirbeton sütünlerde sim saklaýjy izolýatorlar sany.

Izolýatorlaryň tipi	Napryażeniýe U, kW					
	35	110	220	330	500	750
ПФК-Б	3	7	14	20	-	-
ПФ16-А	-	6	11	17	23	-
ПФ20-А	-	-	10	14	20	-
ПС6-А	3	8	14	21	-	-
ПС12-А	-	7	12	17	25	3·(38-41)
ПС22-А	-	-	10	15	21	29-34

Bellik: Φ-farfor; C-steklo; П-podwesnyýe.

1.3-nji tablisa
Metal ýa-da demirbeton sütünlerde sim saklaýjy izolýatorlar
sany.

Kese- kesigine, mm ²	Diametri, m	Udel aktiw garşylygy, Om/km		
		Mis sim we kabel	Alýumin sim we kabel	Polatly sim
6	2,7	3,06	-	-
10	3,5	1,84	-	-
16	5,1	1,20	1,96	-
25	6,3	0,74	1,27	-
35	7,5	0,54	0,91	0,77
50	9,0	0,39	0,63	0,59
70	10,6	0,28	0,45	0,42
95	12,4	0,20	0,33	0,31
120	14,0	0,258	0,27	0,25
150	15,8	0,123	0,21	0,20
185	17,5	0,103	0,17	0,16
240	20,0	0,078	0,131	0,12
300	24,4	0,062	0,105	0,10
400	27,8	0,047	0,078	0,07
500	30,2	-	0,065	0,06
600	33,1	-	0,055	0,05

1.4-nji tablisa
Liniýanyň naprýaženiýesine baglylykda faza sim aralyklary.

U_{nom} , kW	1 çenli	6-10	20	35	110	150	220	330	500	750
D, m	0,5	1	1,5	3,5	5	6,5	7	11	14	19,5

1.5-nji tablisa
Korona şertine görä sim ýogynlygynyň in az ululygy.

Nominal naprýaženiýe	Simiň diametri, mm	Polatly simiň kese-kesigi, mml
110	11,3	70
150	15,2	120
220	21,6	240
330	23,5	300
500	25,2	330
750	29	400

1.6-nji tablisa
Bir gatly polat simiň udel aktiw garşyly we içki induktiw
garşylygy, Om/km.

Simden geçýän tok, Δ	Simiň diametri					
	3,5		4,0		5,0	
	R _o	X _o "	R _o	X _o "	R _o	X _o "
2	16,1	6,45	12,5	4,38	8,35	3,58
4	18,5	11,9	14,3	9,7	10,8	8,1
6	21,4	16,3	16,5	12,5	13,8	11,2
8	21,7	16,7	18,0	14,2	15,4	13,3
10	21,9	17,1	18,1	14,3	14,6	12,4
15	20,2	18,3	17,3	13,3	13,6	11,4
20	-	-	-	-	12,7	10,5

2. Transformatorlar we awtotransformatorlar.

2.1-nji tablisa

Bir fazaly we üç fazaly awtotransformatorlar 500-750 kW

Awtotrans- formatorlaryň tipi (görnüşi)	S _{nom} , MW A	Sazla- ýyşyň çägi, %	Katalog berlenleri			S, % sargylarda		
			Sargylaryň U _{nom} , kW			ý	o	k
			ý	o	k			
АТДЦПН- 125000/500/110	125	±8x1,50	500	121	6,3; 10,5; 38,5	100	100	50
АТЦПН- 250000/500/110	250	±8x1,50	500	121	10,5; 38,5	100	100	40
АТДЦПН- 320000/500/220	320	±8x1,38	500	230	10,5; 15,8; 38,5	100	100	37,5
АОДЦПН- 167000/500/220	167	-8x1,47	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5; 38,5; 13,8; 18; 20	100	100	30; 40; 50
АОДЦПН- 167000/500/330	167	±6x2,0	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	10,5; 38,5	100	100	15
АОДЦПН- 267000/500/220	267	±8x1,50	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5; 38,5; 13,8; 18; 15,5; 20	100	100	25; 31; 45
АОДПН- 267000/500/330	267	±8x1,50	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	10,5; 38,5; 10,5; 15,8; 38,5	100	100	15
АОЦПН- 417000/500/220	417	±8x1,50	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5; 13,8; 38,5; 15,5; 18,1	100	100	29
АОЦПН- 533000/500/220	533	±8x1,40	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	16; 20; 15,75	100	100	25; 31
АОДЦПН- 333000/750/330	333	±10	$\frac{750}{\sqrt{3}}$	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	10,6	100	100	45; 25
АОДЦПН- 417000/750/500	417	±5	$\frac{750}{\sqrt{3}}$	$\frac{500}{\sqrt{3}}$		100	100	25

2.1-nji tablisa (dowamy)

Awtoýnformatorlaryň matorlaryň týpi	Katalog ululyklary						Hasap ululyklary						Δ Q _o , kW Ar
	U _k , %			ΔP_K , kWt	ΔP_o , kWt	I _o , %	R _g , Om			X _g , Om			
	y-o	y-k	o-k				y	o	k	y	o	k	
АТДПТН- 125000/500/ 110	10,5	24	13	330	150	0,50	2,90	2,90	5,80	231	0	280	625
АПТН- 250000/500/ 110	10,5	24	13	550	230	0,45	1,21	1,21	3,03	118	0	146	1125
АТДПТН- 320000/500/ 220	10,5	27,5	17	550	220	0,45	0,74	0,74	1,98	90,4	0	146	1440
АОДПТН- 167000/500/ 220	9,5	29	17,5	325	125	0,40	0,53	0,53	1,77; 1,32; 1,06	58	0	101,5	2010
АОДПТН- 167000/500/ 330	9,8	67	61	320	70	0,30	0,53	0,53	3,54	44	0	325	1500
АОДПТН- 267000/500/ 220	8,5	24	12,5	435	160	0,35	0,29	0,29	1,16; 0,94; 0,64	34	0	48	2805
АОПТН- 267000/500/ 330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
АОПТН- 417000/500/ 220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
АОПТН- 533000/500/ 220	8,5	24	12,5	760	250	0,25	0,12	0,12	17,2	17,2	0	24	3990
АОДПТН- 333000/750/ 330	10,5	28,2	17,1	780	240	0,34	0,73	0,73	65	65	0	110	3390
АОДПТН- 417000/750/ 500	9,6	63	51	920	330	0,50	0,55	0,55	53,5	53,5	0	257	6255

2.2-nji tablisa

Üç fazly we bir fazly iki sargyly transformatorlar
500-750 kW

Transformatorlaryň tipi	S _{nom.} MW A	U _{nom.} kW		U _k , %	ΔP _k , kWt	ΔP ₀ , kWt	I ₀ , %	R _x , Om	X _x , Om	ΔQ ₀ , kVAr
		Y	K							
ТЦ-200000/500; ТДЦ-200000/500	200	525	15,7 5; 20	12,5	700	175	0,35	4,50	167	700
ТЦ-400000/500; ТДЦ-400000/500	400	525	15,7 5; 20	12,5	940	370	0,35	1,60	86	1400
ТЦ-630000/500	630	525	15,7 5; 20	13,5	1350	550	0,30	0,93	59	1890
ОДЦ-133000/500	133	525/ √3	13,8 0	13,4	513	430	3,00	2,60	92,5	12000
ОДЦ-210000/500; ОДЦ-210000/500;	210	525/ √3	15,7 5; 20	13,2	630	372	2,00	1,30	57,8	12600
ОДЦ-333000/500	333	525/ √3	15,7 5; 20	12,5	950	200	0,45	0,80	34,6	4485
ОЦ-417000/500*	417	525/ √3	15,7 5; 20	13	1180	255	0,40	0,62	28,7	5004
ОЦ-533000/550*	533	525/ √3	24	13,5	1400	300	0,35	0,45	23,2	5565
ОЦ-417000/750*	417	787/ √3	20	13	900	300	0,50	1,10	64	6255

2.3-nji tablisa

330 kW üç fazaly awtotransformatorlar.

Transformatorlaryň tipi	S _{nom} , MVA	Katalog ululyklary								
		U _{nom} , kW			U _k , %			ΔP _K , kWt		
		ý	o	k	ý-o	ý-k	o-k	ý-o	ý-k	o-k
АТДЦТН-63000/330/110	63	330	115	10,5; 38,5	10	32	21	220	-	-
АТДЦТН-125000/330/110	125	330	115	6,3; 10,5; 38,5	10	35	21	370	-	-
АТДЦТН-125000/330/150	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
АТДЦТН-200000/330/110	200	330	115	10,5; 38,5	10	24	22,5	600	-	-
АТДЦТН-240000/330/220	240	347	242	11; 38,5	7,6	81	71,5	475	400	305
АТДЦТН-250000/330/150	250	330	158	10,5; 38,5	10	33	23	-	750	-

2.4-nji tablisa
330 kW üç fazaly awtotransformatorlar.

Transformator- laryň tipi	Katalog ululyklary		Hasap ululyklary						
	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт	$I_{\text{х}}, \%$	$R_{\text{тр}}, \text{Ом},$			$X_{\text{тр}}, \text{Ом, обмоток}$			$\Delta Q_{\text{х}}, \text{квар}$
			ý	о	к	ý	о	к	
АТДЦТН-63000/330/110	70	0,6	3,30	3,30	6,60	195	0	414	378
АТДЦТН-125000/330/110	115	0,5	1,42	1,42	2,84	110	0	221	625
АТДЦТН-125000/330/150	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АТДЦТН-200000/330/110	180	0,5	0,90	0,90	2,26	64,5	0	140	1000
АТДЦТН-240000/330/220	225	1,5	0,89	0,99	2,40	42,8	0	362	3600
АТДЦТН-250000/330/150	170	0,7	0,70	0,70	1,40	48	0	110	1750

2.5-nji tablisa
Iki sargyly üç fazaly 330 kW naprýaženiýeli transformatorlar.

Transfor- mator-	$S_{\text{ном}},$ МВ·А	Пределы регулиру- рования, %	Katalog						Hasap ululyklary		
			$U_{\text{ном}}, \text{кВ},$		$\eta_{\text{к}}, \%$	$\Delta P_{\text{к}},$ кВт	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт	$I_{\text{х}}, \%$	$R_{\text{тр}},$ Ом	$X_{\text{тр}},$ Ом	$\Delta Q_{\text{х}},$ квар
			ý	к							
ТРДН-32000/330	32	$\pm 8 \times 1,5$	330	6,3/6,3; 6,3/10,5	11	170	82	2,0	19,90	412	640
ТРДЦН-63000/330	63	$\pm 1,5$	330	10,5/10,5; 22; 38,5	11	265	120	0,80	8,0	210	504
ТРДЦН-125000/330	125	$\pm 8 \times 1,5$	330	10,5/10,5	11	420	180	0,50	3,22	105	625
ТДЦ-125000/330	125	—	347	10,5; 13,8	11	360	145	0,55	2,78	105	688
ТДЦ-200000/330	200	—	347	13,8; 15,7; 18	11	560	245	0,50	1,68	66	1000
ТДЦ-250000/330	250	—	347	13,8; 15,7	11	650	285	0,45	1,25	52,9	1125
ТДЦ-400000/330	400	—	347	15,7; 20	11	900	340	0,40	0,67	33	1000
ТЦ-630000/330	630	—	347	20	11	1320	500	0,35	0,40	0,29	2200
ТЦ-1000000/330	1000	—	347	24	11,5	2150	450	0,30	0,26	13,8	3000
ТЦ-1200000/330	1200	—	347	—	—	—	—	—	—	—	—

2.6-njy tablisa

Iki fazaly üç sargyly transformatorlar we awtotransformatorlar, 220 kV

Transformatorlaryň we awtotransformatorlaryň tipi	S _{ном} , МВ·А	Sazla-ýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary					
			U _{авт} , кВ			U _{тр} , кВ		
			ý	к	о	ý	о	к
ТДТН-10000/220	10	±8×1,5	230	22, 38,5	6,6; 11	—	—	—
ТДТН-25000/220	25	±8×1,5	230	22, 27,5; 38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5
АТДТН-32000/220/110	32	±2×6,0	230	121	6,6; 11; 38,5	11	34	21
ТДТН-40000/220	40	±8×1,5	230	22, 27,5; 38,5	6,6; 11	22,0 (12,5)	(12,5) 22	9,5
ТДТН-63000/220	63	±8×1,5	230	22, 38,5	6,6; 11	24 (12,5)	(12,5) 24	10,5
АТДТН-63000/220/110	—	±6×2,0	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35	22
АТДТН-125000/220/110	125	±6×2,0	230	121	6,6; 11; 13,8; 38,5	11	31	19
АТДТН-200000/220/110	200	±6×2,0	230	121	6,6; 11; 13,8; 38,5	11	32	20

Transformatorlaryň tipi	Katalog ululyklary					Hasap ululyklary				
	ΔP _{кв} , %			I _{кв} , %		ΔP _{тр} , Ом			ΔQ _{кв} , кВА	
	ý-о	ý-к	о-к	ý	к	ý	о	к	ý	к
ТДТН-10000/220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ТДТН-25000/220	—	135	—	50	1,3	5,72	5,72	276	0	146
АТДТН-32000/220/110	—	145	—	32	0,6	3,74	3,74	198	0	354
ТДТН-40000/220	—	240	—	66	1,1	3,97	3,97	165	126 (0)	(0) 126
ТДТН-63000/220	—	320	—	91	1,0	2,13	2,13	109	92,5 (0)	0 (92,5)
АТДТН-63000/220/110	—	215	—	45	0,5	1,43	1,43	2,90	0	155
АТДТН-125000/220/110	—	240	—	65	0,5	0,50	0,50	1,00	43,6	0
АТДТН-200000/220/110	—	430	360	125	0,5	0,30	0,30	1,15	30,4	0

2.7 -nji tablisa

Iki sargyly üç fazaly transformatorlar, 220 kV.

Transformatorlaryň tipi	S _{ном} , МВ·А	Sazla-ýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary					Hasap ululyklary		
			U _{ном} , кВ, обмоток		u _{кв} , %	ΔP _{кв} , кВт	ΔP _{тр} , кВт	I _{кв} , %	R _{тр} , Ом	X _{тр} , Ом
			ý	к						
ТРДН-32000/220	32	±8×1,5	230	6,6/6,6	12	167	53	0,90	8,66	198,5
ТРДЦН-63000/220	63	±8×1,5	230	6,6/11; 11/11	12	300	82	0,80	4,00	100
ТДЦ-80000/220	80	±2×2,5	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,60	2,64	72,8
ТРДЦН-100000/220	100	±8×1,5	230	11/11	12	360	115	0,70	1,90	63
ТДЦ-125000/220	125	±2×2,5	242	6,3; 10,5; 13,8; 20	11	380	135	0,50	1,27	46,5
ТРДЦН-160000/220	160	±8×1,5	230	11/11	12	526	167	0,60	1,08	39,7
ТДЦ-200000/220	200	—	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	29
ТДЦ-250000/220	250	—	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,55	23,2
ТДЦ-400000/220	400	—	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,40	0,29	14,5
ТЦ-630000/220	630	—	242	15,75; 20	11	1300	380	0,35	0,17	9,2

2.8 -nji tablisa

Iki sargyly üç fazaly transformatorlar we
awtotransformatorlar, 150 kW.

Transf or- matorla rvň	$S_{\text{ном}},$ МВ·А	Sazl a- ýyşy %	Katalog									
			$U_{\text{ном}},$ кВ,			$a_k, \%$						
			ý	o	k	ý-	ý-	o-				
ТДТН-16000/150	16	$\pm 8 \times 1,5$	158	22; 38,5	6,6; 11	10,5	18	6				
ТДТН-25000/150	25	$\pm 8 \times 1,5$	158	22; 27,5; 38,5	6,6; 11	10,5	18	6				
ТДТН-40000/150	40	$\pm 8 \times 1,5$	158	22; 38,5	6,6; 11	10,5	18	6				
ТДТН-63000/150	63	$\pm 8 \times 1,5$	158	22; 38,5	6,6; 11	10,5	18	6				
АТДТНГ-100000/150	100	$\pm 4 \times 2,5$	158	115	6,6	5,3	15	15				
Transf or- matorla rvň	Katalog				Häsap							
	$\Delta P_k, \text{ кВт},$			$\Delta P_x,$ кВт	$I_x,$ %	$R_{TP}, \text{ Ом},$			$X_{TP}, \text{ Ом},$			$\Delta Q_x,$ квар
	ý-	ý-	o-			ý	o	k	B	C	H	
ТДТН-16000/150	—	96	—	25	1,0	4,70	4,70	4,70	176	0	103,5	160
ТДТН-25000/150	—	145	—	34	0,9	2,90	2,90	2,90	112,5	0	67,5	225
ТДТН-40000/150	—	185	—	53	0,8	1,45	1,45	1,45	70	0	42,2	320
ТДТН-63000/150	—	285	—	67	0,7	0,90	0,90	0,90	44,7	0	26,8	431
АТДТНГ-100000/150	310	235	230	75	1,5	0,54	0,20	14,20	6,6	6,6	30,9	1500

2.9 -njy tablisa
Üç fazly iki sargyly transformatorlar, 150 kW.

Transformatorlaryň typi	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Sazla- ýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary						Hasap ululyklary		
			$U_{\text{ном}}$ кВ,		u_k , %	$\Delta P_{\text{кВт}}$	$\Delta P_{\text{кВт}}$ к	I_x , %	$R_{\text{тп}}$, Ом	$X_{\text{тп}}$, Ом	ΔQ_x , квар
			В	Н							
ТМН-4000/150	4	$\pm 9 \times 1,3$	158	6,6; 11	10,5	35	10	1,20	54,00	656	48
ТДН-16000/150	16	$\pm 8 \times 1,5$	158	6,6; 11	11	85	21	0,80	8,30	172	128
ТРДН-32000/150	32	$\pm 8 \times 1,5$	158	6,3/6,3 10,5/10,5; 11/11	10,5	145	35	0,70	3,54	82	224
ТРДН-63000/150	63	$\pm 8 \times 1,5$	158	6,3/10,5 11/11	17	235	59	0,65	1,48	67,5	410
ТДЦ-125000/150	125	$\pm 2 \times 2,5$	165	10,5	11	380	110	0,50	0,61	22	625
ТДЦ-400000/150	400	—	165	20	11	930	270	0,50	0,15	6,9	2000

2.10 -njy tablisa
Üç sargyly üç fazly transformatorlar, 110 kW.

Transformatorlar yň tipi	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Katalog ululyklary						
		$U_{\text{ном}}$ кВ,			u_k , %			
		ý	о	к	ý-	ý-	о-	
ТМТН-6300/110	6,3	115	22; 38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
ТДТН-10000/110	10	115	22; 38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
ТДТН-16000/110 *	16	115	27,5; 22; 38,5	6,6; 11	17 (10,5)	10,5 (17)	6	
ТДТН-25000/110	25	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
ТДТН-25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	17	10,5	6	
ТФТП-31500/110	31,5	110	38,5	27,5	18,2	10,6	6,6	
ТДТН-40000/110 *	40	115	11; 22; 27,5; 38,5	6,6; 11	10,5 (17)	17 (10,5)	6	
ТДТН-63000/110 *	63	115	38,5	6,6; 11	10,5 (17)	17 (10,5)	6	
ТДЦТН-80000/110 *	80	115	38,5	6,6; 11	10,5 (17)	17 (10,5)	6	

Transformator- laryň tipi	Katalog ululyklary			Hasap ululyklary						
	$\Delta P_{\text{кВт}}$	$\Delta P_{\text{кВт}}$	I_x , %	$R_{\text{тп}}$ Ом,			$X_{\text{тп}}$ Ом,			ΔQ_x , квар
				ý	о	к	ý	о	к	
ТМТН-6300/110	60	14	1,20	10	10	10	225	0	131	75,5
ТДТН-10000/110	80	19	1,10	5,30	5,30	5,30	142	0	82	110
ТДТН-16000/110 *	105	26	1,05	2,70	2,70	2,70	88	(0); 52	(52); 0	168
ТДТН-25000/110	145	36	1,00	1,50	1,50	1,50	54	0	33	250
ТДТН-25000/110	145	45	1,00	1,50	1,50	1,50	57	33	0	250
ТФТП-31500/110	200	55	1,50	1,30	1,30	1,30	46,5	29,8	0	472
ТДТН-40000/110 *	230	50	0,95	0,95	0,95	0,95	35,4	0; (20,6)	20,6; (0)	360
ТДТН-63000/110 *	310	70	0,85	0,52	0,52	0,52	22,6	0; (13,1)	13,1; (0)	536
ТДЦТН-80000/110 *	390	82	0,80	0,40	0,40	0,40	17,7	0; (10,3)	10,3; (0)	640

2.11-nji tablisa
Üç fazly iki sargyly transformatorlar, 110 kW.

Transformatorlaryň typi	S _{НОМ} , МВ·А	Sazla- ýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary						Hasap ululyklary			
			U _{НОМ} , кВ.		u _k , %	ΔP _k , кВт	ΔP _x , кВт	I _x , %	R _{ТР} , Ом	X _{ТР} , Ом	ΔQ _x , квар	
			ψ	k								
ТМН-2500/110	2,5	±10×1,50 8×1,50	110	6,6; 11; 22	10,5	22	5,0	1,50	46,60	555	37,5	
ТМН-4000/110	4,0	±9×1,78	115	—	—	—	—	1,00	16,60	220	63	
ТМН-6300/110	6,3	±9×1,78	115	6,6; 11; 22; 38,5	—	50	10	0,90	7,95	139	90	
ТДН-10000/110	10	±9×1,78	115	6,6; 11; 22; 38,5	10,5	60	14	0,90	7,95	139	90	
ТДН-16000/110	16	±9×1,78	—	—	—	85	21	0,85	4,38	86,7	186	
ТРДН-25000/110	25	±9×1,78	—	—	10,5	120	29	0,80	2,54	55,9	200	
ТРДН-32000/110	32	±9×1,78	115	6,3/6,3; 6,3/10,5;	10,5	145	35	0,75	1,87	43,5	240	
ТРДНС-32000/110	32	±9×1,78	—	10,5/10,5	16,0	145	35	0,75	1,87	66	240	
ТРДН-40000/110	40	±9×1,78	—	—	10,5	175	42	0,70	1,44	34,8	280	
ТРДНС-40000/110	40	±9×1,78	—	—	16,0	175	42	0,70	1,44	52,8	280	
ТД-40000/110	40	±2×2,50	115	3,15; 6,3; 10,5	10,5	175	52	0,70	1,44	34,8	280	
ТРДЦН-63000/110	63	±9×1,78	115	6,3/6,3; 6,3/10,5	10,5	260	59	0,65	0,87	22	410	
ТРДЦН-80000/110	63	±9×1,78	121	10,5/10,5	10,5	315	70	0,60	0,65	17,3	480	
ТД-80000/110	80	±2×2,50	121	6,3; 10,5; 13,8; 3,15	10,5	315	70	0,60	0,65	17,3	480	
ТДЦ-125000/110	125	±2×2,50	121	10,5; 13,8	10,5	520	120	0,55	0,33	11,1	678	
ТДЦ-200000/110	200	±2×2,50	121	13,8; 15,75; 18; 20	10,5	700	170	0,50	0,23	6,9	1000	
ТДЦ-250000/110	250	±2×2,50	121	15,75; 20	10,5	790	200	0,50	0,17	5,5	1250	
ТДЦ-400000/110	400	±2×2,50	121	20	10,5	1350	230	0,80	0,12	3,5	3200	

2.12-nji tablisa
Üç fazly iki sargyly transformatorlar, 35 kW.

Transformatorlaryň tipi	S _{ном} , МВ·А	Sazlaýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary						
			U _{ном} , кВ.				u _к , %		
			ý	ý	о	о	к	к	ý-
ТМТН-6300/35	6,3	±8х1,5	35	10,5 (11);	13,8	6,3 (6,6)	7,5	7,5	16,5
ТМТН-10000/35	10	±8х1,5	36,75	10,5 (11)		6,3 (6,6)	16,5	8,0	7,2
ТМТН-16000/35	16,0	±8х1,5	36,73	13,8 (15,85)			8,5	16,5	7,2
				10,5 (11)	6,3 (5,6)	17	8	7,5	
				13,8 (15,75)			8	17	7,5

Transformatorlaryň tipi	Katalog ululyklary			Hasap ululyklary		
	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %	R _{тр} , Ом,		
				В	С	Н
ТМТН-6300/35	55	12	0,85	0,94	0,94	0,94
ТМТН-10000/35	75	18	0,85	0,51	0,51	0,51
ТМТН-16000/35	115	23	0,65	0,30	0,30	0,30

Transformatorlaryň tipi	Hasap ululyklary			ΔQ _х , кВасД
	X _{тр} , Ом			
	В	С	Н	
ТМТН-6300/35	0	17,8	17,8	53,5
ТМТН-10000/35	11,7	10,6	0	85
	11,7	0	10,6	—
ТМТН-16000/35	7,5	7,0	0	104
	7,5	0	7,0	—

2.13-nji tablisa

Üç fazly iki sargyly transformatorlar, 35 kW.

Transformatorlaryň aýn	$S_{\text{ном}} \text{ МВ} \cdot \text{А}$	Sazlaýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary						Hasap ululyklary		
			$U_{\text{ном}} \text{ кВ, обмоток}$		$u_{\text{к}} \%$	$\Delta P_{\text{кВТ}}$	$\Delta P_{\text{кВТ}}$	$I_{\text{к}} \%$	$R_{\text{тп}} \text{ Ом}$	$X_{\text{тп}} \text{ Ом}$	$\Delta Q_{\text{к}} \text{ кВАР}$
			В	О							
ТМ-630/35	0,63	$\pm 2 \times 2,5$	35	6,3; 10,5	6,5	7,60	2,00	2,00	26	140	12,6
ТМН (ТМ)-1000/35	1,0	$\pm 6 \times 1,5$	35	6,3; 11 (10,5)	6,5	11,90	2,75	1,50	16,00	87,50	15,0
ТМН (ТМ)-1600/35	1,6	$\pm 6 \times 1,5$	35	6,3; 11 (10,5)	6,5	17,25	3,65	1,40	9,10	54,90	22,4
ТМН (ТМ)-2500/35	2,5	$\pm 6 \times 1,5$	35	6,3; 11 (10,5)	6,5	24,25	5,10	1,10	5,20	35,00	27,5
ТМН (ТМ)-4000/35	4,0	$\pm 6 \times 1,5$	35	6,3; 11 (10,5)	7,5	33,50	6,70	1,00	2,80	25,20	40
ТМН (ТМ)-6300/35	6,3	$\pm 6 \times 1,5$	35	6,3; 11 (10,5)	7,5	46,50	9,40	0,90	1,60	16,10	56,7
ТД-10000/35	10	$\pm 2 \times 2,5$	38,50	6,3; 10,5	7,5	65	14,50	0,80	0,87	10,10	80
ТДН-10000/35	10	$\pm 8 \times 1,5$	36,75	6,3; 10,5	8,0	65	14,50	0,80	0,87	10,80	80
ТДНС-10000/35	10	$\pm 8 \times 1,5$	36,75	6,3	14,0	85	14,50	0,80	1,14	18,90	80
ТД-16000/35	16	$\pm 2 \times 2,5$	38,50	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,75	0,48	6,75	120
ТДН-16000/35	16	$\pm 8 \times 1,5$	36,75	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,75	0,48	6,75	120
ТДНС-16000/35	16	$\pm 8 \times 1,5$	36,75	6,3	10,0	105	21	0,75	0,55	8,40	120
ТДНС-25000/35	25	$\pm 8 \times 1,5$	36,75	6,3	10,0	135	29	0,70	0,29	5,40	175
ТДН-25000/35	25	$\pm 8 \times 1,5$	36,75	6,3; 10,5	8,0	125	29	0,70	0,27	4,30	175

2.14-nji tablisa

Üç fazly iki sargyly transformatorlar, 10 we 20 kW.

Transformatorlaryň tipi	S _{ном} МВ·А	Katalog ululyklary						Hasap ululyklary				
		U _{ном} кВ, обмоток				u _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _т , кВт	I _к , %	R _{тп} , Ом	X _{тп} , Ом	ΔQ _к , квар
		В	Н	О	У							
ТМН (ТМ)-4000/35	4,0	10,5	6,3 (3,15)			6,5	33,5	5,98	0,90	0,24	1,80	36
ТМН (ТМ)-6300/35	6,3	10,5	6,3 (3,15)			6,5	46,5	8,33	0,80	0,13	1,14	50,4
ТД-10000/35	10	10,5	6,3 (3,15)			7,5	92	29	3,00	0,10	0,82	300
ТДН-10000/35	10	10,5	6,3 (3,15)			14,4	56	28	4,00	0,10	1,60	400
ТДНС-10000/35	10	10,5	6,3 (3,15)			—	—	—	—	—	—	—
ТДНС-16000/35	16	10,5	6,3			—	—	—	—	—	—	—
ТМН-630/20	0,63	20	0,4; 6,3; 10,5			6,5	6,3	2,45	1,97	7,00	45,50	12,4
ТМН-630/20	0,63	20	6,3; 10,5			6,5	7,6	2,00	2,00	8,50	45,50	12,6
ТМН (ТМ)-1000/20	1,0	20	0,4; 6,3; 10,5			6,5	11,9	2,75	1,50	5,24	29,20	15
ТМН (ТМ)-1600/20	1,6	20	6,3; 10,5			6,5	17,2	3,65	1,40	2,96	17,80	22,4
ТМН (ТМ)-2500/20	2,5	20	6,3; 11			6,5	24,2	5,10	1,10	1,70	11,40	27,5
ТМН (ТМ)-4000/20	4,0	20	6,3; 10,5			7,5	33,5	6,70	1,00	0,91	8,30	40
ТМН (ТМ)-6300/20	6,3	20	6,3; 10,5			7,5	46,5	9,40	0,90	0,52	5,20	56,7
ТДН-25000/20	25	20	6,3/10,5			9,5	145	29	0,70	0,10	1,60	175
ТДН-32000/20	32	20	6,3/10,5			11,5	180	33	0,70	0,08	1,60	224
ТДН-40000/20	40	20	6,3/6,3			14	225	39	0,65	0,06	1,55	260
ТДН-63000/20	63	20	10,5/10,5			11,5	280	55	0,63	0,03	0,88	378
ТМ-63/20	0,063	20	0,23; 0,4			5,30	1,47	0,29	2,80	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	2,80	0,66	2,40	49,5	182	3,84
ТМ (ТМН)-250/20	0,25	20	0,23; 0,4			6,65	3,95	0,96	2,30	27,6	116	5,75
ТМ (ТМН)-400/20	0,4	20	0,23; 0,4			6,50	5,50	1,35	2,10	15,2	73	8,40

2.15-nji tablisa

Üç fazaly iki sargyly transformatorlar, 6 we kW.

Transformatorlaryň tipi	Sazlaýyşyň çägi, %	Katalog ululyklary			
		$U_{\text{НОМ}}, \text{кВ}$		$u_k, \%$	$\Delta P_k, \text{кВт}$
		В	Н		
ТМ-25/6	25	6,3	0,4; 0,23	4,5—4,7	0,6—0,69
ТМ-25/10	25	10	0,4; 0,23	4,5—4,7	0,6—0,69
ТМ-40/6	40	6,3	0,23	4,5	0,88
ТМ-40/10	40	10	0,4	4,5—4,7	0,88—1,00
ТМ-63/6	63	6,3	0,4; 0,23	4,7	1,28—1,47
ТМ-63/10	63	10	0,4; 0,23	4,5—4,7	1,28—1,47
ТМ-100/6	100	6,3	0,4; 0,23	4,5—4,7	1,97—2,27
ТМ-100/10	100	10	0,4; 0,23	4,5—4,7	1,97—2,27
ТМ-160/6-10	160	6,3; 10	0,4; 0,23;	4,5—4,7	2,65—3,10
			0,69		
ТМ-250/10	250	10	0,4; 0,23	4,5—4,7	3,7—4,2
ТМ-400/10	400	10	0,23; 0,69	4,5	5,5—5,9
			0,4		
ТМ-630/10	630	10	3,15; 0,23;	5,5	7,6—8,5
			0,4; 0,69		
ТМ-1000/6	1000	6,3	0,4; 0,69;	8,0	12,2
			3,15; 0,525		
ТМ-1000/10	1000	10	0,4; 0,69;	5,5	12,2—11,6
			0,525; 3,15;		
			6,3		
ТМ-1600/10	1600	10	0,4; 0,69;	5,5	18,0
			3,15		
ТМ-2500/10	2500	10	0,69—10,5	5,5	25,0—23,5

2.16-nji tablisa

Liniýa naprýaženiýesini sazlaýjy transformatorlar.

Transformatorlaryň tipi	$S_{\text{НОМ}},$ МВ·А	$U_{\text{НОМ}},$ кВ	Katalog ululyklary						Технич. ululyklary					
			$\Delta P_{\text{к}},$ кВт		$\Delta P_{\text{х}},$ кВт		$I_{\text{х}},$ %		$X, \text{ Ом}$	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт		$\Delta Q_{\text{х}},$ квар		
			Соединения							Соединения				
			1	23	1; 23	11—13	1	11—13		1; 23	11—13	1	11—13	
ЛТМН-16000/10	16	11	35	20	10	3,5	0,87	0,35	0,10	10	3,5	140	56	
ЛТДН-40000/10	40	11	70	38	20	7	0,62	0,44	0,04	20	7	247	176	
ЛТДН-63000/35	63	35	110	60	28	12	0,55	0,37	0,33	28	12	344	233	
ЛТДН-100000/35	100	35	140	75	43	16	0,62	0,21	0,20	43	16	610	211	

Transformatorlaryň typi	S _{nom} , MVA	Güç awtotransfor- matorlar	Katalog ululyklary							Hasap ululyklary	
			U _{nom} , kV, obmotok			u _k , %	ΔP _x , kBT	ΔQ _x , kBT	I _x , %	ΔP _x , kBT	ΔQ _x , kBT
			B	C	H						
ВРТДНУ-120000/35/35	120	АТДЦТГ-120000/330/121	330	121	38,5	11,3	142	33	3,3	33	3 960
		АТДЦТГ-120000/220/121	220	121	38,5	11,3	—	—	—	—	—
		АТДЦТГ-180000/220/121	230	121	11	12,6—0—12,8	147	38	4,4	38	7 920
ВРТДНУ-180000/35/35	180	АТДЦТГА-180000/220/121	242	121	6,3	11,6—0—11,7	123	36	4,4	36	—
		АТДЦТГ-180000/220/121	230	121	38,5	14,0—0—14,2	163	38	4,4	38	—
		АТДЦТГ-240000/220	230	121	11	10,9—0—10,9	154	40	3,8	40	9 120
		АТДЦТГ-240000/330	330	165	11	11,8—0—11,8	183	40	3,8	40	—
		АТДЦТГ-240000/330	330	242	11	10—0—10,1	85	30	4,0	30	9 600
		АТДЦТГ-240000/330	330	165	40,4	13,5—0—13,2	210	40	3,8	40	9 120
ВРТДНУ-240000/35/35	240	АТДЦТГ-240000/330	347	242	11	12,8—0—13	132	29	3,8	29	—
		АТДЦТГ-240000/220/121	230	121	38,5	11,1—0—11,3	178	47	3,8	47	—
		АТДЦТГ-240000/330/220	347	242	38,5	13—0—13,5	132	29	3,8	29	—
ВРТДНУ-270000/35/35	270	3×АОДЦТГ-90000/ $\frac{500}{\sqrt{3}}$	500	110	11	11,7—0—11,7	165	40	3,8	40	10 260
ВРТДНУ-360000/35/35	360	2×ТДЦТГА-180000/220	242	121	18	15,56—0—14,85	275	40	3,8	40	13 680
ВРТДНУ-405000/35/35	405	3×АОДЦТГ-135000/ $\frac{500}{\sqrt{3}}$	500	242	38,5	—	180	50	4,25	50	17 212
		3×АОДТГ-135000/ $\frac{500}{\sqrt{3}}$	500	242	11	—	180	—	—	—	—

Bellik: Katalog we hasap ululyklary U_{nom} we ötüji kuwwat ululylyna getirilen. Çatjyyny 1 we 23 ýagdaýy napryženiýäniň max we min ululygyny üpjün edýär, ±10·1,5% U_{nom}: 11-13-nul ýagdaýy.

Edebiýat

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetiniň, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Блок В.М. «Электрические сети и системы», М., 1986.
11. Боровиков В.А., Косарев В.К., Ходот Г.А. Электрические сети и системы. М., 1978.
12. Глазунов А.А. Электрические сети и системы, М., 1960.

13. Мельников А.А. Электрические сети и системы, М., 1975.
14. Электрические системы, Т2, Электрические сети, М., 1971, под редакцией В.А.Веникова.

Mazmuny

	SÖZBAŞY	7
	GIRIŞ	9
	B I R I N J I B A P ELEKTRO-ENERGETIKA DÜZÜMLERİ	11
§ 1-1	Elektroenergetik ulgamlary we geçirijileri	11
§ 1-2	Elektrik ulgamlarynda energiýany kabul edijiler hem-de sarp edijiler barada umumy düşünjeler	25
§ 1-3	Elektrik ýükleri we olaryň aýratynlyklary	34
§ 1-4	Elektrik ýükleriniň esasy häsiýetleri we sete goýulýan talaplar	41
§ 1-5	Howa hem-de kabel liniýalarynyň aktiw we induktiw garşylygy	47
§ 1-6	Rayon we ýerli setleriň parametrleriniň häsiýetli gatnaşyklary hem-de olaryň ýönekeýleşdirilen orunçalyşma sudurlary	53
§ 1-7	Transformatorlaryň orunçalşyрма sudury	58
§ 1-8	Awtotransformatorlar	63
§ 1-9	Awtotransformatorlaryň orunçalşyрма sudury, parametrleri we ýitgisi	69
	I K I N J I B A P ELEKTRO-ENERGIÝA GEÇIRILIŞINDE ESASY NUKDAÝ NAZARLAR	76
§ 2-1	Elektrik setiniň iş durkuny kesgitleýji esasy deňlemeler	76
§ 2-2	Elektrik setiň liniýasynyň oruntutma sudury we wektor diagrammasy	87
§ 2-3	Elektrik geçirilişde kuwwatyň aýlaw diagrammasy we onuň burç häsiýetnamalary	95
	Ü Ç I N J I B A P TOK GEÇIRIJI SIMLERİ SAÝLAP ALMAGYŇ ESASLARY	105
§ 3-1	Iki simli liniýa	105

§ 3-2	Üç fazaly liniýada potensial ýitginiň hasaby	109
§ 3-3	Elektrik liniýalarynda kuwwat ýitgisi	114
§3-4	Liniýalarda energiýa ýitgisi	118
§ 3-5	Sim ýogynlygyny kesgitleme	125
§ 3-6	Sim ýogynlygyny az metal harçlama şertine laýyklyk	128
§ 3-7	Simiň ýogybnlygyny az energiýa ýitgisine garap kesgitleme	131
	DÖRDÜNJI BAP SET TASLAMALARYNDA YKDYSADY NUKDAÝ NAZAR	135
§ 4-1	Elektrik setlerini gurnamakda tehnikykdysady hasaplamalar	135
§ 4-2	Elektrik energiýanyň kesilmeginden çekilýän tehnikykdysady zyýan	140
§ 4-3	Ykdysady taýdan maksada laýyk sim ýogynlygyny saýlap almak	146
§4-4	Simiň gyzyş şertine saýlanyp alynmagy	153
§ 4-5	Elektrik sarp edijileri we seti goraýjy apparatlaryň alynyşy	155
§4-6	Reaktiw kuwwatyň öwezini dolma	158
§ 4-7	Kondensator enjamlary BÄŞINJI BAP SETIŇ IŞ DURKUNYŇ HASABY	163 169
§ 5-1	Esasy ýönekeýleşdirmeler	169
§ 5-2	Açyk setleriň iş durkunyň hasaby	171
§ 5-3	Açyk ýerli setiň hasaby	182
§ 5-4	Halka setiň iş durkunyň hasaby	185
§ 5-5	Potensiallary deň bolmadyk çeşmelerden ikitaraplaýyn iýmitlendirilen liniýalaryň iş durkunyň hasaby	191
§ 5-6	Seti özgertme usuly bilen çylşyrymly setleriň hasaby ALTYNJY BAP BIRNÄÇE NOMINAL POTENSIALLY SET	194

	BIRLEŞMELERİNİN İŞ DURKUNYŇ HASABY	212
§ 6-1	Parametleri getirme usuly	212
§6-2	Elektrik setiniň iş durkunyň sazlygy	219
§ 6-3	Reaktiw kuwwatyň deňagramlylygy (balansy)	222
§6-4	Elektrik setlerinde reaktiw kuwwat çeşmeleri	224
§ 6-5	Elektrik setiniň iş durkunyň sazlygy	233
§ 6-6	Elektrik setiň we ulgamynyň iş durkunyň optimallaşdyrma meseleleri	239
	Goşmaça 1.	250
	Edebiýat	266