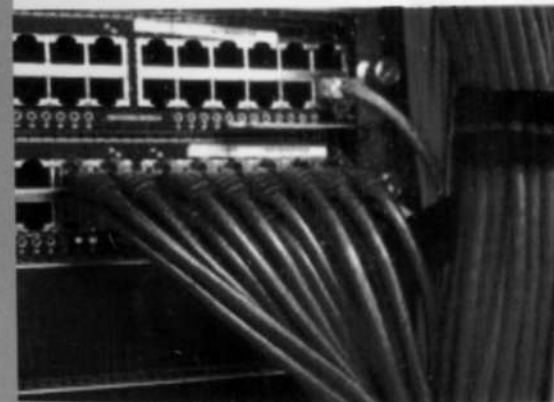




«TAFAKKUR BO'STONE»
NASHRIYOTI



ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI



Toshkent – 2013

621.3(075) y/4418	
C-34	Safarov A. M.
Elektr tarmoqlari va tizimlari	
T:2013	15760 s

621.3/075/
C-34

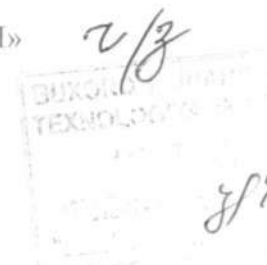
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

A.M. Safarov T.Sh. G'oyibov
A.X. Sulliyev

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim
vazirligi 5310200 – „Elektroenergetika“ ta'lim
yo'nalishi talabalari uchun o'quv
qo'llanma sifatida tavsiya etgan*

«TAFAKKUR BO'STONI»
TOSHKENT-2013



UO'K:621.3.(075)

KBK 31.279 ya 73

C-34

Safarov A.M.

Elektr tarmoqlari va tizimlari: o'quv qo'llanma /A.M. Safarov
T.Sh. G'oyibov A.X. Sulliyev O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta
maxsus ta'lim vazirligi. Toshkent: Tafakkur bo'stoni. 2013-224 b.

KBK 31.279 ya 73

Taqrizchilar:

X.M. Muratov – ORGRES «OAJ Es boshlig'i»
texniki fanlari doktori professor.

I.X. Siddiqov – ToshDTU «Elektr tarmoqlari, tizimlari va
stansiyalari» kafedrası dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

O'quv qo'llanmada elektr tarmoqlari va tizimlari, elektr tarmoq lini- yalari tuzilishi, elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isroflari, elektr tarmoqlarnitexnik-iqtisodiy hisoblash asoslari, elektr tarmoqlarni loyihalash, elektrlashgan temir yo'l tortuvchi va notortuvchi yuklamalari elektr ta'minoti yoritilgan. Elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlari va elektr energiyasi iste'moli energetik balansi tahlili, shuningdek, elektr tarmoqlari va tizimlarida energiya tejovchi tadbirlar, iste'mol qilinayotgan elektr energiyasiga o'rnatilgan ta'riflarning turlari keltirilgan.

Mazkur o'quv qo'llanma oliy o'quv yurti talabalari uchun mo'ljallangan. bo'lib undan shu sohada faoliyat yuritayotgan mutaxassislar ham foydalanishlari mumkin.

ISBN-978-9943-42-37-9-4

© «TAFAKKUR BO'STONI»,
nashriyoti, 2013-y

KIRISH

Elektr (elektr energiyasi)ning hozirgi zamondagi ahamiyatini baholash juda mushkul; hayotimizni va har bir inson hayotini – ishlab chiqarishdami, biznesdami, turmushdami elektrsiz tasavvur qilish mumkin emas.

XX asrda sodir bo'lgan ilmiy-texnika taraqqiyotning ikki muhim yo'nalishini ko'rsatish mumkin.

Bu – odamning jismoniy energiyasini energiyaning boshqa turlari (asosan elektr energiyasi) bilan to'la almashtirish va jarayonlarni avtomatlashtirish yordamida odamlarni andazalangan operatsiyalardan (jismoniy va aqliy mehnatlardan) ozod qilish. Shuning uchun, vatanimiz xalq xo'jaligining barcha sohalaridagi ilmiy-texnika taraqqiyoti energetika va avtomatika bilan aniqlanadi. Energetikaning rivojlanishi elektr energiyasini ishlab chiqarishni uzluksiz ko'paytirish bilan bog'liqdir. Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va undan foydalanish qulay bo'lganligi sababli hozirgi davrda u insonlar tomonidan eng ko'p foydalaniluvchi asosiy energiya turidir.

Bir odamning muskul (mushak) quvvati taxminan 50 W ga teng bo'lib, u bir yil davomida taxminan 100 W·soat elektr energiyaga teng bo'lgan ish bajarishi mumkin. Hozirgi davrda O'zbekiston Respublikasida bir yil davomida ishlab chiqariluvchi elektr energiyaning bir odam uchun to'g'ri keluvchi miqdori taxminan 2000–2500 W·soatni tashkil etadi. Har bir mamlakatda xalq xo'jaligining rivojlanganlik va kishilarning farovon yashash darajasi unda qanchalik ko'p miqdorda elektr energiya ishlab chiqarilayotganligi va undan qanchalik darajada samarali foydalanilayotganligi bilan belgilanadi. Buni AQSH, Shvetsiya, Norvegiya, Olmoniya va boshqa rivojlangan mamlakatlar misolida ko'rish mumkin.

1 kW·soat energiya miqdorining ma'nosini tushunish uchun

uning yordamida qancha miqdorda ish bajarish mumkinligi bilan tanishib o'tamiz. Uning yordamida 1,5 kg po'latni eritish, 30 kg ko'mir qazib olish, 36 kg non yopish, 30 ta jo'ja chiqarish mumkin.

O'zbekiston energetikasining rivojlanish tarixi. 1914-yilda Turkiston energetika xo'jaligining quvvati 20 ming o.k.(ot kuchi) dan ortiqroq bo'lib, mavjud 51 ta elektr stansiyalardagi umumiy elektr motorlarining soni 500 tadan oshmas edi.

1917-yilga kelib hozirgi O'zbekiston hududidagi elektr stansiyalarning umumiy quvvati 3 ming kW ni tashkil qilib, bir yilda 3,3 mln. kW.soat elektr energiyasi ishlab chiqarilgan edi.

O'zbekiston energetikasi taraqqiyotida Turkiston o'lkasini elektrlashtirish rejasining tuzilishi qatta ahamiyat kasb etdi. 1923-yil Toshkent chekkasidagi Bo'zsuv kanalida gidroelektr stantsiyasi (GES) qurilishi boshlandi. 1926-yil O'zbekiston energetikasida birinchi – o'sha vaqtda O'rta Osiyoda eng katta bo'lgan 2 ming kW quvvatli Bo'zsuv GESining birinchi navbati ishga tushirildi.

O'zbekiston energetika tizimi tuzilgan paytda (1934-y.) Respublikada elektr energiyasi quvvatining o'sishi asosan Chirchiq-Bo'zsuv yo'nalishidagi umumiy quvvati 180 ming kW bo'lgan ketma-ket qurilgan gidroelektr stansiyalari hisobiga to'g'ri keldi.

1939-yilda Qizilqiya ko'mir havzasi negizida Quvasoy Davlat hudud elektr stansiyasi (DRES) ning 12 MW quvvatli kondensatsion turbina agregati va Toshkent to'qimachilik kombinati issiqlik elektr stansiyasining 6 MW quvvatli ikkita turbinasi ishga tushirildi.

Elektr stansiyalarining qurilishi va sanoat korxonalarining rivojlanishi magistral elektr tarmoqlarini qurish zaruratini keltirib chiqardi. Qodir GES ining ishga tushirilishi bilan bir vaqtning o'zida Respublikada birinchi bo'lib undan Toshkentga elektr energiyasini uzatuvchi 35 kV kuchlanishli ikki zanjirli liniya foydalanishga topshirildi.

1939–1940-yillarda 110 kV kuchlanishli havo liniyalari Quvasoy DRESini Andijon shahri bilan, Tavoqsoy GESini Chirchiq shaxri bilan bog'ladi.

Vatan urushi yillarida Toshkent atrofini bog'lovchi 35 kV

kuchlanishli halqasimon havo liniyasi qurib bitkazildi, shimoliy sanoat hududini elektr energiya bilan ta'minlash uchun katta quvvatli "Severnaya" nimstansiyasi qurildi.

1943-yil Sirdaryo daryosida qurila boshlagan 125 ming kW quvvatli Farxod GESi kimyo sanoatini rivojlantirish va sug'oriladigan yerlarni suv bilan ta'minlash imkonini berdi. O'zbekiston va qo'shni respublikalarning 700 ming gektardan ortiqroq yerlarini o'zlashtirishga imkon beruvchi suv to'g'onlari qurildi. Angren ko'mir havzasining o'zlashtirilishi ikkita issiqlik elektr stansiyasi – 600 ming kW quvvatli Angren DRES va Olmaliq issiqlik elektr markazi (IEM)ni qurishga asos bo'ldi.

1972-yil Sirdaryo DRESida O'rta Osiyoda birinchi eng katta kritik parametrlarda (bug' bosimi 240 atm., temperaturasi 545°C) ishlovchi 300 MW quvvatli energetika bloki ishga tushirildi. Hozirgi paytda Sirdaryo DRES ining 10 ta shunday quvvatli bloklari ishlamoqda.

Hozirgi paytga kelib o'rnatilgan uskunalar quvvatlarining yig'indisi 11,0 mln. kW bo'lgan 37 ta issiqlik va suv elektr stansiyalarini o'z ichiga olgan O'zbekiston energetika tizimi asosini yirik elektr stansiyalari, shu jumladan, Sirdaryo (8,0 mln. kW), Toshkent (1,86 mln. kW), Yangi-Angren (1,8 mln. kW) va Navoiy (1,25 mln. kW) issiqlik elektr stansiyalari tashkil etadi. Ushbu elektr stansiyalarda birlik quvvati 150 dan 300 ming kW bo'lgan 30 dan ortiq zamonaviy energetika bloklari o'rnatilgan. Loyiha quvvati 3,2 mln. kW va energetika blokining birlik quvvati 800 ming kW bo'lgan Markaziy Osiyoda eng katta Tolimarjon issiqlik elektr stansiyasining qurilishi davom etmoqda.

Gidroelektr energetikasi O'zbekiston Respublikasi energetika vazirligi tizimidagi bir nechta unchalik katta bo'lmagan quvvatli GES kaskadlari bilan belgilanadi. Bulardan O'rta-Chirchiq GESlar kaskadi tarkibiga kirib, suv omborlariga ega bo'lgan 600 ming kW quvvatli Chorvoq va 165 ming kW quvvatli Xojikent GESlari asosan quvvat balansini rostlovchi stansiya sifatida faoliyat ko'rsatadi. Qolgan GESlarning ish holatlari esa havzadan oqib o'tavchi suv miqdori bilan belgilanadi.

O'zbekiston energetika tizimi Turkmaniston, Tojikiston, Qirg'iziston va Janubiy Qozog'iston energetika tizimlari bilan tutashgan bo'lib, Markaziy Osiyo xalqaro Birlashgan energetika tizimining tarkibiy qismi hisoblanadi.

Ko'p miqdorda ishlab chiqariluvchi elektr energiyani masofaga samarali uzatish va iste'molchilarga taqsimlash turli kuchlanishdagi elektr uzatish liniyalaridan foydalanishni taqozo etadi. Hozirgi davrda O'zbekiston Respublikasidagi barcha nominal kuchlanishli elektr uzatish liniyalarining umumiy uzunligi taxminan 220 ming km bo'lib, 500 kV kuchlanishli liniyalar 1,6 ming km, 220 kV kuchlanishli liniyalar 4,6 ming km va 0,4–10 kV kuchlanishli liniyalar 170 ming km ni tashkil etadi.

Energetika tizimi – elektr va issiqlik tarmoqlari yordamida o'zaro tutashib, umumiy ish holatiga ega bo'lgan elektr va issiqlik stansiyalari, nimstansiyalari va iste'molchilari majmuyidir.

Elektr va issiqlik energiyasini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va ularni iste'mol qilishni samarali tashkil etish uchun energetika tizimini hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Energetika tizimi quyidagi bir qator afzalliklarga ega.

Yuqori ishonchlilik. Tizimning biror elementi (generator, transformator, liniya va h.k.) shikastlansa, uning vazifasini boshqa – ishdan chiqmagan elementlar bajarishi natijasida iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzluksizlik saqlab qoladi. Shuningdek, muayyan hududda elektr energiya tanqisligi kuzatilgan holatda talab etiluvchi qo'shimcha quvvat alohida hududlardagi tizimlarni tutashtiruvchi uzatish liniyasi orqali yetkazib beriladi.

Yuklama maksimumlarining bir xil vaqtga to'g'ri kelmaganligidan foydalanish. Birlashgan energetika tizimining faoliyat ko'rsatish masshtabi katta bo'lgan hollarda turli hududlardagi iste'molchi yoki energetika tizimlari yuklamalarining maksimal qiymatga erishish vaqtlari turlicha bo'lishi mumkin.

Bunday hollarda birlashgan energetika tizimining umumiy yuklama grafigi nisbatan tekislanishi natijasida qo'shimcha samaraga erishiladi.

Quvvat zaxirasini kamaytirish. Quvvatni alohida hududlardagi energetika tizimlarini tutashtiruvchi liniyalar orqali bir energetika tizimidan boshqasiga uzatish mumkinligi sababli alohida energetika tizimlaridagi zaxira quvvatlarini minimumgacha kamaytirish imkoniyati paydo bo'ladi.

Energetika tizimi holatini optimallashtirish imkoniyatlarining kengayishi. Energetika tizimi yuklamasini ko'plab turli tavsiflarga ega bo'lgan elektr stansiyalari o'rtasida samarali taqsimlash, tizim elementlarining samarali yuklanishlarini ta'minlash imkoniyatlari ortadi.

Mohirona foydalanish mumkinligi. Elektr tarmoq elementlarini tez ulash yoki uzish va ularni ta'mirlash imkoniyatlari paydo bo'ladi.

Yirik agregatlardan foydalanish mumkinligi. Energetika tizimida o'rnatiluvchi agregatlarning maqsadga muvofiq bo'lgan eng katta quvvati tizimning umumiy yuklamasi bilan belgilanadi. Shu sababli kichik tizimlarda foydalaniluvchi agregatlarning quvvatlari ham nisbatan kichikdir. Tizimning kattalashishi bilan unda foydalaniluvchi agregatlarning quvvatlarini oshirish imkoniyati paydo bo'ladi.

Boshqa tomondan, katta quvvatli bitta agregatni qurish va undan foydalanish xarajatlari umumiy quvvati unga teng bo'lgan bir nechta agregatlarni qurish va foydalanish xarajatlariga nisbatan kichikdir. Elektr energetika tizimlari va ularning elementlarini loyihalash, montaj qilish va foydalanish ishlari bilan shug'ullanuvchi yosh mutaxassislar quyidagilarni bilishlari lozim:

- elektr tarmoq elementlarining almashtirish sxemalarini qurish va hisob parametrlarini topish;
- elektr tarmoqlari holatlarini hisoblash;
- elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish jarayonida yuz beruvchi hodisalarning fizik ma'nosi;
- elektr energetika tizimlari holatlari va parametrlarini boshqarish va rostdash;
- elektr tarmoqlarini loyihalash.

I. ELEKTR TIZIMI VA TARMOQLARI TO'G'IRISIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR.

1.1. Elektr tarmog'i va tizimlarining tuzilmasi. Asosiy tushuncha va ta'riflar

Elektr energetika (yoki elektr) tizimi – elektr tarmoqlari yordamida o'zaro tutashib, umumiy ish holatiga ega bo'lgan elektr stansiyalari, nimstansiyalari va iste'molchilari majmuyidir.

Elektr tarmoqlari elektr tizimining bir qismi bo'lib, elektr energiyasini manbadan iste'molchilarga uzatish hamda ular orasida taqsimlash uchun xizmat qiladi. Ular elektr uzatish liniyalari, nimstansiyalar va taqsimlash punktlaridan tashkil topgan.

Elektr energetika tizimi bajaruvchi vazifasi bo'yicha ikki xil – o'zgartiruvchi va uzatuvchi elementlardan iborat. O'zgartiruvchi elementlar yordamida energiya bir turdan ikkinchi turga o'zgartirilsa, uzatuvchi elementlar (havo va kabel liniyalari) yordamida esa masofalarga uzatiladi.

Elektr energiyasini elektr stansiyalardan umumiy yuklamagacha uzatish har xil kuchlanishli elektr liniyalari yordamida amalga oshiriladi.

Ko'p miqdordagi elektr energiyasini nisbatan uzoq masofalarga faqat yuqori kuchlanishli liniyalar orqali uzatish iqtisodiy jihatdan samaralidir. Kuchlanishni oshirish va kamaytirish uchun o'zgartiruvchi kuch transformatorlari xizmat qiladi.

Nimstansiya (NS) - elektr energiyasini o'zgartirish va taqsimlashga mo'ljallangan elektr obyekti bo'lib, u transformatorlar, taqsimlovchi uskunalar, boshqarish uskunalari va yordamchi qurilmalardan iboratdir.

NSlar kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi bo'lishi mumkin. Kuchaytiruvchi NSda elektr energiya past kuchlanishdan yuqori

kuchlanishga o'zgartirilsa, pasaytiruvchi NSda buning aksi – u yuqori kuchlanishdan past kuchlanishga o'zgartiriladi. Elektr energiyasini qabul qilish va uning kuchlanishini o'zgarmasdan taqsimlashga mo'ljallangan nimstansiyalar taqsimlovchi punktlar (TP) deb yuritiladi.

Elektr tarmoqlari bajaruvchi vazifasi, nominal kuchlanishi, sxemasi, iste'molchilarning xarakteri bo'yicha turlarga ajratiladi.

Bajaruvchi vazifasi bo'yicha elektr tarmoqlari taqsimlovchi, ta'minlovchi va tizimni hosil qiluvchi tarmoqlarga bo'linali.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari elektr iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoqlarning nimstansiyalari bilan tutashtirib, asosan 35 kV gacha nominal kuchlanishda ishlaydi.

Ta'minlovchi elektr tarmoqlari taqsimlovchi elektr tarmoqlarni (ayrim hollarda, bevosita iste'molchilarni) elektr stansiyalari yoki tizimni hosil qiluvchi tarmoqlar bilan tutashtirib, asosan 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlaydi.

Tizimni hosil qiluvchi elektr tarmoqlari alohida hududlardagi elektr energetika tizimlarini o'zaro tutashtirib, birlashgan tizimni vujudga keltirish uchun xizmat qiladi. Ular asosan 330 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlaydi.

Nominal kuchlanishi bo'yicha elektr tarmoqlari 1kV kuchlanishdagi past, 1 kV – 220 kV kuchlanishdagi yuqori va 330 kV va undan yuqori kuchlanishdagi o'ta yuqori kuchlanishli tarmoqlarga bo'linadi.

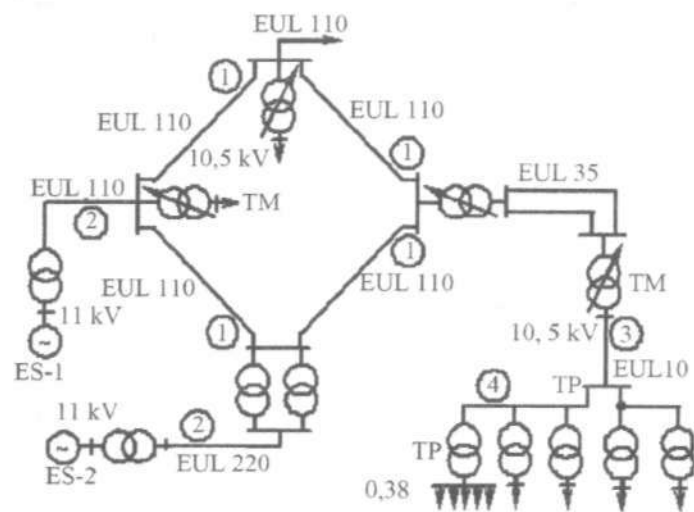
Sxemasi bo'yicha elektr tarmoqlari ochiq va yopiq (berk) elektr tarmoqlarga bo'linadi.

Konturga ega bo'lmagan va barcha iste'molchilari faqat bir tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i ochiq elektr tarmog'i deb yuritiladi.

Konturga ega bo'lgan yoki konturga ega bo'lmasada ikki va undan ortiq tomondan ta'minlanuvchi tugunga ega bo'lgan elektr tarmog'i yopiq elektr tarmog'i deyiladi.

Iste'molchilarining xarakteri bo'yicha elektr tarmoqlari shahar, qishloq xo'jaligi, sanoat elektr tarmoqlariga bo'linadi.

1.1- rasmda xarakterli elektr energetika tizimining elektr tarmoqlari sxemasi keltirilgan.



1.1-rasm. Energetika tizim elektr tarmog'ining shartli sxemasi.

Elektr energiyasi elektr stansiyalari (ES)dan yuklama markazlariga bevosita ta'minlovchi elektr tarmoqlarini tashkil etuvchi elektr uzatish liniyalari (EUL) 1 yoki ta'minlovchi, qabul qiluvchi transformator podstansiyalari va ularni bog'lovchi elektr uzatish liniyalari 2 orqali uzatiladi. Elektr energiya bilan ta'minlashda ishonchlilikni oshirish maqsadida ko'pgina hollarda taqsimlovchi elektr tarmoqlari yopiq shaklda bo'ladi.

Qabul qiluvchi podstansiyalar asosan kuchlanishni yuklama ostida rostlash (YuOR) qurilmasiga ega bo'lgan transformatorlardan tashkil topgan bo'lib, ular taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi (TM) sifatida xizmat qiladi. Ta'minlash markazidan elektr energiyasi taqsimlash punktlariga uzatiladi va shu kuchlanishda elektr uskunalari orasida taqsimlanadi yoki transformator podstansiyalariga uzatiladi. Ko'rilayotgan holatda uzatilgan elektr

energiya transformatorlarda past kuchlanishga o'zgartirilib, alohida iste'molchilar o'rtasida taqsimlanadi. Uzunligi davomida elektr energiyani, TM dan TP ga yoki to'g'ridan to'g'ri podstansiyaga uzatuvchi EUL 3 ta'minlovchi, uzunligi davomida bir necha transformator podstansiyalari yoki iste'molchi uskunalari ulangan EUL 4 taqsimlovchi EUL hisoblanadi.

Iste'molchilarni ta'minlash sxemasi energiya manbayining uzoqligi, berilgan hududning elektr bilan ta'minlanish sxemasi, iste'molchilar joylashgan hudud, ularning quvvati, elektr energiya bilan ta'minlashning ishonchliligi va boshqa bir nechta qo'yilgan talablarga bog'liq holda tanlanadi.

Tarmoqning tuzilmasi va sxemasini qabul qilish juda murakkab ish bo'lib, u ishonchlilik, tejamkorlik, ishlatishdagi qulaylik, xavfsizlik va keyinchalik rivojlantirish imkoniyati talablariga javob berish shartidan kelib chiqib amalga oshiriladi. Tarmoqning tuzilmasi elementlarning (ES, NS, liniyalar) o'zaro joylashuvi, tarmoq sxemasi esa – uning asosiy qurish rejasi, iste'molchilarning elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi ishonchlilik darajasi bo'yicha toifalari bilan aniqlanadi.

Elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi ishonchlilik darajasi bo'yicha iste'molchilar uch toifaga bo'linadi.

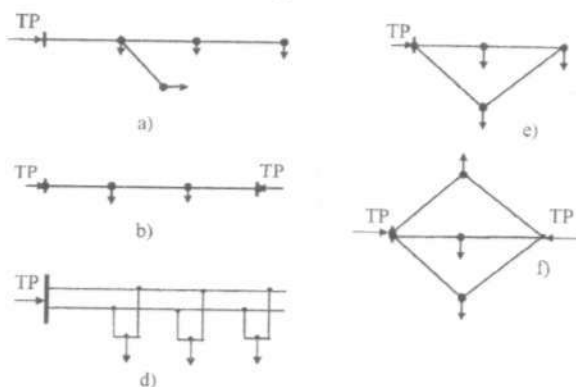
1-toifali iste'molchilar elektr energiyasi bilan ikkita bir-biri bilan bog'lanmagan ta'minlash manbalaridan alohida liniyalar orqali ta'minlanishi lozim. Elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilishga ruxsat etiladigan maksimal vaqt davomiyligi faqat zaxiralangan ta'minotni avtomatik ulash vaqtiga tengdir.

Ko'pgina hollarda ikki zanjirli bitta liniya talab etilgan ishonchlilikni ta'minlay olmaydi, chunki liniyaning muz bilan qoplanganligi, shamol va shunga o'xshash tabiiy hodisalar ta'sirida tayanchning shikastlanishi energiya ta'minotining butunlay uzilib qolishiga olib kelishi mumkin.

2-toifa iste'molchilarini ko'pgina hollarda ikkita alohida liniyalar yoki ikki zanjirli liniyalar orqali ta'minlash nazarda tutiladi. Bunday elektr iste'molchilari uchun elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi

uzilishga ruxsat etiladigan maksimal vaqt davomiyligi bir sutka davomida ikki soatni tashkil etadi. Shu sababli liniyaning shikastlanishini ta'mirlashni uzoq vaqtga cho'zmasdan amalga oshirish mumkin bo'lgan hollarda 2- toifa iste'molchilarini bitta bir zanjirli liniya orqali ta'minlashga ham ruxsat etiladi.

3-toifa iste'molchilari uchun energiya ta'minotini bitta liniya orqali amalga oshirish yetarli hisoblanadi. Bunday elektr iste'molchilari uchun elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi uzilishga ruxsat etiladigan maksimal vaqt davomiyligi 24 soatga teng. Zaxira sifatida qo'shimcha liniya yoki transformator pod-stansiyalariga ega bo'lgan elektr tarmog'i zaxiralangan, ega bo'lmagan elektr tarmog'i esa zaxiralanmagan elektr tarmog'i deb yuritiladi. 1 va 2- toifa iste'molchilarini ta'minlash bo'yicha yuqoridagi talablarga javob beruvchi sxema zaxiralangan, 3- toifa iste'molchilarini ta'minlash bo'yicha ko'rsatilgan talablarga javob beruvchi sxema esa zaxiralanmagan elektr tarmog'i hisoblanadi.

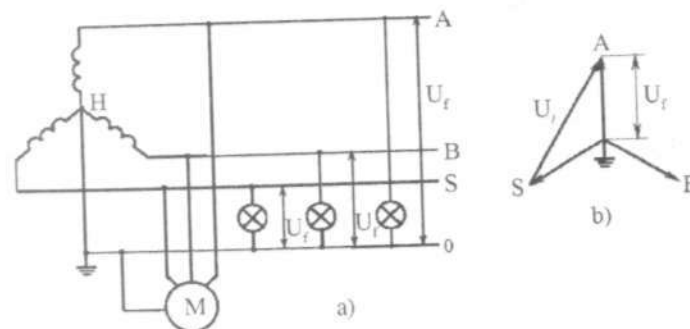


1.2-rasm. Elektr tarmoqlarning xarakterli bir chiziqli sxemalari (TP – transformatorli podstansiya):

Har bir hududda elektr iste'molchilarining toifalariga va elektr tarmoqning vazifasiga bog'liq holda uning sxemasi turlicha bo'ladi. 1.2- rasmda elektr tarmoqlarning xarakterli bir chiziqli sxemalari, ya'ni ochiq elektr tarmog'i (1.2- a rasm), ikki tomondan

ta'minlanuvchi elektr tarmog'i (1.2- b rasm), ikki zanjirli magistral elektr uzatish liniyasi (1.2- d rasm), sodda yopiq (halqasimon) elektr tarmog'i (1.2- e rasm) va murakkab yopiq elektr tarmog'ining (1.2- f rasm) bir chiziqli sxemalari tasvirlangan.

Elektr tarmoqlarini bu kabi tasvirlashda qulaylik uchun ularning bir chiziqli sxemalaridan foydalanilsada, ular uch fazali elektr tarmoqlari ekanligini nazarda tutish lozim. Uch fazali elektr tizimlari bizga ma'lum bo'lgan bir qator afzalliklarga ega bo'lganligi sababli elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilishda ulardan keng foydalaniladi. Ko'p hollarda past kuchlanishli uskunalarni elektr energiyasi bilan ta'minlash uch fazali to'rt simli tizimlar yordamida amalga oshiriladi. Bunda nol simi deb yuritiluvchi to'rtinchi o'tkazgich va uch fazali tizimning betaraf nuqtasi (N) yerga bevosita ulanadi (1.3- rasm).



1.3-rasm. Betaraf nuqtasi yerga bevosita ulangan uch fazali to'rt simli o'zgaruvchan tok tizimining sxemasi.

Nol o'tkazgichi faza kuchlanishlarida ishlovchi iste'molchilarni, jumladan keltirilgan sxemadagi kabi elektr yoritkichlarni, faza kuchlanishiga ulash va fazalar bir xil yuklanmaganida paydo bo'ladigan nosimmetriya toklarini tenglashtirish uchun ishlatiladi. Hamma fazalar bir xil yuklanganda nol o'tkazgichi orqali tok oqmaydi.

1.3-rasmdagi sxemani 380/220 V nominal kuchlanishda ishlatish maqsadga muvofiq, chunki bunda bir vaqtning o'zida liniya va faza kuchlanishlardan foydalanish qulaydir. Betaraf nuqtasi yerga bevosita ulanmagan uch fazali uch o'tkazgichli sxema asosan sanoatda, kuch yuklamalarini ta'minlash uchun 660/380 V nominal kuchlanishda qo'llaniladi.

Bir xil quvvat isrofi sharti ko'zda tutilganda, kuchlanish qancha yuqori bo'lsa, metall sarfi shuncha kam bo'ladi. Texnika havfsizligi shartlariga asosan hozirgi davrda 220 V dan yuqori kuchlanishda ishlovchi yoritish asboblari ishlab chiqarilmaydi. Faza kuchlanishlarida ishlovchi elektr iste'molchilari bevosita ulanmaydigan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda nul o'tkazgichi kerak bo'lmaydi va shu sababli ular uch o'tkazgichli qilib quriladi.

1.2. Elektr tizimi elementlarining nominal kuchlanishi. Kuchlanishni rostdlash tushunchasi

Texnik uskunalarni standartlash. Ma'lumki, texnikada seriyali ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'lmoqlik uchun uskunalarni standartlash, ya'ni ularni katta-kichiklik, massa, tok, kuchlanish yoki boshqa parametrlari bo'yicha bir necha turga bo'lib, ishlab chiqarish kerak. Texnikada hamma narsa standartlashtiriladi: kuchlanish (1.1-jadval), o'tkazgich va kabellarning kesim yuzasi, transformatorlarning quvvati, generatorlar va hokazo. Har qanday uskunalarni tanlashda ko'p hollarda kattaroq o'lchamlarga ega bo'lgan standart uskunalarni tanlanadi. Lekin ba'zan shunday hollar bo'ladiki (ko'pincha iqtisodiy tushunchalar bo'yicha), qachonki kattasini emas, balki yaqin qiymatni tanlash maqsadga muvofiqdir. Masalan, hisoblar bo'yicha kabelning kesim yuzasi 105 mm² bo'ldi. Qanday 95 mm² yoki 120 mm², kesim yuzasini tanlash kerak. Iqtisodiy hisoblar ko'rsatadiki, 95 mm² kesim yuzali kabelni tavsiya etmoq to'g'ri bo'ladi.

1.1-jadvalda past (220–660 V), o'rta (3–35 kV), yuqori (110–220 kV) va o'ta yuqori (330–1150 kV) kuchlanishli tarmoqlar uchun nominal va ish paytida bo'ladigan eng katta kuchlanishlar

keltirilgan. 3 va 150 kV lar yangi loyihalanayotgan tarmoqlar uchun iqtisodiy mulohazalarga asosan tavsiya etilmaydi.

1.1-jadval

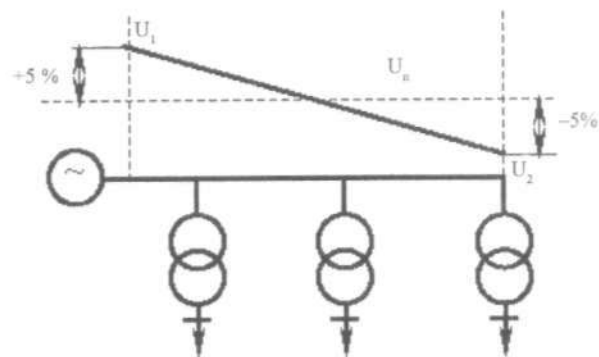
Tarmoqni va iste'molchilarning nominal kuchlanishi		Nominal liniya kuchlanishi			Elektr uskunalarini eng katta ish kuchlanishi
		Generator kuchlanishi	Transformator kuchlanishi		
			Birlamchi chulg'am	Ikkilamchi chulg'am	
Voltda					
220	127	220	220	220	242
330	220	400	380	400	418
660	480	660	660	690	726
Kilovoltida					
3	-	(3,15)	(3) va (3,15)	(3,15) va (3,3)	(3,6)
6	-	6,3	6 va 6,3	6,3 va 6,6	7,2
10	-	10,5	10 va 10,5	10,5 va 11	12
20	-	21	20 va 21	21 va 22	24
35	-	-	35 va 36,75	38,5	40,5
110	-	-	110 va 115	115 va 121	126
(150)	-	-	(150) va (158)	(153) va (165)	(172)
220	-	-	220 va 230	230 va 240	252
330	-	-	330	330 va 247	362
500	-	-	500	525	525
750	-	-	750	737	787
1150	-	-	1150	-	1200

Nominal kuchlanish. Elektr sistemasining uskunalari (generatorlar, transformatorlar, liniyalar va boshqalar) mo'ljallangan nominal kuchlanish bilan xarakterlanadi. Elektr energiya iste'molchilari va generatorlarning nominal kuchlanishi deb, ularni normal sharoitda ishlashi uchun mo'ljallangan kuchlanishi aytiladi.

Iste'molchilarning yuklamalari har doim o'zgarib turganligi tufayli tarmoqning kuchlanishi har bir nuqtada nominal qiymatdan

og'ib turadi. Ammo, elektr tarmoqlarining normal ish holatida elektr iste'molchilarga keltirilgan kuchlanish nominal qiymatidan og'ishi shart emas.

50 Hz li uch fazali tok sistemasi kuchlanishi nominal qiymatidan og'ishi (ГОСТ 721-77) $\pm 5\%$ dan katta bo'lmasligi kerak (ГОСТ 13109-87). Bu shuni bildiradiki, uzunligi davomida yuklama taqsimlangan tarmoqning boshidagi kuchlanishi U_1 (1.4 - rasm) nominal kuchlanish U dan 5% ga ortiq oshmasligi, U_2 - liniya oxiradagi kuchlanish esa U dan 5% pastga kamaymasligi kerak.



1.4-rasm. Tarmoq kuchlanishini o'zgartirish grafigi.

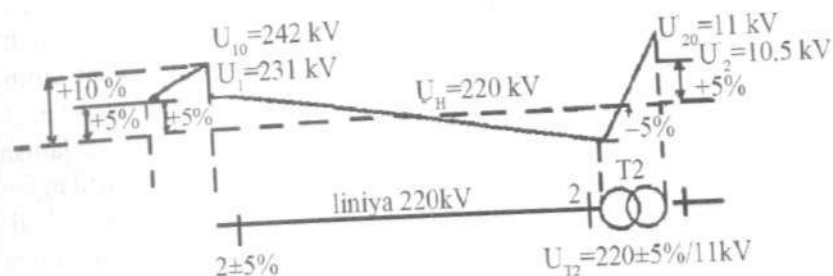
Tarmoqning nominal kuchlanishi deb, uning o'rtacha kuchlanishi qabul qilinadi:

$$U_n = \frac{U_1 + U_2}{2}.$$

Shunday qilib, tarmoqning nominal kuchlanishi elektr iste'molchilarining nominal kuchlanishiga tengdir. Generatorlarning nominal kuchlanishi tarmoqda bo'ladigan kuchlanish yo'qotilishini hisobga olib, tarmoq kuchlanishidan 5% ga oshiq qilib olinadi.

Transformatorlarning nominal kuchlanishi salt yurish holatida ularning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari uchun olinadi. Transformatorning birlamchi chulg'ami elektr energiyani qabul

qiladi va shuning uchun kuchaytiruvchi transformatorlarda nominal kuchlanish generatorning nominal kuchlanishiga (1.5-rasm), pasaytiruvchida esa tarmoqning nominal kuchlanishiga teng. U yoki bu kuchlanishli tarmoqni ta'minlovchi ikkilamchi chulg'amning kuchlanishi yuklama vaqtida, tarmoq kuchlanishidan 5% ga yuqori bo'lishi kerak.



1.5-rasm. Tarmoq ayrim nuqtalarida kuchlanishning o'zgarishi.

Ammo, yuklama ostida transformatorning o'zida ham kuchlanish yo'qolishi bo'lganligi sababli ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi (ya'ni salt ishlash kuchlanishi) tarmoq kuchlanishidan 10% ga yuqori holda olinadi.

Bu quvvati 630 kVA va undan kichik transformatorlardan tashqari hamma transformatorlarga tegishlidir. Bunday transformatorlar uchun esa ta'minlovchi tarmoqning kuchlanishi tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga yuqori holda olinadi. Buni tushuntirish uchun 1.5-rasmda ikki, 220 kV va 10 kV kuchlanishli tarmoq berilgan va uning uchashtalaridagi haqiqiy kuchlanishining grafik tasviri kattaroq aniqlik uchun bir bazis kuchlanishi U_b masshtabida keltirilgan. Kuchlanishni bir bazis kuchlanishi U_b ga keltirish uchun keltirilmoqchi bo'lgan kuchlanish U_b/U_n ga teng bo'lgan transformatsiya koeffitsientiga ko'paytiriladi. Punktir bilan o'tkazilgan gorizontall liniya butun tarmoqni U_b ga keltirilgan nominal kuchlanishni tasvirlaydi.

Kuchaytiruvchi transformator T-1 birlamchi chulg'amining

17 7/3
BUXORO MUHANDISLIK
TEKNOLOGIYA INSTITUTI
A R M
REESTR № 444
201

nominal kuchlanishi generatorning nominal kuchlanishiga teng (10,5 kV), ikkilamchi chulg'amning kuchlanishi $U_{10}=242$ kV bo'lib, transformator to'liq yuklangan paytida, uning qisqichlaridagi kuchlanish $U_f=231$ kV.

Bu esa tarmoq uchun uning nominal kuchlanishidan yuqori kuchlanishni ta'minlaydi. Pasaytiruvchi transformatorning birlamchi chulg'amining nominal kuchlanishi ta'minlovchi tarmoqning nominal kuchlanishiga teng bo'lishi kerak, ya'ni $U_2=220$ kV, uning ikkilamchi chulg'amining nominal kuchlanishi esa $U_2=11$ kV. Shunday qilib, transformator T-2 ning birlamchi chulg'amiga 220 kV kuchlanish berilganda, uning ikkilamchi chulg'amini qisqichlaridagi kuchlanish yuklama ta'sirida $U_2=10,5$ kV ga teng, ya'ni transformatorga ulangan 10 kV li tarmoqning nominal kuchlanishidan 5% ga yuqori bo'ladi.

Ammo, 1.5-rasmdan ko'rinadiki, T-2 ning birlamchi chulg'amiga uzatib berilgan kuchlanish $U_2=209$ kV ga teng, ya'ni tarmoqlardagi kuchlanish yo'qotilishi hisobiga nominaldan 5% ga pastdir.

Keltirilgan misoldan ko'rinib turibdiki, tarmoqning har xil nuqtalarida kuchlanish og'ishi tufayli kuchlanishni rostlash masalasi paydo bo'ladi.

Kuchlanishni rostlash tushunchasi. Elektr iste'molchilarni qisqichlaridagi kuchlanishni mumkin bo'lgan qiymatlaridan og'ishi tarmoqning ko'rsatkichlari pasayishiga olib keladi.

Energetika sistemasidagi elektr tarmoqlarining energiya o'tkazuv qobiliyati, iqtisodiyligi va iste'molchilarga yetkazib berilayotgan energiyaning sifati shu tarmoqlar kuchlanishining qiymatiga bog'liqdir. Elektr iste'molchilarini kerakli kuchlanish bilan transformatsiya koeffitsientini o'zgartirish, tarmoq elementlaridan oqayotgan reaktiv quvvat qiymatini, ayrim elementlar qarshiliklarini o'zgartirish kuchlanishning qiymati hisobiga ta'minlanishi mumkin.

Generatorlar yordamida kuchlanishni rostlash, generator imkoniyatiga ega bo'lgan kuchlanishni rostlash diapazoni oraliqida avtomatik qo'zg'atish rostlagichlari (AQR) yordamida amalga oshiriladi. Rostlash qonuniyatini eng afzal kuchlanishining qiymatiga holatini tanlashda texnik-iqtisodiy hisoblar asosida yoki juda yaqin

va juda ham uzoqdagi iste'molchilarning mumkin bo'lgan oxirgi yuklamalarini ko'rib chiqib aniqlash mumkin.

Transformatorlar (avtotransformatorlar)ga kuchlanishni rostlash transformatsiya koeffitsientini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi, buning uchun transformatorlar (avtotransformatorlar) ga o'ramlar sonini o'zgartirishga imkon beruvchi maxsus moslama o'rnatiladi. Bu uskunalarga bog'liq holda rostlashni yuklama ostida (yuklama ostida rostlash yu.o.r.), shuningdek yuklamani uzib ham (qo'zg'atkichsiz qayta ulash) amalga oshirish mumkin. Sinxron kompensatorlar asosan qo'shimcha reaktiv quvvat manbai sifatida ishlatishga mo'ljallangan, lekin ularni kuchlanishni rostlash uchun ham qo'llash mumkin.

Bu vazifani sinxron dvigatellar va statik kondensatorlar bajarishi mumkin, bunda ular ko'ndalangiga reaktiv quvvatni kompensatsiya qilib, manbadan iste'molchilarga oqayotgan reaktiv quvvatni kamaytiradi va buning hisobiga esa tarmoqdagi kuchlanish yo'qotilishi kamayadi. Sinxron dvigatellar avtomatik qo'zg'atish rostlovchi (AQR) bilan ta'minlangan bo'lsa, kuchlanishni rostlash uchun qo'shimcha vosita sifatida ishlatilsa bo'ladi. AQRning narxi qimmat bo'lganligi uchun kichik quvvatlik dvigatellarni kuchlanishni avtomatik rostlashda qo'llash maqsadga muvofiq emas. Qoidaga asosan, bunday dvigatellarni reaktiv quvvatni o'zgarmas miqdorda generatsiya qilishda ishlatish iqtisodiy foydalidir.

Statik kondensatorlar ko'ndalangiga ulangan rostlovchi kompensatsiya uskunalarida reaktiv quvvatni kompensatsiyalashdan tashqari mahalliy tarmoqqa kuchlanish rostlashini ham ta'minlaydi. Ular sinxron kompensatorlarga qaraganda kapital xarajatlar bo'yicha hamda ishlatish xarajatlari bo'yicha iqtisodiydir.

Statik kondensatorlarning tarmoqlarni bo'lib, orasiga ulash (ya'ni, bo'ylamaga ulash) tarmoqning reaktiv qarshiligini, demak kuchlanish yo'qotilishini kamaytirishga imkon beradi. Kuchlanish yo'qotilishini kamaytirish natijasida tarmoqning qabul qiluvchi qismida yuklama o'zgarganda ham kuchlanish og'ishi kamayadi.

Har qanday elektr tarmog'i, uning uskunolari (generator, transformator, liniya va boshqalar) mo'ljallangan nominal kuchlanish

(U_n) bilan ifodalanadi. Nominal kuchlanish iste'molchilarning normal ishlashini ta'minlashi va eng yuqori iqtisodiy samara berishi lozim. Iste'molchilar yuklamasining vaqt bo'yicha o'zgarishi sababli, tarmoqning har qanday nuqtasidagi kuchlanish nominal qiymatdan og'adi (1.6-rasm). Bu og'ish V energiya sifatini pasaytiradi, natijada ziyon keltiradi.

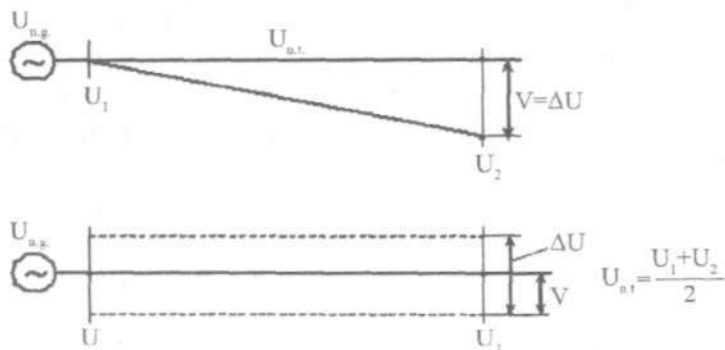
Ko'pincha, liniya boshidagi kuchlanish U_1 oxiridagi kuchlanish U_2 dan yuqori, chunki liniya orqali oqayotgan tok kuchlanish yo'qotilishini $\Delta U = U_1 - U_2$ hosil qiladi.

Shuning uchun iste'molchidagi kuchlanishni U_2 tarmoq kuchlanishining nominal qiymatiga U_n yaqinlashtirish va liniya oxirida energiya sifatini ta'minlash uchun generator kuchlanishi U_{ng} tarmoq kuchlanishiga U_n nisbatan 5% ga yuqori, transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi nominal kuchlanish esa

$$U_{n.s} = \frac{U_1 + U_2}{2}.$$

U_n ga nisbatan 5–10% ga yuqori (transformatorning o'zida taxminan 5% yo'qotiladi) olinadi.

Demak, tarmoq va iste'molchilarning nominal kuchlanishlari: 6, 10, 35, 110, 220, 500, 750 kV (O'zbekistonda 750 kV dan tashqari, hammasi ishlatiladi).



1.6-rasm Kuchlanish og'ishi va uni rostlash.

Generator va sinxron kompensatorlarning nominal kuchlanishlari: 6,3; 10,5; 22 kV. Transformatorlarning ikkilamchi chulg'amining nominal kuchlanishlari: 6,3 va 6,6; 10,5 va 11; 22; 38,5; 115 va 121; 230 va 242 kV.

Past kuchlanishli (1000 V gacha) tarmoqlarda fazalar orasidagi (surati) va fazali (maxraji) nominal kuchlanishlar quyidagicha qabul qilingan:

- tarmoq va iste'molchilar uchun – 220/127; 380/220; 660/380 V
- manbalar uchun – 230/133; 400/230; 690/400 V

220/127 va 230/133 kuchlanishlar iqtisodiy nuqtai nazaridan tavsiya qilinmaydi. Elektr iste'molchilarning qisqichlaridagi tugunlaridagi kuchlanishning mumkin bo'lgan qiymatlaridan og'ishi tarmoq ko'rsat-kichlarining pasayishiga olib keladi.

Energetika sistemasidagi elektr tarmoqlari kuchlanishining darajasiga shu tarmoqlarning energiya o'tkazuv qobiliyati, iqtisodiyligi va iste'molchilarga yetkazib berilayotgan energiyaning sifati bog'liqdir.

Elektr iste'molchilarinikeraklik kuchlanish bilanta'minlash generator kuchlanishini rostlash, transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirish, tarmoq elementlaridan oqayotgan reaktiv quvvat qiymatini va ayrim elementlar qarshiliklarini o'zgartirish hisobiga amalga oshirilishi mumkin.

Generatorlar yordamida kuchlanishni rostlash generator imkoniyatiga ega bo'lgan kuchlanishni rostlash diapazoni oralig'ida avtomatik qo'zg'atish rostlagichlari (AQR) yordamida amalga oshiriladi.

Transformatorlar (avtotransformatorlar) da kuchlanishni rostlash transformatsiya koeffitsientini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi, buning uchun ularga o'ramlar sonini o'zgartirishga imkon beruvchi maxsus moslama o'rnatiladi. Bu transformatorni o'chirib yoqish Yu.O.R. (yuklama ostida rostlash) uskunasi yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Yu.O.R. li transformatorlar Q.Q.U. lilarga nisbatan ancha qimmat bo'lgani uchun, ular asosan yuqori kuchlanishli taqsimlovchi

tarmoqlarni ta'minlaydigan qabul qiluvchi podstantsiyalarda qo'llaniladi. Sinxron kompensatorlar asosan qo'shimcha reaktiv quvvat manbai sifatida ishlatishga mo'ljallangan, lekin ularni kuchlanishni rostlash uchun ham qo'llash mumkin.

Bu vazifani sinxron dvigatellar va statik kondensatorlar bajarishi mumkin. Bunda, ular ko'ndalangiga reaktiv quvvatni kompensatsiya qilib, manbadan iste'molchilarga oqayotgan reaktiv quvvatni kamaytiradi va buning hisobiga esa liniyadagi kuchlanish yo'qotilishi kamayadi. Statik kondensatorlar sinxron kompensatorlarga qaraganda kapital xarajatlar hamda ishlatish xarajatlari bo'yicha arzonidir.

Statik kondensatorlarni liniyaga bevosita ulash (ya'ni, bo'ylama ulash) tarmoqning reaktiv qarshiligini, demak liniyada kuchlanish yo'qotilishini kamaytirishga imkon beradi.

1.3. Har xil kuchlanishli elektr tarmoqlarining betaraf nuqtasini ish holati.

Chulg'amlariga elektr tarmoqlari ulangan uch fazali transformatorlarning betaraf nuqtasi yerga ulangan (bevosita yoki sig'imiga moslashtirilgan induktiv qarshilik yoki transformatorlari orqali) yoki betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan bo'ladi. Agarda transformatorlar chulg'aming betaraf nuqtasi yerdagi ulash qurilmasiga to'g'ridan to'g'ri yoki juda kam qarshilik orqali ulangan bo'lsa, bunday betaraf nuqta bevosita yerga ulangan nuqta deyiladi. Transformator chulg'amiga ulangan tarmoq esa - betaraf nuqtasi bevosita yerga ulangan tarmoq deyiladi.

Betaraf nuqta yerdagi ulash qurilmasiga ulanmagan bo'lsa, yoki unga o'lchov kuchlanish transformatorlari orqali, yoki tarmoqning sig'im toklarini kamaytirishga (kompensatsiya qilishga) moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali ulangan bo'lsa, bunday betaraf nuqta yerdan izolatsiya qilingan nuqta deyiladi. Shu holatda ishlagan tarmoqlar esa betaraf nuqtasi yerdan izolatsiya qilingan tarmoqlarga tegishlidir. Betaraf nuqta

yerga tarmoqning sig'im toklarini kompensatsiya qiluvchi moslamalar orqali ulangan bo'lsa, bunday tarmoq betaraf nuqtasi kompensatsiyalangan tarmoq deyiladi.

Bir fazali yerga tutashuvda elektr tizimlarining simmetriyasi holati buziladi; yerga nisbatan fazalar kuchlanishi o'zgarib, yerga ulanish toki hosil bo'ladi va tarmoqlarda kuchlanishning o'zgarish holati paydo bo'ladi. Simmetriyaning o'zgarish darajasi betaraf nuqtaning holatiga, ya'ni uning yerga ulanish usuliga bog'liq.

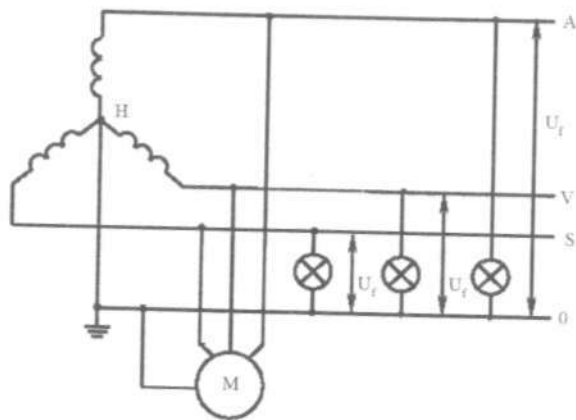
1000 V kuchlanishgacha bo'lgan elektr tarmoqlarida be-taraf nuqtaning holati elektr tarmoqlarida xizmat qiluvchi xodimlarning xavfsizligini ta'minlash bilan, yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida esa, uzluksiz elektr bilan ta'minlash, elektr qurilmalarining ishonchli va tejamkorligi bilan asoslanadi.

Bu masalani har xil kuchlanishli elektr tarmoqlari uchun ko'rib chiqamiz.

1000 V kuchlanishgacha bo'lgan elektr tarmoqlari. "Elektr uskunalarininig tuzilishi qoidolari" (EUTQ)ga ko'ra, 1000 V kuchlanishgacha bo'lgan elektr tarmoqlarida betaraf nuqtasi to'g'ridan to'g'ri yerga ulangan yoki ulanmagan (yerdan izolatsiya qilingan) bo'ladi.

Shuning uchun bu tarmoqlarning betaraf nuqtasi bevosita yerga ulangan (to'rt o'tkazgichli) yoki yerdan ajratilgan (uch o'tkazgichli) qilib bajarilgan bo'ladi. To'rt o'tkazgichli elektr tarmoqlarida kuchlanish 380/220 yoki 220/127 V (1.7- rasm) qilib belgilanadi, bunda surat liniya kuchlanishiga (elektr motorlarni ulash uchun), mahraj esa faza kuchlanishiga (yoritgich yuklamalari uchun) taalluqlidir. Elektr xavfsizligi uchun motorning korpusi va boshqa metall qismlar yerga ulanadi. Har bir fazaning yerga ulanishi qisqa tutashuvga olib keladi, shu fazadagi saqlagich kuyadi va tarmoqni shikastlanishdan saqlaydi.

Nol o'tkazgichsiz, uch fazali 220 V kuchlanishli elektr tarmoqlari ham bor. Bu tarmoqlarda betaraf nuqta yerdan izolatsiya qilingan bo'lib, faza o'tkazgichini yerga tegishi qisqa tutashuvga olib kelmaydi va iste'molchilarni elektr energiya bilan ta'minlanishi uzilmaydi.



1.7-rasm. Betaraf nuqtasi yerga bevosita ulangan uch fazali to'rt simli o'zgaruvchan tok tizimining sxemasi.

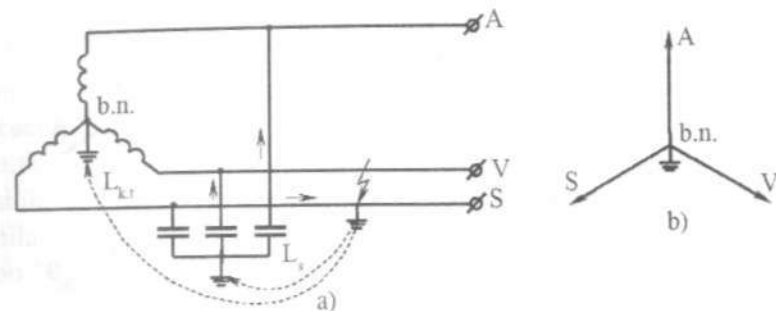
Bunday tarmoqlarda biror faza yer bilan ulanib qolsa, unda boshqa fazalardagi kuchlanish yerga nisbatan $\sqrt{3}$ marta oshadi (1.8-rasm). Bu esa ishlayotgan odamlar uchun havf keltiradi. Shuning uchun betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan elektr tarmoqlarda izolatsiyaning holatini doimo kuzatib turish va shikastlangan fazani tezda tuzatish yoki avtomatik ravishda uzish kerak.

Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlari. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida (1000 V dan yuqori) betaraf nuqta yerga ulangan, yerdan izolatsiya qilingan, yoki kompensiyalangan bo'ladi. Betaraf nuqtasi bevosita yerga ulangan elektr tarmoqlari yerga tutashuv toki (faza o'tkazgichi yerga tegib qolgan joydagi tok) juda katta bo'lgan ($I_{k.t.} > 500$ A) tarmoqlarga tegishli (1.8-rasm).

Haqiqatan ham, normal holatda tarmoqda yuklanish toklaridan tashqari uch fazali o'tkazgichlar orasida sig'im toklari I_c ham oqadi. Uch fazali sistema simmetriyali bo'lganda, $I_{c=0}$ va betaraf nuqta orqali tok oqmaydi.

Agarda bironta faza yerga ulanib qolsa (ko'pincha uchraydigan holat), masalan faza C, tok yerga ulangan joydan betaraf nuqtaga

oqadi (shtrixlangan liniya). $I_{q.t.}$ juda katta, chunki yerning tok oqishiga bo'lgan qarshiligi kichik. Shuning uchun faza o'tkazgichi - ning yerga, ulanib qolishi (tegib qolishi) betaraf nuqtasi bevosita yerga ulangan tarmoqlarida qisqa tutashuvga olib keladi va elektr tarmog'i saqlagich orqali uziladi.



1.8-rasm. Betaraf nuqtasi er bilan bevosita ulangan tarmoqning sxemasi (a) va uning vektor diagrammasi (b)

Bunda bir tarafdin ta'minlanayotgan avtomatik qayta ulash (AQU.) uskunasi ishlaguncha yoki shikastlangan joy tuzatilguncha elektr energiya bilan ta'minlanmaydi. Sig'imning qarshiligi juda katta bo'lganligi sababli shikastlangan sig'imga oqayotgan tok I_c qisqa tutashuv toki $I_{q.t.}$ ga nisbatan juda kichik va iste'molchilarga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatmaydi.

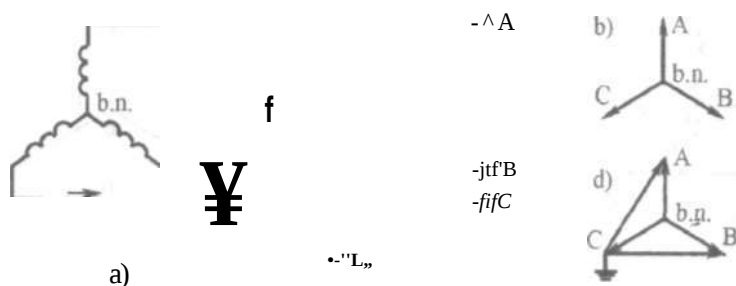
Betaraf nuqtasi yerdan izolatsiya qilingan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kichik bo'lgan elektr tarmoqlarga tegishli.

Biror faza yerga ulanib qolsa, masalan faza C, tok faza yer bilan tutashgan joydan shikastlanmagan fazalar sig'imiga va keyin tarmoqlardan betaraf nuqta orqali shikastlangan joyga oqadi (1.9-a rasm). Bu toklar katta emas. Biror fazaning yer bilan tutashuvi qisqa tutashuv bo'lmay, odatda, liniya uzilmaydi, iste'molchi ish holatida qolib, uni zaxiralangan ta'minotga o'tkazguncha, bir necha soat ishlab turishi mumkin.

1.9-b rasmda normal turg'un holat uchun vektor diagrammasi

ko'rsatilgan. Iste'molchi liniya kuchlanishga ulangan betaraf nuqta va yer potentsiallari simmetriyali sistemada barobar bo'ladi. Izolatsiyaga ta'sir ko'rsatadigan kuchlanish - bu faza va yer orasidagi kuchlanishdir.

Masalan, C fazasi yer bilan tutashdi. Iste'molchining kuchlanishi o'zgarmaydi, u liniya kuchlanishida qoladi.



1.9- rasm. Betaraf nuqtasi yerdan izolatsiya qilingan tarmoqning sxemasi (a), normal holatdagi vektor diagrammasi (b) va bir faza yer bilan tutashgan holatdagi vektor diagrammasi (d)

Biroq fazadagi kuchlanish oshadi. Haqiqatan, agarda normal holatda izolatsiya faza kuchlanishi ta'sirida bo'lsa (faza va yer orasi), faza C yer bilan tutashganda "yer" C nuqtaga suriladi (1.9-d rasm) va masalan, A faza va yer orasidagi kuchlanish liniya kuchlanishiga teng bo'ladi, ya'ni $\pi/3$ marta oshadi.

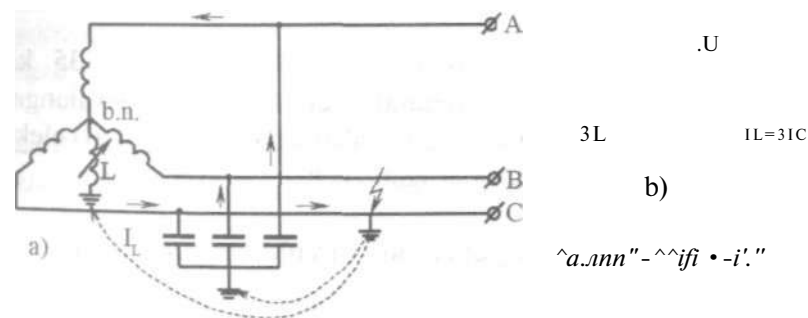
Shunday qilib, betaraf nuqtasi yerdan izolatsiya qilingan sistemada biror fazani yer bilan tutashuvi iste'molchini o'chirilishiga olib kelmaydi. Lekin izolatsiya $\pi/3$ marta kattaroq kuchlanishni ko'tarishga mo'ljallangan bo'lishi kerak.

Betaraf nuqtasi kompensatsiyalangan elektr tarmoqlari yerga ulanish toki kam bo'lgan elektr tarmoqlariga tegishlidir. Bunday elektr tarmoqlarining betaraf nuqtasiga yer bilan tutashgan yer so'ndiruvchi sig'im toklarini kompensatsiyalaydigan (qarama-qarshi yo'nalgan) elektr g'altagi joylashtiriladi (1.10-a rasm).

Simmetrik sistemada betaraf nuqta va yer potentsiali bir xil bo'lgani uchun g'altakka tok oqmaydi. U faqat faza sig'imlari orasida oqadi (ba'zan sig'imlarning bir xil emasligi tufayli $I \neq 0$ bo'ladi va uncha katta bo'lmagan tok g'altak orqali oqishi mumkin).

Biror fazaning yer bilan tutashuvi tufayli, betaraf nuqtasi verdan izolatsiya qilingan elektr tarmoqlaridagi kabi qolgan ikki shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan kuchlanishi $\pi/3$ marta oshadi. betaraf nuqta bilan yer orasidagi kuchlanish esa faza kuchlanishga teng bo'lib qoladi. Bu kuchlanishlar orasidagi farq tufayli tok shikastlangan joy dan g'altakka va bir vaqtning o'zida shikastlanmagan faza sig'imlarida ($\int$) oqadi. Faza o'tkazgichi yer bilan tutashgan joydagi tok I_{ϕ} va I_0 toklari yig'indisidan iborat bo'ladi.

$\int$, induktiv, $\int$ sig'im xarakteriga egadir, bu toklar bir biriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, bir birini kompensatsiya qiladi (1.10-rasm). Shikastlangan joy da hosil bo'lgan elektr yoyi ancha kamayadi va so'nadi, chunki g'altak induktivlikdan tashqari aktiv qarshilikka ham egadir.



1.10-rasm. Elektr yoyini o'chiruvchi induktiv g'altakli kompensatsiya qilingan tarmoqning sxemasi (a) va vektor diagrammasi (b).

Shuning uchun, vektor diagrammadan ko'ringanidek I_{ϕ} va I_0 toklari qat'iy 180° ostida emas, balki ozgina kichik burchak

ostida yo'nalgandir. Induktiv va sig'im toklari tengligida hosil bo'lgan kompensatsiya rezonans kompensatsiyasi deyiladi. Yerga tutashish tokining mumkin bo'lgan qiymati 10–30 A atrofida bo'lib, tarmoqning kuchlanishiga bog'liqdir. Agar bu tok mumkin bo'lgan qiymatdan katta bo'lsa, yoy faza yer bilan tutashgan joyda o'chmasligi va izolatsiya shikastlanishi mumkin.

Betaraf nuqtani yer bilan elektr yoyini o'chirish g'altagi orqali ulashimiz yerga tutashuv tokini anchaga kamaytiradi. Shuning uchun yoy tutashgan joyda turg'un holda bo'lmay, tezda o'chadi. Yoy o'chgandan so'ng, kuchlanish asta-sekin o'zining dastlabki holatiga qaytadi, bu tufayli qaytadan yoy hosil bo'lishi va kommutatsiya kuchlanishlarining oshish ehtimoli juda kamdir. Bunday tarmoqlarda bir fazaning yerga tutashuv toki 50 A dan oshmaydi.

Betaraf nuqtasi yer bilan bevosita ulangan elektr tarmoqlari O'zbekistonda 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlatiladi (110 kV li elektr tarmoqlarida faqat bir qism transformatorlar - ning betaraf nuqtasi yer bilan ulanadi; 220, 330 kV va undan yuqori kuchlanishda hamma transformatorlarning betaraf nuqtasi yer bilan ulanadi).

Betaraf nuqtasi yerdan ajratilgan elektr tarmoqlari 35 kV kuchlanishgacha ishlatiladi. Betaraf nuqtasi kompensatsiyalangan (yerga tutashuv toki kichik bo'lgan kabel va havo tarmoqlari) elektr tarmog'ari ham 35 kV gacha bo'lgan kuchlanishda ishlaydi.

1.4. Iste'molchilar yuklamasi va yuklamalar grafigi.

Har bir loyihalalanayotgan va qurilayotgan elektr tarmog'i iste'molchilarni yuqori sifatli elektr energiya bilan ishonchli ravishda ta'minlashi shart.

Hisoblar uchun dastlabki asosiy ma'lumotlar, bu iste'molchilar - ning yuklamalari, stansiya va podstantsiyalar joylashgan mintaqalar to'g'risidagi ma'lumotlardir.

Iste'molchilar yuklamasi o'zgarmas qiymatga ega bo'lmay,

balki u vaqt, oy, yil davomida va fasllarga qarab o'zgarib turadi. Bundan tashqari, xalq, xo'jaligini rivojlanishi va aholi farovonligini oshishi tufayli yuklamalarni muntazam ravishda o'sishi mavjud. Masalan, hozirgi vaqtda televizorlarning o'zi 1940 - yillarda bo'lgan mamlakatdagi hamma elektr stansiyalarning quvvatiga teng quvvatni iste'mol qiladi.

Elektr energiyaning iste'mol qilish tartibi energetika uskunalari, ES, EUL va transformator podstantsiyalarining ishlash tartibiga bog'liqdir.

Elektr yuklamalari grafigi deb, abssissa o'qida vaqt va ordinata o'qida esa yuklama o'lchamida, tokda yoki yuklama maksimumiga nisbatan foizda qo'yilgan grafikga aytiladi va bu qandaydir bir keltirilgan vaqt davomida elektr energiyaning qabul qilingan miqdori haqida ma'lumot beradi.

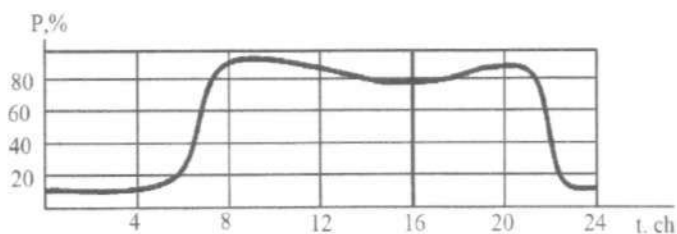
Grafiklar sutka davomida, faslli, yillik, aktiv va reaktiv yuklamalar grafigiga bo'linadi.

Sanoat iste'molchilari yuklamalar grafigining turlari ishlab chiqarishdagi texnologiya jarayonlarining xususiyatlariga bog'liq. Kommunal-maishiy korxonalarning yuklamalar grafigi yorituv uskunalarini tufayli o'ziga xos to'satdan o'zgaruvchan xarakterga egadir.

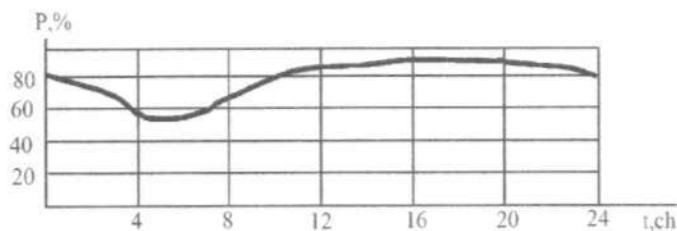
Masalan, 1.11-a,b,d rasmlarda mashinasozlik zavodining (a), kimyoviy ishlab chiqarishning (b), maktab yoki institutning (d) grafiklari keltirilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, bu grafiklar bir birlaridan ancha farq qiladi. Kimyoviy ishlab chiqarishda, yuklama sutka davomida maksimal qiymatga yaqindir, maktabda esa ertalab o'quvchilar maktabga kelgandagi, kechki qorong'i tushib yana yorituv uskunalarini yoqishga to'g'ri kelgandagi ikki maksimum bo'ladi. Shunday har xil grafiklar va statistik ma'lumotlarga asosan ayrim hududlarni elektr ta'minot grafigi va umuman energetika sistemalarining grafigi tuziladi.

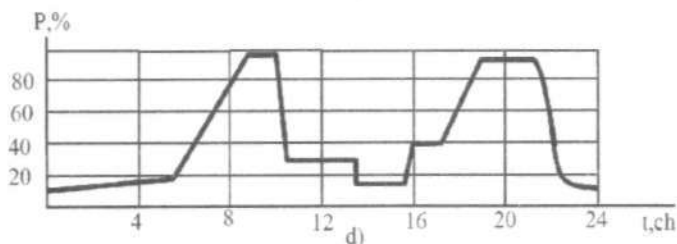
Yuklamalar grafigi tarmoqlarini hisoblashda dastlabki zarur ma'lumot hisoblanadi.



a)



b)



d)

1.11-rasm. Iste'molchilarning har xil shakllardagi yuklamalari grafigi.

Energiya iste'molchisining tuzilishi (xususiyatlari) va elektr yuklamalarining qiymatlari ehtimollik xarakteriga egadir, shuning uchun hisoblangan (oldindan rejalangan) grafiklar haqiqiy grafiklardan ko'pincha farq qiladi.

1.5. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar

Elektr tarmoqlari elektr energiyani ishlab chiqariladigan joydan elektr iste'molchilari joylashgan joyga uzatishga va elektr

iste'molchilari o'rtasidagi taqsimlashga xizmat qiladi.

Bunda elektr tarmoqlariga quyidagi beshta asosiy talablar qo'yiladi: ishdagi ishonchliligi, sifati, tejamkorlik (iqtisodiylik), xavfsizlik va ishlatish qulayligi, keyinchalik kengaytirish imkoniyatining mavjudligi. Ishdagi ishonchlilik: elektr tarmoqlarining ishonchliligi deganda biz iste'molchilarni kerakli vaqt davomida to'xtamasdan sifatli energiya bilan ta'minlanishini tushunamiz. Elektr uskunalarining tuzilishi qoidalariga (EUTQ) asosan, hamma elektr iste'molchilari ishonchlilik darajasi bo'yicha shartli ravishda asosan uch toifaga bo'linadi.

Birinchi kategoriyaga shunday elektr iste'molchilar kiradiki, agarda ularning elektr ta'minoti uzilib qolsa, odamlar hayotiga xavf tug'ilishi, xalq xo'jaligiga katta zarar yetkazilishi, texnika uskunalarini shikastlanishi, ommaviy ravishda yaroqsiz mahsulot ishlab chiqarilishi, murakkab texnologiya jarayonlari ishdan chiqishi va shahar xo'jaligining muhim elementlari buzilishi mumkin.

Ikkinchi kategoriyaga shunday iste'molchilar kiradiki, ularning elektr ta'minoti uzilishi korxonalarining mahsulotini kamayib ketishi bilan, ishlab chiqarish mexanizmlari va sanoat transporti turib qolishi bilan va shahar aholisining katta qismini normal turmush sharoitlari buzilishi bilan bog'langan.

Uchinchi kategoriyaga uncha mas'uliyatli bo'lmagan iste'molchilar kiradi: masalan, mahsuloti seriyali bo'lmagan kichik sexlar, kichik qishloqlar, kichik korxonalar va hokazo. Birinchi kategoriyali elektr iste'molchilari EUTQda ko'rsatilgandek, ikki va undan kam bo'lmagan mustaqil manbadan elektr quvvatini olishi kerak. Mustaqil deb boshqa manbalarda kuchlanish yo'qotilganda ham o'zida shunday kuchlanishni saqlab qoluvchi manbaga aytiladi.

Quvvati katta bo'lmagan iste'molchilar uchun ikkinchi manba o'rnida harakatlanadigan yoki turg'un holdagi dizel elektr stansiyalari yoki akkumulator batareyalarini ishlatish mumkin.

Birinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotida uzilish vaqti zaxiralangan manbani avtomatik ravishda ulash

vaqtiga teng. Shunday birinchi kategoriyali iste'molchilar borki, ular yuqori darajali ishonchlilikni talab qiladi, chunki to'satdan elektr ta'minoti to'xtab qolsa, odamlar hayoti xavf ostida qolishi, uskunalar ishdan chiqishi va portlash sodir bo'lishi mumkin. Bunday iste'molchilar uchun albatta quvvati o'chirib bo'lmaydigan iste'molchilar quvvatiga teng uchinchi manba (avariyaga oid) kerak.

Ikkinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotini mumkin bo'lgan uzilib qolish qisqa vaqti, navbatchi xodim orqali yoki harakatdagi brigada yordamida zaxiralangan manbani ulash vaqtiga teng. Havo liniyalarining yuqori ishonchlili ekanligi va ularning ish holatini tez tiklash mumkinligini hisobga olgan holda, EUTQ ikkinchi kategoriyali iste'molchilarni bir tizimli havo liniyasi orqali ta'minlashga ruxsat beradi. Ayrim paytda bir kabel (bo'lingan va alohida uzgichlari bor) liniyasi orqali va hatto bir transformator yordamida ta'minlash (sharoitga qarab) ruxsat etiladi. Uchinchi kategoriyali iste'molchilar uchun elektr ta'minotini uzilib qolish vaqti ta'mirlash yoki shikastlangan elementlarni almashtirish vaqtiga teng bo'ladi, lekin bu vaqt bir sutkadan oshmasligi kerak.

Elektr ta'minotining ishonchliligi zaxira qo'yishdan tashqari rele himoyasi va avtomatik uskunalarining ishlashiga bog'liq.

Energiyaning sifati. Har bir iste'molchi sifatli energiya bilan ta'minlanishi zarur. Bu sifat kuchlanish va chastotaning qiymati, uch fazali kuchlanishning simmetriyasi va kuchlanish egri chizig'ining shakli bilan belgilanadi.

Kuchlanishning qiymati. Kuchlanishning kerak bo'lgan qiymatdan kamayishi yoki oshishi maqsadga muvofiq emas. Kuchlanishning o'zgarishi generatorlarning elektr yurituvchi kuchi yoki yuklama o'zgarishi tufayli elektr tarmoqlaridagi kuchlanish yo'qotilishini o'zgarishiga bog'liq. Cho'g'lanish lampalarida va boshqa yorug'lik manbalarida kuchlanishning kamayishi yorug'likning kamayishiga va boshqa noxush holatlarga olib keladi. Kuchlanishning oshishi lampaning xizmat muddatini kamaytiradi. Shunday qilib, kuchlanishning oshishi ham, kamayishi ham

iqtisodiy chiqimga olib keladi. Eng kam iqtisodiy yo'qotish eng maqbul kuchlanishda bo'ladi. Uskunalar shunday tuzilgan bo'lishi kerakki, nominal kuchlanish maqbul kuchlanishga teng bo'lsin.

Buni asinxron motorlar misolida ham ko'rish mumkin.

Kuchlanish og'ishini kamaytirish uchun maxsus usullar qo'llaniladi, masalan, yuklangan holda rostlovchi transformatorlardan (YuXRT) foydalanish, kompensatsiya uskunalarini (KU) o'rnatish va hokazo.

Chastota qiymati. Chastotaning o'z qiymatidan og'ishi motorlarning va ular bog'langan qurilmalarning aylanish tezligini o'zgarishiga olib keladi. Bu esa texnologik jarayonlarning buzilishiga olib kelishi mumkin, shuning uchun, hozirgi vaqtda chastotaning mumkin bo'lgan og'ish darajasi faqatgina 0,1 Hz qilib qabul qilinadi.

Uch fazali kuchlanishning simmetriyasi. Uch fazali simmetrik sistemalarda hamma kuchlanishlar o'zining absolut qiymati bo'yicha teng bo'lib, ular orasidagi burchak 120° bo'lishi kerak: shunda ular faqat to'g'ri ketma-ketlikni tashkil qiladi. Simmetriyaning buzilishi bir fazali teng bo'lmagan yuklamalar mavjudligi, fazalardagi parametrlarning nosimmetrik bo'lishi sababli kelib chiqadi.

Simmetriyaning buzilishi teskari va nol ketma-ketlikni yoki ularning ikkalasini ham bir vaqtning o'zida paydo bo'lishiga olib keladi. Kuchlanishning teskari ketma-ketligi tokning teskari ketma-ketligini keltirib chiqaradi. Bu esa, o'z navbatida, uch fazali motorlar harakatiga qarshilik (tormoz) qiladi, quvvat isrofini ko'paytiradi, generator rotorlarining hosil qilgan teskari magnit maydoni ketma-ketligi orqali qo'shimcha qizdiradi.

Kuchlanishning nol ketma-ketligi ham quvvat isrofini oshiradi, qo'shni aloqa liniyalariga zararli ta'sir etadi. Nol ketma-ketlik toklari esa yerda oqa turib yer ostidagi inshootlarni korroziyaga (chirishga) olib keladi. Bundan tashqari, normal hollarda tok va kuchlanishlarning nol ketma-ketliklarining bo'lishi rele himoyasini nosimmetrik qisqa tutashuv paytida tanlab ishlash xususiyatini yo'qotib qo'yishiga olib kelishi mumkin.

Kuchlanish egri chizig'ining shakli. Ko'pchilik o'zgaruvchan tok iste'molchilari uchun kuchlanish egri chizig'i sinusoida shaklida bo'lishi zarur. Kuchlanish egri chizig'ining sinusoidadan og'ishi generatorlarni elektr yurituvchi kuchlari sinusoidal bo'lmagani, sistemada noxiziqli elementlarning mavjudligi sababli (masalan, to'yingan po'lat o'zaklari, yarimo'tkazgichli tok o'zgartuvchi uskunalar va hokazo) kelib chiqadi.

Motorlar uchun kuchlanishni sinusoidadan og'ishi qo'shimcha quvvat isrofiga va tebranishga olib keladi, lekin foydali ishga ta'sir ko'rsatmaydi, chunki motorning o'rtacha aylantirish momentini faqat birinchi (asosiy) garmonika hosil qiladi. O'zgarmas tok iste'molchilari uchun kuchlanish shakli to'g'ri chiziqli o'zgaruvchan tashkil etuvchilarisiz bo'lishi kerak. O'zgaruvchan tashkil etuvchilar tok to'g'rilagich uskunalarining sifatsizligi sababli kelib chiqadi va ular ham o'zgarmas tok iste'molchilariga (elektroliz, o'zgarmas tok motorlari) zarar yetkazib, qo'shimcha energiya isrofiga olib keladi.

Iqtisodiylik. Elektr tarmoqning iqtisodiy bo'lishligi uchun bir necha mumkin bo'lgan tarmoq shakllarini, kuchlanish qiymatini, o'tkazgichning ko'ndalang kesimlarini ko'rib chiqish kerak. Shuning uchun qator variantlarni ko'rib chiqib, ularni bir birlari bilan "kumulyativ xarajat" usuli orqali taqqoslash lozim. Bu usul (mezon) energiya isrofining qiymatini, sarf qilingan kapital mablag'ni, kelib chiqqan ziyonni o'z ichiga oladi.

Shunday variant optimal hisoblanadiki, bunda "kumulyativ xarajat" eng kam bo'lishi kerak.

Xavfsizlik va ishlatish qulayligi. Ishchi xodimlarni va boshqa odamlarning xavfsizligini ta'minlash uchun "texnika ishlatish qoidalariga" ko'ra yerga ulash, elektr uskunalarini o'rab olish, signalizatsiya, maxsus kiyim va boshqa moslamalar qo'llaniladi. Havo liniyalari o'tkazgichlarining kuchlanishiga qarab yerdan belgilangan balandlikda tayanchlarda tortiladi.

Havfsizlikdan tashqari ishlatish qulayliklari hisobga olinishi kerak. Masalan, har xil o'zgartirish qulayliklari, qurilmalar va kabellarni tuzatish va ko'zdan kechirish uchun kerakli yo'llar,

yorituv uskunolari, avariya transporti va boshqalar ko'zda tutiladi.

Keyinchalik kengaytirish, "rivojlanish" imkoniyati mavjudligi. Elektr tarmoqlarida yuklamalarning o'zgarishi va ketma-ket yangi iste'molchilarning paydo bo'lishi har doim kengaytirish va jihozlash zarurligini keltirib chiqaradi. Stansiya va transformatorlar almashtiriladi, qo'shimcha quriladi va boshqatdan jihozlanadi, yangi avtomatika qo'yiladi va hokazo. Hozirgi paytda har yil 5–6% yangi elektr tarmoqlari ishga tushiriladi. Sistemalarni shunday loyihalash kerakki, ular mavjud stansiyalar, podstansiyalar, tarmoqlar va boshqa qurilmalardan to'la foydalanilgan taqdirda uzoq vaqt rivojlanish imkoniyatini ta'minlab tursin.

1.6. Elektr tarmog'ini hisoblashning asosiy turlari.

Yechilishi kerak bo'lgan masalalar bo'yicha hisoblash ikki qismga bo'linadi.

Tarmoqlar ish rejimini hisoblash. Bu hisoblash ma'lum bir vaqt oralig'ida tugun nuqtalaridagi kuchlanishlar, liniyalar va transformatorlardagi tok va quvvatlarni hisoblashdir. Loyiha hisoblari va uskunalarini ishlatishga tegishli hisoblar xususan berilgan ma'lumotlarning aniqligi, ayniqsa yuklamalarning aniqligi bilan ajralib turadi. Loyihalash hisoblarida bu ma'lumotlarning aniqligi kamroq bo'ladi. Shuning uchun bu hisoblar natijalarini aniqlash bo'yicha qo'yilgan talablar ma'lum darajada kam bo'ladi. Mavjud elektr tarmoqlarining ish holatlarini qulaylashtirish uchun juda ham aniq hisoblar talab qilinadi. Tarmoqlarning ish tartibi normal, shikastlangan va shikastlangandan keyingi (shikast sabablari tugatilgandan keyingi) holatlar bilan farq qiladi.

Energetika tizimlarining barqaror ish rejimlari, ya'ni tok va kuchlanishlari deyarli o'zgarmas bo'lgan parallel va shikastdan keyingi holatlar va o'tkinchi jarayonlar, ya'ni shikastlangan holatdagi ish tartiblari (bular "o'tkinchi jarayonlar" faniga tegishli), alohida ko'rib chiqiladi.

Parametrlarni tanlashga doir hisoblash. Bu hisoblashga kuchlanish, liniya parametrlari, transformatorlar, kompensatsiya-

laydigan va boshqa uskunalarning har xil holatlar uchun tanlash kiradi. Loyihalash uchun zarur bo'lgan hisoblashning bir qismi bo'lgan mexanik mustahkamlik va yashinga qarshilik hisoblari maxsus fanlarda ko'riladi. Parametrlarni tanlashda avtomatikani ko'zda tutmoq kerak. Ko'pincha, agarda zarur texnik parametrlarga yetishishga avtomatik vositalar imkon bersa, bu birlamchi uskunalarining parametrlari (o'tkazgichlarni ko'ndalang kesim yuzasi, quvvat va boshqalar) ni o'zgartirishga qaraganda tejamli bo'ladi. Ayniqsa, bu mumkin bo'lgan kuchlanish yo'qotilishi va og'ishi bo'yicha hisoblarga va qisqa tutashuv paytida qizishga bardosh berish bo'yicha hisoblarga tegishlidir. Birinchi holat uchun kuchlanishni rostdash uskunasi qo'llanilishi mumkin, ikkinchisida tezkor himoya vositalari qo'llaniladi. Tarmoqlarning tanlanayotgan hamma parametrlarini hisoblash chog'ida ular qandaydir vaqt oraligida o'zgarimas deb olinadi. Ammo yuklamalarning o'sishida bu parametrlarni (kuchlanish, o'tkazgichlarning kesim yuzasi, podstantsiyalar soni va boshqalar) o'zgartirish zarur: bunga tarmoqni ancha yuqori kuchlanishga ko'tarish, kesim yuzasini, podstantsiyalar sonini ko'paytirish va boshqalar kiradi.

Holatlarni hisoblashda quyidagi usullar ko'proq qo'llaniladi:

1. Bevosita hisoblash usuli, qachonki natija bir tadbirda topiladi, masalan tenglamalar sistemasini to'g'ridan to'g'ri yechish. Bu usul sxemasi ancha sodda tarmoqlar uchun qo'llaniladi.

2. Iteratsiya usuli (ketma-ket yaqinlashish), qachonki qidirilayotgan qiymatga ko'p tadbirlar natijasida, ya'ni asta-sekin hiyla taxminiydan juda aniq javoblarga kelish. Birinchi yaqinlashish noliteratsiya mumkin bo'lgan taxminiy axborotga asosan olingan bo'lishi mumkin.

3. Dinamik programmashtirish usuli yordamida eng maqbul yechimni topish mumkin. Oxirgi usul yuzlab yuklamalar bo'lgan murakkab (murakkab yopiq) tarmoqlar uchun qo'llaniladi va ko'p holatlarda faqat elektron hisoblash mashinalarini, maxsus avtomatlashtirilgan hisoblash modellarini tatbiq qilib, algebra matritsalarini va boshqa maxsus usullarini qo'llash mumkin.

Amaliyot shuni ko'rsatadiki, ko'p holatlarda loyihalashda

keng qo'llaniladigan, faqat birinchi yoki ikkinchi yaqinlashish bilan chegaralangan ikkinchi usul yetarlidir.

Nazorat sovellari

1. *Elektr tizim tuzilmasiga namuna keltiring.*
2. *Elektr tarmoq va tizimlariga oid asosiy tushunchalar va tariflar nimalardan iborat?*
3. *Elektr tizimda kuchlanishlar qanday sinflanadi?*
4. *Kuchlanish qanday rostdanadi?*
5. *Betaraf nuqta qanday ish rejimlarida bo'ladi?*
6. *Turli kuchlanishli elektr tarmoqlarida betaraf nuqta ish rejimi xususiyatlari nimalardan iborat?*
7. *Iste'molchilar yuklamasi nima?*
8. *Yuklamalar grafigi nima uchun kerak?*
9. *Elektr tarmoqlari qanday sinflanadi?*
10. *Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar nimalardan iborat?*
11. *Elektr tarmog'ini hisoblash turlari qanday?*

II. ELEKTR UZATISH LINIYALARINING KONSTRUKTIV ELEMENTLARI

2.1. Havo elektr uzatish liniyalarining konstruktiv elementlari

Havo elektr uzatish liniyalari (HL) elektr energiyasini o'tkazgichlar yordamida masofaga uzatish uchun xizmat qiladi. HLning asosiy konstruktiv elementlari bo'lib o'tkazgichlar, troslar, tayanchlar, izolatorlar va uzatish liniyasi armaturalari hisoblanadi. O'tkazgichlar elektr energiyani uzatish uchun xizmat qiladi. Tayanchlarning yuqori qismida HL ni atmosfera o'ta kuchlanishlaridan himoyalash uchun *troslar* o'rnatiladi.

Tayanchlar o'tkazgichlar va troslarni yer hamda suv sathidan ma'lum balandlikda tutib turadi. Izolatorlar o'tkazgichlarni tayanchdan izolatsiyalaydi. Uzatish liniyasi armaturalari yordamida o'tkazgichlar izolatorlarga, izolatorlar esa tayanchlarga mahkamlanadi. Ayrim hollarda o'tkazgichlar izolatorlar va uzatish liniyasi armaturalari yordamida muhandislik inshootlarining kronshteynlariga mahkamlanadi.

Bir va ikki zanjirli HL amalda keng qo'llaniladi. Uch fazali HL ning bitta zanjiri har uchta faza o'tkazgichlaridan tashkil topadi. HL da ikkita zanjir bitta tayanchda joylashgan bo'lishi mumkin.

HL konstruktiv qismlarining ishlashiga o'tkazgichlar va troslarning o'z og'irliklaridan, ularda hosil bo'luvchi muz qatlamlaridan, shamol bosimidan, shuningdek havo temperaturasining o'zgarishidan mexanik ta'sir ko'rsatiladi. Bundan tashqari, shamol ta'sirida o'tkazgichlarning titrashi (yuqori chastota va kichik amplitudada tebranishi) va silkinishi (kichik chastota va katta amplitudada tebranishi) yuz berishi mumkin. Ushbu omillar ta'sirida yuzaga keluvchi mexanik yuklanish,

silkinish va titrashlar o'tkazgichlarning uzilishi yoki chalkashib qolishiga, tayanchlarning sinishiga, izolatsiya oraliqlarining kamayishi natijasida ularning teshilishi yoki izolatsiya ustida yoy paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin.

2.2. Havo elektr uzatish liniyalarining o'tkazgichlari va troslari

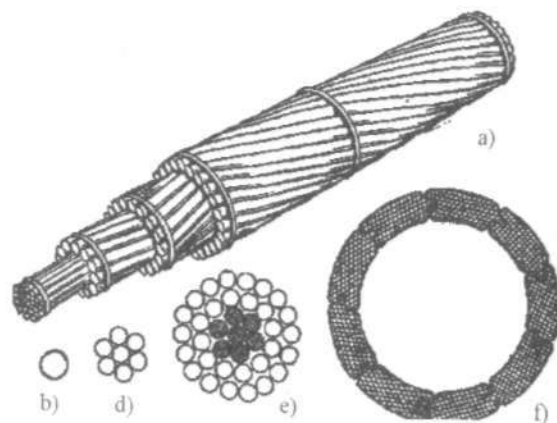
HL da izolatsiyalanmagan, ya'ni izolatsion qobiqsiz o'tkazgichlar foydalaniladi. HL o'tkazgichlariga qo'yiluvchi asosiy talablar bo'lib yuqori darajadagi mexanik mustahkamlik va elektr o'tkazuvchanlik hisoblanadi. Bundan tashqari, HL o'tkazgichlari korroziyaga qarshi chidamli materialdan tayyorlangan bo'lishi lozim.

Ushbu talablar va iqtisodiy jihatdan samaradorlik shartlaridan kelib chiqqan holda hozirgi davrda HL larda aluminiy va po'lat aluminiy o'tkazgichlardan foydalanish keng tarqalgan. Mis o'tkazgichlar hozirgi davrda maxsus texnik-iqtisodiy hisoblashlar bilan asoslanmasdan HL larda foydalanilmaydi. Po'lat o'tkazgichlardan HL da foydalanish ularning qarshiliklari katta bo'lganligi sababli, odatda, tavsiya etilmaydi. Atmosfera o'ta kuchlanishlaridan himoyalovchi troslar qoidaga muvofiq po'latdan tayyorlanadi. So'nggi yillarda troslardan yuqori chastotali aloqa kanallarni tashkil etish uchun ham foydalaniladi. Bunday hollarda ular po'lat-aluminiydan tayyorlanadi.

Izolatsiyalanmagan o'tkazgichlarning tuzilishi va umumiy ko'rinishi 2.1-a rasmda keltirilgan. Bir simli o'tkazgich (2.1-b rasm) bitta dumaloq o'tkazgichdan tashkil topgan. Bunday o'tkazgichlar ko'p simli o'tkazgichlarga nisbatan arzonroqdir, biroq ular kam egiluvchan va kam mexanik mustahkamlikka ega. Bir metallardan tayyorlangan ko'p simli o'tkazgichlar (2.1-d rasm) bir-biri bilan o'zaro o'ralgan simlardan tashkil topgan. Simlar sonining ortishi bilan kesim yuzasi ortadi. Ikki metallardan tayyorlangan ko'p simli – po'lat-aluminiy o'tkazgichlarda (2.1-e rasm) – ichki simlar (o'tkazgichning o'zagi) po'latdan, tashqi simlar aluminiydan tayyorlanadi.

Po'lat o'zak mexanik mustahkamlikni oshirsa, aluminiy

– o'tkazgichning tok o'tkazuvchi qismi hisoblanadi. G'ovak o'tkazgichlar (2.1-f rasm) bir-biri bilan mexanik mustahkamlikni ta'minlovchi pazlar orqali tutashtirilgan yassi simlardan tayyorlanadi. Bunday o'tkazgichlarning tashqi diametri katta bo'lganligidan tojlanuvchi razryadni hosil qiluvchi kuchlanishning qiymati ortadi va tojlanish tufayli isrof bo'luvchi quvvat ancha kamayadi. HLlarida g'ovak o'tkazgichlar juda kam qo'llaniladi. Ular asosan 330 kV va undan yuqori kuchlanishdagi nimstansiyalarini shinalashda qo'llaniladi. 330 kV va undan yuqori nominal kuchlanishdagi HLning har bir fazasi bir nechta o'tkazgichlarga parchalanadi.



2.1-rasm. HL o'tkazgichlarining tuzilishi:

a–ko'p simli o'tkazgichning umumiy ko'rinishi; b–bir simli o'tkazgichning ko'ndalang kesimi; d,e–bir va ikki xil metallardan tashkil topgan ko'p simli o'tkazgichlarning ko'ndalang kesimi; f–g'ovak o'tkazgichning ko'ndalang kesimi

Bunday holatda hozirgi davrda 330 kV kuchlanishli HLning bitta fazasida ikkita, 500 kVda – uchta, 750 kVda – to'rt-beshta, 1150 kVda – sakkiz-o'n ikkita o'tkazgich foydalaniladi.

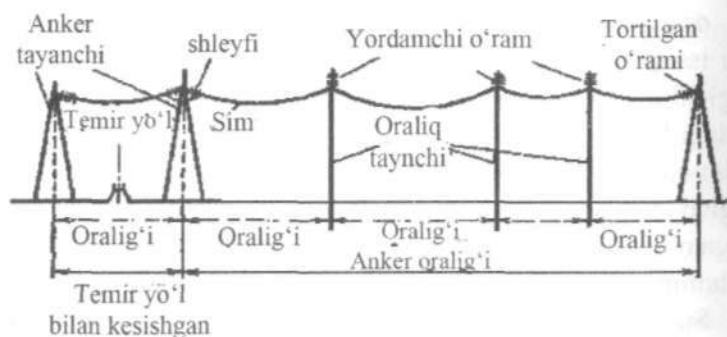
O'tkazgichlarning materiallari yuqori elektr o'tkazuvchanlikka va imkoni boricha yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi lozim. O'tkazuvchanlik bo'yicha birinchi o'rinda mis, so'ngra aluminiy turadi. Po'lat esa ancha kam o'tkazuvchanlikka ega. Mexanik mustahkamlik bo'yicha birinchi o'rinda po'lat, so'ngra mis turadi. Bu jihatlarni, ularning tabiatda tarqalganlik darajasini hamda bundan kelib chiqib nisbiy narxlarini e'tiborga olib, HLlarida aluminiy va po'lat-aluminiy o'tkazgichlardan foydalaniladi. Hozirgi paytda bir simli aluminiy o'tkazgichlarning mexanik mustahkamligi juda kichikligi sababli ular mutlaqo ishlab chiqarilmaydi. Ko'p simli aluminiy o'tkazgichlar faqat 35 kV gacha kuchlanishli liniyalarda qo'llaniladi. Undan yuqori kuchlanishli liniyalarda esa po'lat-aluminiy o'tkazgichlardan foydalaniladi. Hozirgi davrda Davlat Standarti (Dav.Stan.)ga muvofiq A va AKP markali aluminiy o'tkazgichlar ishlab chiqariladi. A marka o'tkazgichlar 7 tadan 61 tagacha bir xil diametrli aluminiy simlardan tashkil topadi. AKP markali o'tkazgichlar ham tuzilishi bo'yicha A markali o'tkazgichlar bilan bir xil bo'lib, faqat ularda simlar oralaridagi bo'shliqlar korroziyalanishga qarshi ta'sir etuvchi issiqlikka chidamli neytral moy bilan to'ldiriladi. Bunday o'tkazgichlar dengiz qirg'oqlari, tuzli ko'l va kimyo korxonalari yaqinidagi HL larda qo'llaniladi.

Po'lat-aluminiy o'tkazgichlar HL larda eng ko'p qo'llaniluvchi o'tkazgich turidir. Ulardagi po'lat o'zakning o'tkazuvchanligi e'tiborga olinmaydi va o'tkazgichning elektr qarshiligini aniqlashda faqat aluminiy qismining qarshiligi hisobga olinadi. Hozirgi davrda Davlat Standartiga muvofiq AS, ASKS, ASKP, ASK markali po'lat-aluminiy o'tkazgichlar ishlab chiqariladi. AS markali o'tkazgich po'lat o'zak va aluminiy simlardan tashkil topadi. Bunday o'tkazgichlar tarkibida zararli kimyoviy birikmalar mavjud bo'lmagan quruq havoli hududlardagi HL larda foydalaniladi. ASKS, ASKP, ASK markali o'tkazgichlar dengiz, tuzli ko'llar qirg'oqlari va havosi ifloslangan sanoat tumanlaridagi HL larda qo'llaniladi. ASKS va ASKP markali o'tkazgichlarda AS

markali o'tkazgichlardan farqli holda po'lat o'zakning yoki butun o'tkazgichning simlari oralaridagi bo'shliqlar issiqlikka chidamli neytral moy bilan to'ldiriladi. ASK markali o'tkazgichda ASKS markali o'tkazgichdan farqli holda po'lat o'zak ikkita polietilen plyonka tasmlar bilan izolatatsiyalanadi.

2.3. Havo elektr uzatish liniyalarining tayanchlari

HL ning tayanchlari *oraliq* va *anker* tayanchlariga bo'linadi. Bu ikki asosiy guruh tayanchlari o'tkazgichlarni ularga osish usuli bo'yicha farqlanadi. Oraliq tayanchlariga o'tkazgichlar tutib turuvchi izolatorlar shodasi yordamida osiladi (2.2-rasm). Anker tipidagi tayanchlar o'tkazgichlarni taranglab tortish uchun xizmat qiladi. Bunday tayanchlarda o'tkazgichlar osma shodalar yordamida osiladi. Oraliq tayanchlari oraliq'idagi masofa *osilish oraliq'i* (*oraliq*), anker tayanchlari oralaridagi masofa esa *anker oraliq'i* deb ataladi.



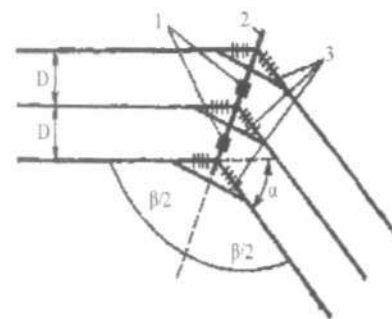
2.2-rasm. HL ning anker va temir yo'l bilan kesishish oraliq'i.

Anker tayanchlari HL ning muhim nuqtalarida o'tkazgichlarni qattiq mahkamlash uchun xizmat qiladi. Ular, masalan, temir yo'l, 330–500 kV kuchlanishli HL, eni 15 metrdan kam bo'lmagan avtomobil yo'llari kabi muhandislik inshootlarini kesib o'tish, HL ning tugallangan joylarida o'rnatiladi. HL ning to'g'ri chiziqli

qismida anker tayanchi normal sharoitda uning ikki tomonidan o'tkazgichning tortib turuvchi kuchi bir xil bo'lgan hollarda oraliq tayanchi bajaruvchi vazifani bajaradi. Biroq bunday anker tayanchlari oraliqda o'tkazgichlar yoki trosalar uzilgan taqdirda paydo bo'luvchi mexanik kuchlarga mo'ljallab o'rnatiladi. Anker tayanchlari oraliq tayanchlariga nisbatan ancha murakkab va mos ravishda qimmatdir, shu sababli ular har bir HL da imkoni boricha kam bo'lishi lozim.

Oraliq tayanchlari HL ning to'g'ri chiziqli qismlarida o'rnatiladi. Ular tuzilishi bo'yicha anker tayanchlariga nisbatan sodda va shunga mos holda arzonidir. Chunki, normal sharoitda ularning har ikkala tomonida o'tkazgichlarning tortish kuchlari bir xil bo'lganligi sababli liniya bo'ylab yo'nalgan kuch ta'sir etmaydi. HL larda tayanchlarning 80–90% ni oraliq tayanchlari tashkil etadi.

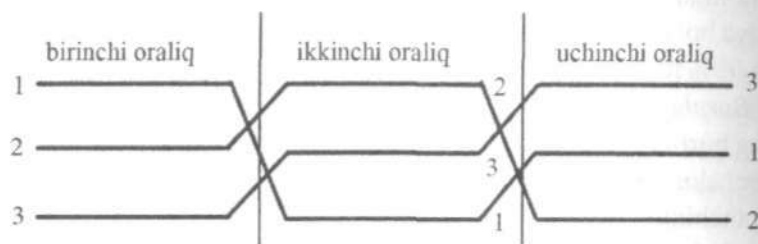
Burchak tayanchlari HL ning burilish joylarida o'rnatiladi. HL ning burilish burchagi α deb uning burilishida paydo bo'luvchi ichki β burchakni 180° ga to'ldiruvchi burchakka aytiladi (2.2-rasm). Burchak tayanchining tirsagi β burchagining bessiktrisasi bo'yicha o'rnatiladi. Burchak tayanchlari anker va oraliq tipida bo'lishi mumkin. Bunday tayanchlarga HL ning to'g'ri chiziqli uchastkalarida o'rnatiluvchi oraliq tayanchlariga ta'sir etuvchi yuklardan tashqari o'tkazgichlar va trosalar tortish kuchlarining ko'ndalang tashkil etuvchilari ham ta'sir etadi. Burilish burchagi 20° gacha bo'lgan hollarda burilish tayanchi sifatida asosan oraliq tayanchlaridan foydalaniladi.



2.3-rasm. HL ning burilish burchagi:
1-tayanch oyog'i; 2-tirsak; 3-sirtmoq.

Shuningdek, HL da quyidagi tipdagi maxsus tayanchlardan ham foydalaniladi: tayanchlarda o'tkazgichlarni joylashuv tartibini o'zgartirish uchun xizmat qiluvchi – *transpozitsiyalovchi tayanchlar*; HL ni tarmoqlash uchun xizmat qiluvchi – *tarmoqlovchi tayanchlar*; HL ni daryolar, daralar kabilar ustidan kesib o'tish uchun xizmat qiluvchi – *o'tkazuvchi tayanchlar*.

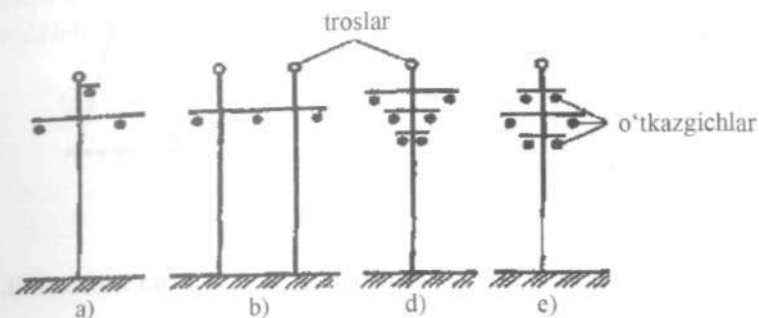
Transpozitsiya 110 kV dan yuqori kuchlanishli 100 km dan uzun HL larda barcha uchala fazalarning sig'im va induktivliklarini bir xil qilish maqsadida qo'llaniladi. Bunda tayanchlarda o'tkazgichlarning o'zaro joylashuvi ketma-ket ravishda almashtiriladi (2.4-rasm).



2.4-rasm. Bir zanjirli elektr uzatish liniyasi o'tkazgichlarini transpozitsiyalash sikli.

Tayanchlarda o'tkazgichlarning keng foydalaniluvchi joylashuv usullari 2.5-rasmda tasvirlangan. *Uchburchak* ko'rinishida joylashuv (2.5-a rasm) 20 kV gacha hamda 35–330 kV kuchlanishli bir zanjirli metall va temirbeton tayanchli HL larda foydalaniladi. O'tkazgichlarning *gorizontal* joylashuvi (2.5-b rasm) 35–220 kV kuchlanishli yog'och tayanchli va 330 kV kuchlanishli HL larda foydalaniladi. Bu usulda joylashuv tayanchlarni nisbatan pastroq qurish imkonini beradi va muz qatlamlari paydo bo'lganda hamda o'tkazgichlar silkinganda ularning chalkashish ehtimolini kamaytiradi. Ikki zanjirli HL larda o'tkazgichlarning *teskari archa* usulida joylashuvi montaj qilish sharoitlari bo'yicha qulaydir (2.5-d rasm). Biroq bunda ikkita tros osishga to'g'ri keladi va

shu sababli tayanchlarning og'irligi ortadi. Ikki zanjirli HL larda o'tkazgichlarning *bochka* usulida joylashuvi eng iqtisodiy bo'lib, keng qo'llaniladi (2.5-e rasm).

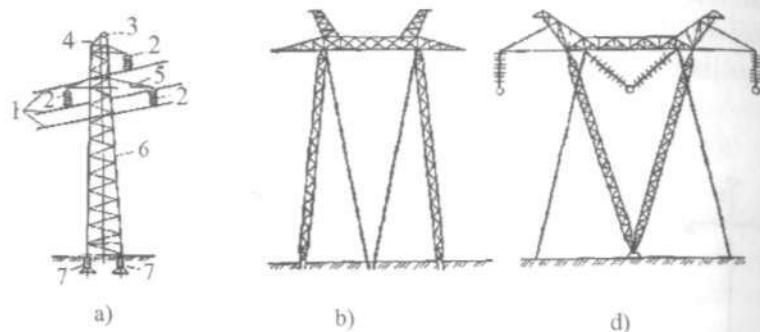


2.5-rasm. O'tkazgichlar va troslarning tayanchlarda joylashuvi: a–uchburchak uchlarida joylashuv; b–gorizontal joylashuv; d–teskari archa usulida joylashuv; e–bochka usulida joylashuv.

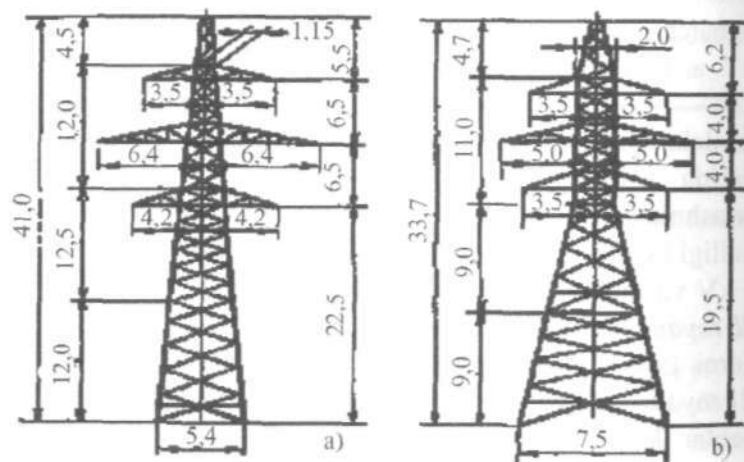
Mamlakatimizda *yog'och tayanchlar* 110 kV gacha kuchlanishli HL larida foydalaniladi. Ularning afzalliklari – arzonlik va tayyorlashning soddaligi, kamchiligi – chirish xususiyatining mavjudligi (xususan yerga tegib turish joylarida).

35 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larda foydalaniluvchi *metall tayanchlar* uchun ko'pgina miqdorda metall talab etiladi va ularni korroziyadan himoyalash uchun bo'yab turish lozim. Metall tayanchlar temir beton fundametlarga o'rnatiladi. Bunday tayanchlar konstruktiv tayyorlanishi bo'yicha – *minorali yoki bir ustunli* (2.6-a rasm) va *portal* (2.6-b rasm), fundamentga mahkamlanish usuli bo'yicha esa – *erkin joylashgan* (2.6-a rasm) va *tortmali* (2.6-d rasm) tayanchlarga bo'linadi.

Anker tipdagi metall tayanchlar oraliq tayanchlardan mustahkamligi va tirsaklarining uzunligi bilan farq qiladi. 2.7-a rasmda 220 kV kuchlanishli HL da foydalaniluvchi oraliq va 2.7-b rasmda 110 kV kuchlanishli HL da foydalaniluvchi anker tayanchlari tasvirlangan.



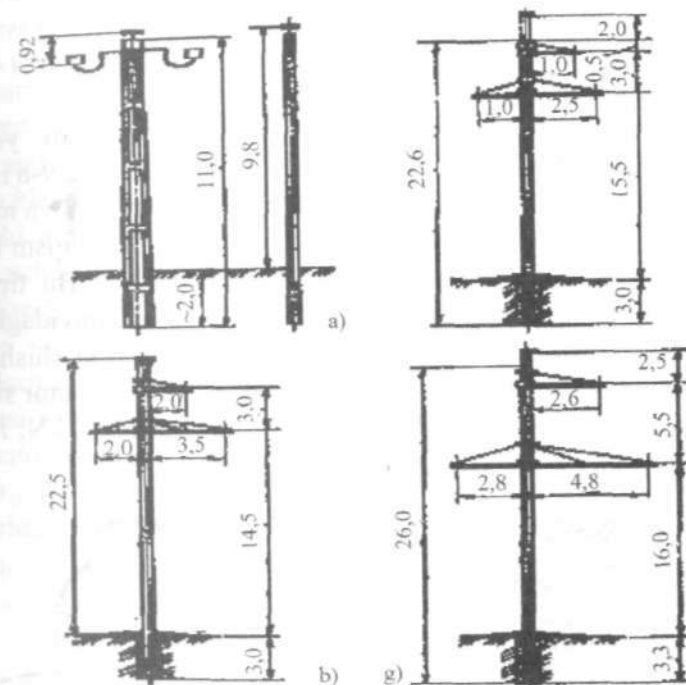
2.6-rasm Tayanchlarning tayyorlanishi: a—minorali yoki bir ustunli, b—normal; d—tortmali



2.7-rasm. 500 kV kuchlanishli HL oraliq tayanchlari: a) erkin joylashuvchi; b) tortmali.

500 kV kuchlanishli HL larda, odatda, o'tkazgichlarning gorizontal joylashuvidan foydalaniladi. 500 kV kuchlanishli HL larning oraliq tayanchlari erkin joylashuvchi yoki tortmali bo'lishi mumkin (2.7-a, b rasmlar).

Temirbeton tayanchlar yog'och tayanchlarga nisbatan mustahkam va chidamli, metall tayanchlarga nisbatan xizmat ko'rsatish uchun soddadir. Shu sababli ular 500 kV gacha kuchlanishli HL larida keng qo'llaniladi. 2.8-rasmda turli kuchlanishli HL larida foydalaniluvchi oraliq temir beton tayanchlari tasvirlangan.



2.8-rasm. Erkin joylashuvchi temirbeton oraliq tayanchlar: a—6–10 kV (shtirli izolyatorlar bilan) kuchlanishli HL tayanchi; b—35 kV kuchlanishli HL tayanchi; c—110 kV kuchlanishli HL tayanchi; d—220 kV kuchlanishli HL tayanchi.

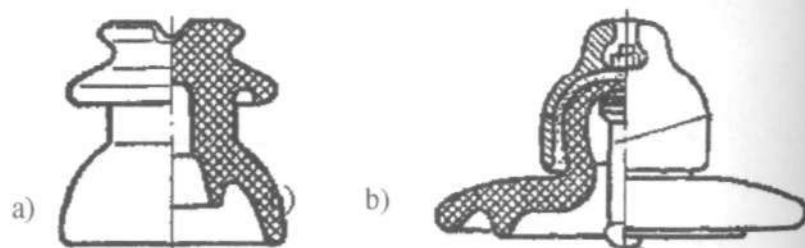
2.4. Havo elektr uzatish liniyalarining izolyatorlari.

Izolyatorlar HL hamda elektr stansiyalari va nimstansiyalari taqsimlovchi qurilmalarini izolyatsiyalash va mahkamlash uchun

xizmat qiladi. Ular chinni yoki toblangan shishadan yasaladi. Tuzilishi bo'yicha izolatorlar *shtirli* va *osma* izolatorlarga bo'linadi.

Shtirli izolatorlar hozirgi paytda 35 kV gacha kuchlanishli HL larda foydalaniladi (2.9,a-rasm). Izolatorlarni shartli belgilanishidagi harflar va sonlar quyidagilarni bildiradi: Sh – shtirli; F – chinnidan yasalgan (farforoviy); S – shishadan yasalgan (steklyanniy); son – nominal kuchlanish, kV; so'nggi harf (A, B, D) – izolatorning tuzilish sinfi.

Likopsimon osma izolatorlar 35 kV va undan yuqori kuchlanishli HL larda keng qo'llaniladi. Osma izolator (2.9-b rasm) chinni yoki shishadan yasaluvchi izolatsiyalovchi qism 1 va metall detallar – shapka 2 va sterjen 3 hamda izolatsiyalovchi qism bilan tutashtiruvchi sement tutashmasidan tashkil topgan. Bu tipdagi izolatorning shartli belgilanishidagi harf va sonlar quyidagilarni bildiradi: P – osma (**podvesnoy**); F (S) – chinni yoki shishadan tayyorlangan; G – ifloslangan tumanlar uchun; son – izolator sinfi – shikastlanishiga olib keluvchi elektromexanik yuklama, kN; A, B, V – izolatorning tuzilish sinfi.



2.9-rasm. Shtirli va osma izolatorlar:

a) 6–10 kV uchun mo'ljallangan shtirli izolator; b) Likopchasimon osma izolator.

Osma izolatorlar oraliq tayanchlarda tutib turuvchi va anker tayanchlarda tortib turuvchi shodalarga yig'ilgan ko'rinishda foydalaniladi. Shodadagi izolatorlar soni HL ning kuchlanishiga bog'liq holda aniqlanadi. Masalan, metall va temirbeton tayanchli

HL larining tutib turuvchi shodalarida 35 kV uchun 3 ta; 110 kV uchun – 6–8 ta; 220 kV uchun – 10–14 ta va h.k. izolatorlar o'rnatiladi.

2.5. Havо elektr uzatish liniyalarining armaturalari

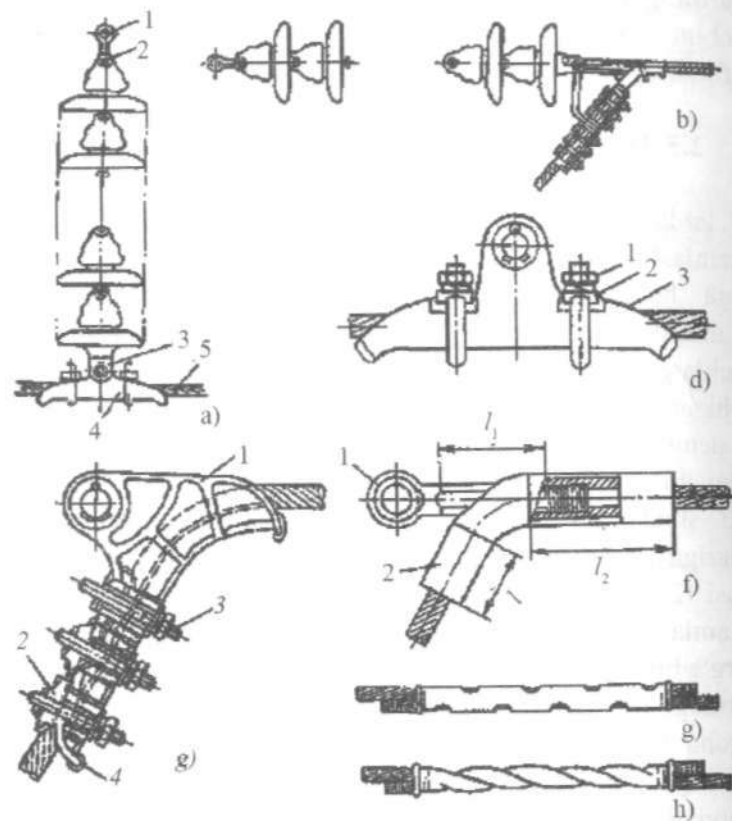
HL larda o'tkazgichlarni izolatorlarga va izolatorlarni tayanchlarga mahkamlash uchun xizmat qiluvchi armaturalar quyidagi asosiy turlarga bo'linadi: o'tkazgichlarni osma izolatorlar shodasiga mahkamlash uchun xizmat qiluvchi qisqichlar; izolatorlar shodalarini tayanchlarga va ularni o'zaro ketma-ket osish uchun xizmat qiluvchi ulovchi armaturalar; osilish oraliqlarida o'tkazgichlar va trosarlarni ulash uchun xizmat qiluvchi tutashtirgichlar.

Ulovchi armatura skoba, sirg'a va quloqchalardan tashkil topgan. Skoba shodalarni tirsaklarga yoki tirsaklarning mahkamlovchi detallariga tutashtirish uchun xizmat qiladi. Tutib turuvchi izolatorlar shodasi (2.10-a rasm) oraliq tayanch tirsagiga sirg'a 1 yordamida mahkamlanadi.

Sirg'a bir tomondan skoba yoki tirsak detaliga, ikkinchi tomondan yuqoridagi izolator shapkasi 2 ga tutashtiriladi. Pastki izolatorga quloqcha 3 orqali tutib turuvchi qisqich 4 mahkamlanadi. Qisqich 4 ning ichiga o'tkazgich 5 joylashtiriladi.

Shodalarda o'tkazgich va trosarlarni mahkamlash uchun xizmat qiluvchi qisqichlar ikkiga – oraliq tayanchlarida o'rnatiladigan tutib turuvchi va anker tayanchlarida o'rnatiladigan tortib turuvchi qisqichlarga bo'linadi.

O'tkazgichni mahkamlash mustahkamligi bo'yicha tutib turuvchi qisqichlar o'ta mustahkam va cheklangan mustahkamlikdagi qisqichlarga bo'linadi. O'ta mustahkam qisqichda (2.10-d rasm) siquvchi bolt 1 plashcha 2 yordamida o'tkazgichni qisqich korpusi 3 ga («qayiqcha»ga) siqadi va uni bir tomonlama tortish ta'sir etganda qo'zg'almas holda tutib turadi. O'ta mustahkamlikda qisqichlar hozirgi davrda 35–500 kV kuchlanishli HL larda foydalaniluvchi asosiy qisqichlardir.



2.10-rasm. Tutib turuvchi va taranglab turuvchi izolatorlar shodalari va armaturalar. a–qattiq qisqichli tutib turuvchi izolatorlar shodasi; b–bolt qisqichli taranglab turuvchi izoltorlar shodasi; d–qattiq tutib turuvchi qisqich; e–boltli taranglab turuvchi qisqich; f–presslanuvchi taranglab turuvchi qisqich; g,h–siqiluvchi va buraluvchi oval ulagichlar.

Cheklangan mustahkamlikdagi qisqichlar 500 kV kuchlanishli HL larda foydalaniladi. O'tkazgich uzilganda u qisqich orqali ikkinchi tomonga sirpanib o'tadi va natijada oraliq tayanchiga ta'sir etuvchi yonlama kuch kamayadi.

Anker tayanchlarida o'tkazgichlar tortib turuvchi qisqichlar yordamida butunlay mahkamlab qo'yiladi. Bunda bir osilish oralig'idagi o'tkazgich boshqa orliqdagi o'tkazgichga sirtmoq yoki shleyf orqali ulanadi.

Tortib turuvchi qisqichlarning bir nechta – 35–500 mm² ko'ndalang kesimli o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniluvchi – boltli, 300 mm² va undan yuqori ko'ndalang kesimli o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniluvchi – presslanuvchi, po'lat troslarni mahkamlash uchun qo'llaniluvchi – tirsakli turlari mavjud.

Boltli qisqichlar (2.10-e rasm) korpus 1, plashcha 2, gayka bilan siqiluvchi boltlar 3 va aluminiydan yasaluvchi prokladka 4 lardan iborat. Siqiluvchi qisqichlar (2.10-d rasm) po'lat anker 1 va aluminiy korpus 2 dan tashkil topgan. Po'lat ankerda o'tkazgichning l_1 uzunlikdagi po'lat o'zagi va aluminiy korpusga o'tkazgichning l_2 uzunlikdagi aluminiy qismi hamda shleyfning l uzunlikdagi qismi presslanadi. Sanoatda o'tkazgichlar ma'lum uzunlikdagi bo'laklar ko'rinishida ishlab chiqariladi. HL larda ularni ulash uchun tutashtirgichlar qo'llaniladi. Ular oval va presslanuvchi tutashtirgichlarga bo'linadi.

Oval tutashtirgichlar (2.10-g,h rasm) 185 mm² va undan kichik ko'ndalang kesim yuzali o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniladi. Ularda o'tkazgichlarning uchlari chalkashtirib qo'yiladi va tutashtirgich maxsus qisqich yordamida siqiladi (2.10-g rasm). Ko'ndalang kesim yuzasi 95 mm² gacha bo'lgan po'lat-aluminiy o'tkazgichlar tutashtirgichlarda eshish usulida mahkamlanadi (2.10-h rasm).

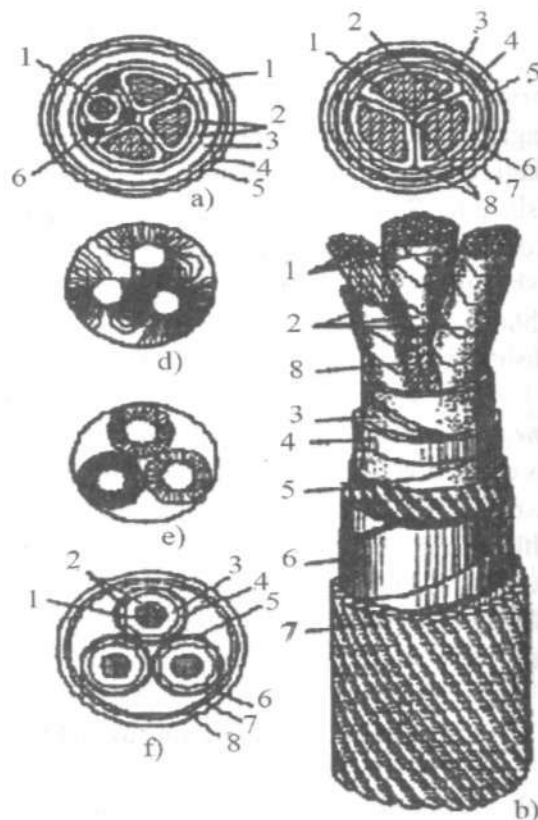
Presslanuvchi tutashtirgichlardan ko'ndalang kesim yuzasi 240 mm² va undan katta bo'lgan o'tkazgichlar va troslarni tutashtirishda foydalaniladi.

2.6. Kabel liniyalarining tuzilishi

Kabel deb, germetik qobiq ichida joylashib, ustida, zaruriy hollarda, himoya qoplamasi mavjud bo'lgan bir yoki bir nechta izolatsiya qilingan tok o'tkazuvchi tomirlar majmuasiga aytiladi.

Kabellar kuch va nazorat kabellariga bo'linadi. Nazorat kabellari elektr signallarini uzatish, o'lchash va boshqarish maqsadlarida ishlatiladi. Kuch kabellari kuchlanishi, kesim yuzasi, tomirlarining soni va qobig'ining materiali (aluminiy, qo'rg'oshin va h.k.) bilan farq qiladi.

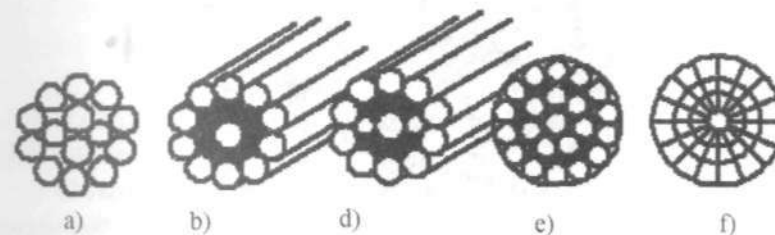
Kabelning asosiy elementlari bo'lib tok o'tkazuvchi tomir 1, tomir izolatsiyasi 2, o'ralgan jgut tolasi 3, belbog' izolatsiyasi 4, qobiq 5, to'qima qatlami 6, zirx 7, bitumli qoplama 8 (2.11-b rasm) hisoblanadi.



2.11-rasm. Kabel ko'ndalang kesim yuzasining ko'rinishlari.

Kabel tomiri deb bir yoki bir necha simlardan iborat bo'lib, o'zaro eshilgan, ustiga faza izolatsiyasi o'ralgan o'tkazgichlar (tolalar)ga aytiladi. Tok o'tkazuchi tomirlar mis va aluminiydan tayyorlanadi.

Kabel tomirlarining kesim yuzalari to'garaksimon (2.12-a rasm), segmentli bo'lib, bunda tomir tig'izlanmagan (2.12-e rasm) va tig'izlangan (2.12-f rasm) bo'lishi mumkin. Kabellar ulardagi tomirning soniga qarab bir, ikki, uch va to'rt tomirli kabellarga bo'linadi.



2.12-rasm. Kabel tomirlarining har xil ko'rinishlari.

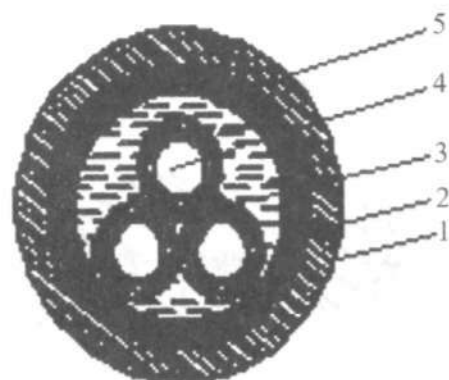
Bir tomirli kabellar o'zgaras tok kabel liniyalarida (KL) va 110 kV va undan yuqori kuchlanishli uch fazali o'zgaruvchan tok KLLarda, ikki tomirlisi – faqat o'zgaras tok KLLarda, uch tomirlisi – 1 kV dan yuqori bo'lgan uch fazali o'zgaruvchan tok KLLarda, to'rt tomirlisi esa 1 kV dan past kuchlanishli KLLarda qo'llaniladi.

Kabellarda izolatsiya materiallari sifatida rezina, kabel qog'ozi va plastmassalar ishlatiladi.

Tuzilishi jihatidan 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabellar markaziy moy o'tkazish kanali bo'lgan bir tomirli yoki po'lat quvurda moy ichida joylashuvchi uch tomirli bo'lishi mumkin. Bunday kabellarda moyning bosimini me'yorida tutib turish uchun maxsus ta'minlash punktlaridan foydalaniladi.

Past moy bosimli kabellar 110 kV kuchlanishli tarmoqlarda juda keng tarqalgan. Ular bir tomirli, markaziy moy o'tkazish kanaliga ega bo'lgan kabellardir. 220–500 kVli kabel liniyalarida qurish

uchun yuqori bosimli moy bilan to'ldirilgan kabellar ishlatiladi. Bunday kabellar 1,6 MPa bosim ostida moy bilan to'ldirilgan po'lat quvurlar (1) ichida joylashgan uchta bir fazali kabellardan (4) tashkil topgan. Kabelning 2.12- rasmdagi tasvirida 3-qog'oz izolatsiya, 2-sirt ekrani, 5-latun tasma.



2.12- rasm. Moy bilan to'ldirilgan yuqori kuchlanishli kabelning kesimi.

Kabel inshootlari deb kabellar, kabel muftalari, moy bilan ta'minlovchi apparatlar va boshqa kabel liniyalarining normal ishlashini ta'minlaydigan uskunalarni joylashtirish uchun maxsus mo'ljallangan inshootlarga aytiladi.

Kabel inshootlariga kabel tunellari, kanallar, kollektorlar, shaxtalar, binoning maxsus qavatlar, bloklar, estakadalar, gallereyalar, korobkalar va ta'minlab turuvchi punktlar kiradi.

Kabel tunneli deb, kabel va kabel muftalari uchun kerak bo'lgan tayanch konstruksiyalari joylashgan, o'tkazilgan kabel va kabel liniyalarini ta'mirlash va nazorat qilish uchun mo'ljallangan, odamlar butun bo'yi-basti bilan erkin o'tishi mumkin bo'lgan yopiq inshoot (koridor)ga aytiladi.

Kabel kanali deb kabel yotqizishga mo'ljallangan usti yopiq yerto'laga aytiladi. Bu kanalda odamlar yurishi mumkin bo'lmay, kabellarni joylashtirish, ta'mirlash va nazorat qilish ishlari faqat

kabelning ustini ochish orqali amalga oshiriladi. Ko'p holatlarda maxsus inshootlar qo'llanilmasdan kabellar chuqur handaqlarga to'g'ridan to'g'ri yotqiziladi. Buning uchun handaqqa sof tuproq qatlami yoki qum 110 mm qalinlikda yotqiziladi. U qatlamning ustiga kabel yotqiziladi, ustidan mexanik shikastdan saqlash uchun g'isht yoki plita yopilib, handaq tuproq bilan to'ldiriladi.

Moy bilan to'ldirilgan kabellarda yer usti yoki ostida qurilgan moy bilan ta'minlovchi punktlar tegishli uskunalar (ta'minlash bloki va agregatlari, bosim baklari va boshqalar) bilan jihozlanadi.

Nazorat sovellari

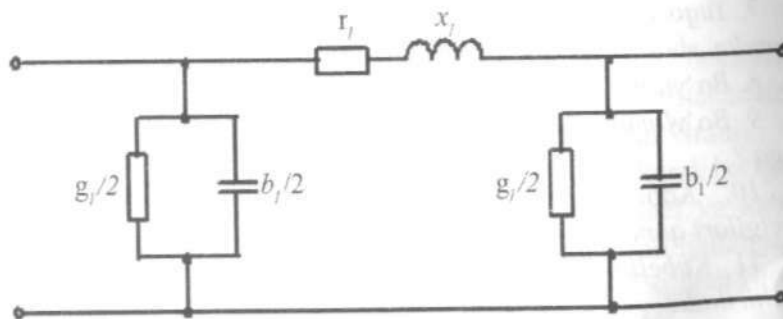
1. O'tkazgich simlari qanday materiallardan tayyorlanadi va ularning izolyatsiya qilinmagan qanday turlari bor?
2. O'tkazgich simlarining shartli belgilari qanday ma'lumotlarni anglatadi?
3. Havo liniyasi nima? Ularninig qanday turlari mavjud?
4. Havo liniyasi tayanchi turlari va vazifalari nimalardan iborat?
5. Izolyatorlar va armaturalar nima maqsadda qo'llaniladi?
6. Tayanchlarda o'tkazgich simlari va himoya troslari qanday joylashtiriladi?
7. Yuqori kuchlanishli liniyalar temir yo'lar bilan kesishganda qanday shartlarga rioya qilish lozim?
8. Bo'ylama elektr ta'minot tizimi nima?
9. Bo'ylama elektr ta'minoti liniyalarini qanday tizimlarga ega?
10. Kabellar konstruksiyalari turlariva ularning shartli belgilari qanday?
11. Kabellarning o'zaro ulanish va ularning qanday amalga oshiriladi?

3. ELEKTR TIZIMI ELEMENTLARINING XARAKTERISTIKASI VA PARAMETRLARI

3.1. Elektr uzatish liniyalarining asosiy parametrlari va almashtirish sxemalari

Ko'pgina hollarda elektr uzatish liniyalarining parametrlari (aktiv va reaktiv qarshiliklar, aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklar) uning uzunligi bo'ylab bir tekis taqismlangan deb qarash mumkin. Nisbatan katta bo'lmagan uzunlikdagi elektr uzatish liniyalari uchun parametrlarning taqsimlanganligini e'tiborga olmaslik va jamlangan parametrlar – liniyaning aktiv va reaktiv qarshiliklari r_l va x_l aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklari g_l va b_l lardan foydalanish mumkin.

Uzunligi 300–400 km dan oshmagan 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlovchi havodagi elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi odatda Π -simon ko'rinishda tasvirlanadi (3.1-rasm).



3.1-rasm. Havodagi elektr uzatish liniyasining Π -simon almashtirish sxemasi.

Aktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$r_l = r_0 l, \quad (3.1)$$

bunda r_0 – o'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi (temperaturasi $+20^\circ\text{C}$ bo'lgan holatdagi); l – liniyaning uzunligi, km.

Simlar va kabellarning aktiv qarshiliklari 50 Hz chastotada taxminan omik qarshilikka (ya'ni o'zgarmas tokdagi qarshiligiga) tengdir. Shutufayli yuza effekti hodisasi e'tiborga olinmaydi. r_0 ning qiymati po'lat-aluminiy va boshqa rangli metallardan tayyorlangan o'tkazgichlar uchun ko'ndalang kesim yuzalariga bog'liq ravishda qo'llanma jadvalidan aniqlanadi. Po'lat o'tkazgichlar uchun yuza effektini hisobga olmaslik mumkin emas. Ularda r_0 kesim yuzasi va oquvchi tokka bog'liq bo'lib, qiymatlari qo'llanma jadvalidan olinadi. O'tkazgichning temperaturasi 20°C dan farq qilganda r_0 mos formulalar bo'yicha topiladi.

Reaktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$x_l = x_0 l, \quad (3.2)$$

bunda x_0 – solishtirma reaktiv qarshilik, Om/km.

Elektr uzatish liniyasining alohida fazalaridagi reaktiv qarshiliklar umumiy holda turlicha. Simmetrik holatlarni hisoblashda x_0 ning quyidagi formula bo'yicha topiluvchi o'rtacha qiymatidan foydalaniladi:

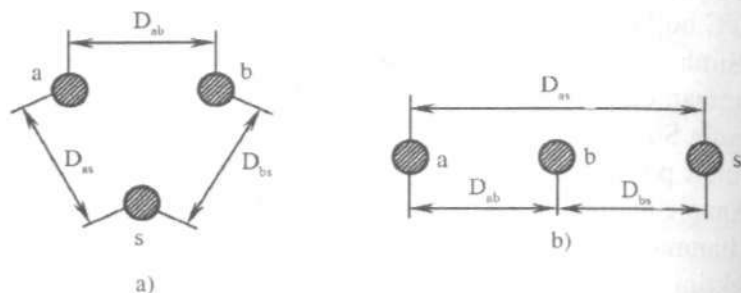
$$x_0 = 0,144 \lg(D_{or} / r_{oi}) + 0,0157, \quad (3.3)$$

bunda r_{oi} – o'tkazgichning radiusi; D_{or} – faza o'tkazgichlari oraliqidagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}, \quad (3.4)$$

bunda D_{ab}, D_{bc}, D_{ca} – mos faza o'tkazgichlari oralaridagi masofa. Masalan, faza o'tkazgichlari tomoni D ga teng bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashganda (3.2-a rasm)

o'rtacha geometrik masofa D ga, faza o'tkazgichlari gorizontall joylashib (3.2-a rasm), qo'shni o'tkazgichlar oralaridagi masofa D ga teng bo'lganda esa o'rtacha geometrik masofa $\sqrt[3]{2}D$ ga tengdir.



3.2- rasm. O'tkazgichlarning HL tayanchlarida uchburchakning uchlarida (a) va gorizontall joylashuvi (b).

Ikki zanjirli tayanchlarda ikkita liniya parallel joylashganda har bir faza o'tkazgichini kesib o'tavchi magnit oqimi liniyaning har ikkala zanjiri orqali oquvchi toklar bilan belgilanadi. Ikkinchi zanjirning ta'siri natijasida x_0 ning o'zgarishi birinchi navbatda zanjirlar orasidagi masofaga bog'liqdir. Bitta zanjir uchun x_0 ning ikkinchi zanjir hisobga olingan va olinmagan holatlardagi qiymatlari oralaridagi farq 5–6% dan oshmaydi va shu sababli ikkinchi zanjirning ta'siri amaliy hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi.

Nominal kuchlanishi 330 kV va undan yuqori bo'lgan elektr uzatish liniyalarida faza o'tkazgichlari bir nechta o'tkazgichlarga parchalanadi. Bunday hollarda (3.3) formuladagi r_{oT} o'rniga quyidagi formula bo'yicha topiluvchi r_{ek} dan foydalaniladi:

$$r_{ek} = \sqrt[n_f]{r_{oT} a_{oT}^{n_f-1}}, \quad (3.5)$$

bunda r_{ek} — bitta fazadagi o'tkazgichlarning ekvivalent radiusi; a_{oT} — bitta fazadagi o'tkazgichlar oralaridagi o'rtacha geometrik masofa; n_f — bitta fazadagi o'tkazgichlar soni.

Parchalangan o'tkazgichli EULLar uchun (3.3) formuladagi so'nggi tashkil etuvchi $0,0157/n_f$ ko'rinishda bo'ladi. Shuningdek, bunday EULLar uchun solishtirma aktiv qarshilik quyidagicha topiladi:

$$r_0 = r_{oT} / n_f$$

bunda r_{oT} — fazadagi bitta o'tkazgichning qo'llanma jadvalidan olinuvchi solishtirma aktiv qarshiligi.

Po'lat-aluminiy o'tkazgichlar uchun x_0 kesim yuzasiga, po'lat o'tkazgichlar uchun esa kesim yuzasi va tokka bog'liq holda qo'llanma jadvalidan olinadi.

EULning aktiv o'tkazuvchanligi ikkita ko'rinishdagi aktiv quvvat isroflarini ifoda etadi: izolatorlar orqali oquvchi daydi toklar tufayli yuz beruvchi isroflar va tojlanish isroflari.

Izolatorlardagi daydi toklar qiymati juda kam bo'lib, amaldagi hisoblashlarda ular tufayli yuz beruvchi isroflarni hisobga olmaslik mumkin. Tojlanish darajasi o'tkazgichdagi kuchlanish va uning radiusiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli bu isrofning qiymatini ruxsat etilgan oraliqda tutish uchun tojlanish bo'yicha ruxsat etiluvchi eng kichik kesim yuzasi belgilangan. Unga muvofiq eng kichik kesim yuzasi 110 kV uchun 70 mm², 150 kV uchun 120 mm², 220 kV uchun 240 mm².

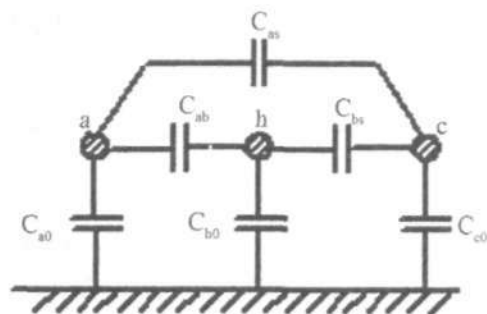
220 kV gacha kuchlanishli tarmoqlarning barqaror holatlarini hisoblashda aktiv o'tkazuvchanlik amalda e'tiborga olinmaydi. 330 kV va undan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda quvvat isroflarini aniqlash va optimal holatlarni hisoblashda tojlanish isrofi hisobga olinishi lozim. Buning uchun, odatda, tojlanish isrofning kuchlanishga turli ko'rinishdagi bog'lanishlari hisobga olinadi.

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi b_1 alohida faza o'tkazgichlari oralaridagi va faza o'tkazgichlari bilan yer orasidagi sig'im ta'sirida (3.3- rasm) vujudga keladi va quyidagicha hisoblanadi:

$$b_1 = b_0 I, \quad (3.6)$$

bunda b_0 – solishtirma sig‘im o‘tkazuvchanlik bo‘lib, qo‘llanma jadvalidan aniqlanishi yoki quyidagi formula bo‘yicha hisoblanishi mumkin:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{sr}}{r_{o't}}} \cdot 10^{-6}. \quad (3.7)$$

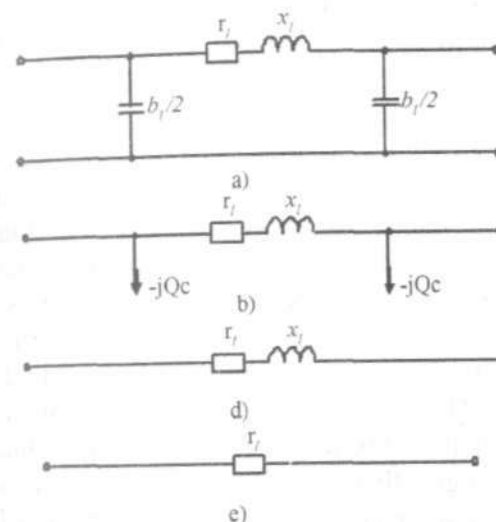


3.3- rasm. HL o‘tkazgichlari va ular bilan yer orasida hosil bo‘luvchi sig‘imlar.

Aksariyat hollarda 110–220 kV kuchlanishli EULLarni hisoblashda ularning sxemalari yetarlicha sodda ko‘rinishda (3.4-b rasm) ifodalanadi. Bu sxemada sig‘im o‘tkazuvchanlik o‘rniga u ta‘sirida ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvat hisobga olinadi (3.4-a rasm). EUL sig‘im quvvatining yarmi quyidagicha topiladi:

$$Q_c = 3I_c U_n = 3U_n^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_0 I = \frac{1}{2} U^2 b_n, \quad (3.8)$$

bunda U_f va U – faza va fazalararo kuchlanishlar, kV; I_c – yerga tomon oquvchi sig‘im toki, $I_c = U_f b_0 / 2$.



3.4-rasm. Elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi:

a, b – 110–220 kV kuchlanishli havodagi uzatish liniyalari uchun;
c – 35 kV va undan past kuchlanishli havodagi uzatish liniyalari uchun;
d – 10 kV va undan past kuchlanishli kabelli uzatish liniyalari uchun.

(3.8) dan ko‘rinadiki, EULda ishlab chiqariluvchi Q_c reaktiv quvvat (zaryad quvvati) kuchlanishning kvadratiga to‘g‘ri proporsionaldir.

35 kV va undan past kuchlanishli havodagi EULLarda b_c va bunga mos ravishda Q_c juda kichik bo‘lganligi sababli e‘tiborga olinmaydi (3.4-d rasm). 330 kV va undan yuqori kuchlanishli 300–400 km dan uzun liniyalarning Π -simon almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlashda qarshilik va o‘tkazuvchanliklarning liniya davomida bir tekis taqsimlanganligi hisobga olinadi.

3.2. Kabelli elektr uzatish liniyalarining parametrlari

Kabelli elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari ham umumiy hollarda havodagi liniyalardagi kabi Π -simon

ko'inishda ifodalanadi (3.1-rasm). Ularda ham solishtirma aktiv va reaktiv qarshiliklar r_0 , x_0 havodagi liniyalardagi kabi qo'llanma jadvali bo'yicha aniqlanadi. (3.3), (3.7) formulalardan ko'rinib turibdiki, o'tkazgichlarning yaqinlashishi bilan x_0 kamayadi va b_0 ortadi. Kabelli EULlarda faza o'tkazgichlari oralaridagi masofalar kam bo'lganligi sababli x_0 havodagi EULlardagiga nisbatan juda kam bo'ladi. 10 kV va undan past kuchlanishdagi kabelli tarmoqlarning holatlarini hisoblashda faqat aktiv qarshilikni hisobga olish mumkin (3.4-e rasm). Kabeli liniyalarda sig'im toki va mos ravishda Q_c havodagi liniyalardagiga nisbatan kattadir. Yuqori kuchlanishli kabel liniyalarida Q_c hisobga olinib (3.4-b rasm), bunda solishtirma zaryad quvvati Q_{c0} qo'llanma jadvaldan aniqlanishi mumkin. g aktiv o'tkazuvchanlik 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabeli liniyalarda hisobga olinadi. Kabellar almashtirish sxemalarining qo'llanma jadvallarda berilgan solishtirma parametrlari r_0 , x_0 va Q_{c0} taxminiydir. Kabelning zavod xarakteristikalarini bo'yicha ularni yanada aniqroq hisoblash mumkin.

3.1 - misol. Kesim yuzasi 10 mm^2 bo'lgan mis tomirli kabeldan tayyorlangan 5 km uzunlikdagi 6 kV nominal kuchlanishli liniyaning solishtirma parametrlari va uning almashtirish sxemasi hisob parametrlarini topish talab etiladi. Berilgan kesim yuzali va nominal kuchlanishli kabeldan tayyorlangan liniyaning solishtirma parametrlarini qo'llanma jadvallari bo'yicha aniqlaymiz:

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

Almashtirish sxemasining hisob parametrlarini topamiz:

$$r = 1,84 \cdot 5 = 9,2 \text{ Om};$$

$$x = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ Om};$$

$$b = 63 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ sm / km}.$$

Almashtirish sxemasidagi o'tkazuvchanlikni hisobga olishning maqsadga muvofiqligini baholash uchun bu o'tkazuvchanlikda ishlab chiqariluvchi zaryad quvvatini hisoblaymiz:

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

Ko'rilayotgan kabel uchun qizish shartlari bo'yicha ruxsat etilgan tokni qo'llanma jadvallari bo'yicha aniqlash mumkin: 80 A . Bunday holatda

$$S_{maks} = \sqrt{3} U_{nom} I_{maks} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 80 = 830 \text{ kB} \cdot \text{A}.$$

Bunga mos ravishda,

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

Zaryad quvvatining hosil bo'lgan qiymati almashtirish sxemasi asosida bajariluvchi hisoblash natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsata olmaydi. Shu sababli bu quvvatni e'tiborga olmaslik va almashtirish sxemasidan sig'im o'tkazuvchanlikni olib tashlash mumkin.

Induktiv qarshilik uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{x}{r} = \frac{0,5 \cdot 100}{9,2} = 6\%.$$

Bunday kichik nisbiy qiymatga ega bo'lganda induktiv qarshilikni ham almashtirish sxemasidan olib tashlash mumkin. Bunga mos holda ko'rilayotgan masala uchun liniyaning almashtirish sxemasi faqat $r = 9,2 \text{ Om}$ (3.4-e rasm) aktiv qarshilikdan iborat qilib tasvirlanishi lozim.

3.2-misol. O'tkazgichlari oralaridagi masofa $D_{AB} = D_{BC} = 4 \text{ m}$ bo'lgan II-simon tayanchlarda joylashgan, $AC \text{ 150/24}$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 110 kV kuchlanishli bir zanjirli havo liniyasining solishtirma parametrlarini topish va uzunligi 50 km bo'lgan ikki zanjirli liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini hisoblash talab etiladi.

$AC \text{ 150/24}$ markali o'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi qiymati va diametrini qo'llanma jadvali bo'yicha aniqlaymiz:

$r_0 = 0,198 \text{ Om/km}$, $d_{pr} = 2r_{pr} = 17,1 \text{ mm}$. Liniyaning o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofani topamiz:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} = \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8} = 5,04 \text{ m} = 5040 \text{ mm}.$$

Liniyaning solishtirma induktiv qarshiligi va solishtirma sig'im o'tkazuvchanligini hisoblaymiz:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{o'r}}{r_{o'l}} + 0,157 = 0,144 \cdot \lg \frac{5040}{8,55} + 0,157 = 0,416 \text{ Om/km};$$

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

AC 150/24 markali o'tkazgich uchun $D_{sr} = 5040 \text{ mm}$ bo'lgan holatda qidirilayotgan parametrlarni qo'llanma jadvallari bo'yicha bevosita aniqlash mumkin: $x_0 = 0,42 \text{ Om/km}$, $b_0 = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$. x_0 va b_0 larning qiymatlarini hisoblashga nisbatan qo'llanma jadvallaridan foydalanib aniqlash qulay va shu sababli ulardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Ko'rilayotgan holatda solishtirma parametrlarning nisbati

$$\frac{r_0}{x_0} = \frac{0,198}{0,42} = 0,471 \text{ ga teng,}$$

ya'ni $r_0 < x_0$. Bunday nisbat $U_{nom} = 110 \text{ kV}$ bo'lgan havo liniyasi uchun xarakterlidir.

Uzunligi 50 km bo'lgan ikki zanjirli liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini topamiz:

$$r = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 50 = 4,95 \text{ Om};$$

$$x = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 50 = 10,5 \text{ Om};$$

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

Liniyaning umumiy sig'im o'tkazuvchanligida ishlab chiqariluvchi zaryad quvvatining taxminiy qiymati:

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

Bunday quvvat liniyaning holatini hisoblashda e'tiborga olinishi shart. Aktiv o'tkazuvchanlikni e'tiborga olmaslik mumkin, chunki AC 150/24 markali o'tkazgichning diametri $17,1 \text{ mm}$ bo'lib, u tojlanish shartlari bo'yicha minimal ruxsat etilgan diametrdan katta. Shu sababli ko'rilayotgan liniyaning almashtirish sxemasida aktiv va induktiv qarshiliklar hamda sig'im o'tkazuvchanliklar mavjud bo'lib, u 3.4-b rasmdagi ko'rinishda tasvirlanadi.

3.3-misol. II simon tayanchlarda joylashib, $3 \times AC \ 500/64$ parchalangan o'tkazgichlardan tayyorlangan 500 kV kuchlanishli havo liniyasining solishtirma parametrlarini topish va uzunligi 200 km bo'lgan liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini hisoblash talab etiladi.

O'tkazgichlar gorizontal joylashib, qo'shni fazalar oralaridagi masofa $D_{AB} = D_{BC} = 12 \text{ m}$; bitta fazadagi o'tkazgichlar oralaridagi masofa $a_{12} = a_{23} = a_{13} = 40 \text{ sm}$. Tojlanish tufayli isrof bo'luvchi yillik o'rtacha quvvatning solishtirma qiymati $\Delta P_{moj.0} = 7,5 \text{ kW/km}$.

AC 500/64 markali bitta o'tkazgich uchun $r_{rut} = 0,06 \text{ Om/km}$; o'tkazgichning diametri $d_{o'l} = 2 \cdot r_{o'l} = 30,6 \text{ mm}$. Parchalangan o'tkazgich uchun

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

Bitta fazadagi o'tkazgichlarning ekvivalent radiusi:

$$r_e = \sqrt[n]{r_{o'l} \cdot a_{o'r}^{n-1}} = \sqrt[3]{15,3 \cdot 400^2} = 134 \text{ mm}.$$

Faza o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24} = 15,1 \text{ m} = 15100 \text{ mm}.$$

Solishitirma induktiv qarshilik, sig'im va aktiv o'tkazuvchanliklarni topamiz:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{o'r}}{r_e} + \frac{r_{0,o'r}}{n} = 0,144 \lg \frac{15100}{134} + \frac{0,0157}{3} = 0,295 + 0,0052 = 0,3 \text{ } \Omega / \text{km};$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg \frac{D_{o'r}}{r_e}} = 3,68 \cdot 10^{-6} \text{ } \text{Sm} / \text{km}.$$

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\text{moj},0}}{U_{\text{nom}}^2} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{500^2} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ } \text{Sm} / \text{km}.$$

Yuqoridagi misollarda ko'rib o'tilgan holatlardagidan farqli ravishda 500 kV kuchlanishli elektr uzatish liniyasi uchun quyidagi nisbat xarakterlidir:

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

Uzunligi 200 km bo'lgan liniyaning almashtirish sxemasi parametrlari:

$$r = r_0 l = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ } \Omega,$$

$$x = x_0 l = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ } \Omega,$$

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

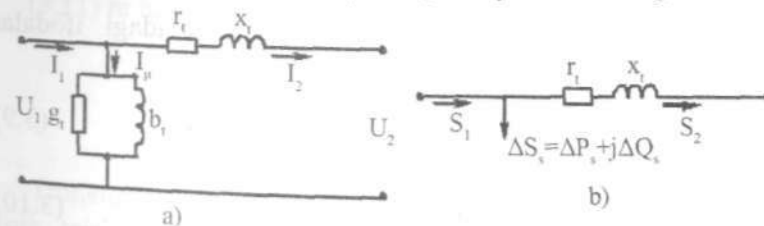
$$g = g_0 l = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ } \text{Sm}.$$

Liniyaning almashtirish sxemasi 3.1-rasmdagi ko'rinishda bo'ladi.

3.3. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning parametrlari va almashtirish sxemalari

Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasini Γ -simon ko'rinishda ifodalash mumkin (3.5-rasm).

Almashtirish sxemasining bo'ylama qismi transformatorning aktiv va reaktiv qarshiliklari r_1, x_1 ga ega. Bu qarshiliklar mos ravishda transformatorning birlamchi va birlamchi chulg'amga keltirilgan ikkilamchi chulg'amining aktiv va reaktiv qarshiliklari yig'indisiga tengdir. Bunday sxemada transformatsiya, ya'ni ideal transformator mavjud bo'lmasdan, ikkilamchi chulg'amning qarshiliklari birlamchi chulg'amga keltirilgan. Bunday keltirishda ikkilamchi chulg'amning qarshiligi transformatsiyalash koeffitsientining kvadratiga ko'paytiriladi. Agar transformator bilan bog'langan tarmoq birgalik-da ko'rilsa va bunda tarmoq kuchlanishning bir xil darajasiga keltirilmasa, u holda transformatorning almashtirish sxemasida ideal transformator ko'rsatiladi. Almashtirish sxemasidagi ko'ndalang shoxobcha (magnitlanish shoxobchasi) aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklar g, b dan tashkil topgan. Aktiv o'tkazuvchanlik transformatorning po'latdan yasaluvchi o'zagida magnitlovchi tok I_μ orqali isrof bo'luvchi aktiv quvvat isroflarini ifodalaydi. Reaktiv o'tkazuvchanlik esa transformator chulg'amlaridagi o'zaro induksiya magnit oqimi bilan belgilanadi.



3.5-rasm. Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi: a- Γ -simon almashtirish sxemasi; b-soddalashtirilgan almashtirish sxemasi.

220 kV va undan past kuchlanishli elektr tarmoqlarini hisoblashda transformatorlar soddalashtirilgan almashtirish sxemalari bilan

tasvirlanadi (3.5-brasm). Busxemada magnitlanish shoxobchasining o'rniga transformator po'latida yoki salt ishlash holatida isrof bo'luvchi quvvat yuklama sifatida hisobga olinadi.

Har bir transformator uchun quyidagi parametrlar (katalog ma'lumotlari) ma'lumdir: S_n —transformatorning nominal quvvati, MVA; U_{yuz} , U_{qn} —yuqori va quyi chulg'amlarining nominal kuchlanishlari, kV; ΔP_n — salt ishlash holatidagi aktiv isrof, kVt; $I_n\%$ — salt ishlash toki, I_s dan %; ΔP_k —qisqa tutashuv isrofi, kVt; $u_k\%$ — qisqa tutashuv kuchlanishi, U_n dan %. Bu ma'lumotlar bo'yicha almashtirish sxemasining barcha parametrlarini (qarshiliklar va o'tkazuvchanliklarni), shuningdek, ulardagi isroflarni topish mumkin. Magnitlanish shoxobchasi o'tkazgichlari salt ishlash tajribasi natijalaridan foydalanib topiladi. Bu tajribada transformatorning ikkilamchi chulg'ami ochiq holatda bo'lib, birlamchi chulg'amga nominal kuchlanish beriladi. Bu holatda almashtirish sxemasining bo'ylama qismida tok nolga teng bo'lib, uning bo'ylama qismiga U_n kuchlanish qo'yilgan. Bunday holatda transformator faqat salt ishlash isroflariga teng bo'lgan quvvatni iste'mol qiladi. Bunda transformator faqat salt ishlash holatidagiga teng bo'lgan quvvat isrof qiladi:

$$\Delta \dot{S}_s = \Delta P_s + j \Delta Q_s.$$

Bundan kelib chiqib, o'tkazuvchanliklar quyidagi ifodalar bo'yicha topiladi:

$$g_t = \Delta P_s / U_n^2, \quad (3.9)$$

$$b_t = \Delta Q_s / U_n^2. \quad (3.10)$$

Transformatorning, odatda, po'latdan yasaluvchi o'zagida isrof bo'luvchi aktiv quvvat asosan kuchlanish bilan belgilanadi va u taxminan yuklamaning toki va quvvatiga (I_s va S_s) bog'liq emas deb nazarda tutiladi. 3.4-b rasmdagi sxemada ΔP_s o'zgarmas va katalog qiymatiga tengdir. Transformator magnitlash toki juda

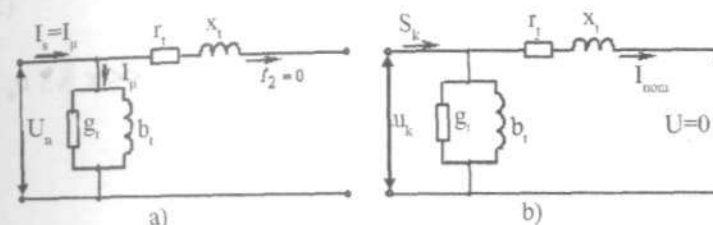
kichik aktiv tashkil etuvchiga ega, shu sababli

$$I_\mu = I_s \approx I_s^*,$$

bunda I_s^* — I_s ning reaktiv tashkil etuvchisi.

Yuqoridagidan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\Delta Q_s = 3 I_s^* U_{1n} \approx 3 I_s U_{1n} = 3 \cdot \frac{I_s \% I}{100} \cdot U_{1n} = \frac{I_s \% S_n}{100}. \quad (3.11)$$



3.6- rasm. Salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari sxemalari:

a—salt ishlash tajribasi; b—qisqa tutashuv tajribasi.

Transformatorning salt ishlash holatidagi aktiv quvvati isrofi ΔP_s reaktiv quvvat isrofi ΔQ_s dan ancha kichik bo'lib, salt ishlash holatidagi to'la quvvati S_s taxminan magnitlovchi quvvat ΔQ_s ga teng.

(3.11) ni hisobga olib, b_t quyidagicha aniqlanadi:

$$b_t = \frac{I_s \% S_n}{100 U_n^2}. \quad (3.10, a)$$

Transformatorlarning r_t va x_t qarshiliklari qisqa tutashuv (qt) tajribasi natijalaridan foydalanib topiladi. Bu tajribada transformatorning ikkilamchi chulg'ami qisqa tutashtiriladi va birlamchi chulg'amiga har ikkala chulg'amlarda nominal toklar oqishini ta'minlovchi kuchlanish beriladi. Bu kuchlanish qisqa tutashuv kuchlanishi u_k deb yuritiladi (3.6-b rasm). Qisqa tutashuv holatida u_k U_n ga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli

magnitlanish shoxobchasida isrof bo'luvchi quvvat ham juda kichik bo'ladi va deyarli barcha quvvat chulg'amda isrof bo'ladi, ya'ni

$$\Delta P_k = 3I_n^2 r_n = \frac{S_n^2}{U_n^2} r_n, \quad (3.12)$$

va

$$r_n = \frac{\Delta P_k U_n^2}{S_n^2}. \quad (3.13)$$

Zamonaviy katta quvvatli transformatorlarda $r_n \ll x_n$ va $u_q \approx u'_q$. Qisqa tutashuv tajribasidan (3.6-b rasm)

$$u_q = \frac{u_q \% U_n}{100} \approx \sqrt{3} I_n x_n$$

va

$$x_n = \frac{u_q \% U_n}{100 S_n}. \quad (3.14)$$

Transformator chulg'amidagi, ya'ni r_n qarshiliklagi aktiv quvvat isrofi yuklama toki va quvvati I_2 va S_2 ga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_t = 3I_2^2 r_t = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_t.$$

Agar so'nggi ifodadagi r_t o'rniga uning (3.13) dagi ifodasini qo'ysak va $U_2^2 \approx U_n^2$ ekanligini hisobga olsak, u holda quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\Delta P_t = \frac{\Delta P_k S_2^2}{S_n^2}. \quad (3.15)$$

x_t dagi reaktiv quvvat isrofi ham (3.15) kabi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta Q_t = 3I_2^2 x_t = \frac{S_2^2}{U_n^2} x_t = \frac{u_q \% S_2^2}{100 S_n}. \quad (3.16)$$

Yuklama toki I_2 va quvvati S_2 oqib o'tib turgan transformatorlarda quvvat isrofi (3.11), (3.15) va (3.16) larni hisobga olib, quyidagicha topiladi:

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_t = \Delta P_s + \frac{\Delta P_k S_2^2}{S_n^2}, \quad (3.17)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_s + \Delta Q_t = \frac{I_s \% S_n}{100} + \frac{u_q \% S_2^2}{S_n^2}. \quad (3.18)$$

Nazorat savolla

1. Havo va kabel liniyalarining aktiv qarshiligi qanday aniqlanadi?
2. Uch fazali liniya fazasi qarshiligi qanday aniqlanadi?
3. Uch fazali liniya sig'imi o'tkazuvchanligi qanday hisoblanadi?
4. Elektr uzatish liniyalarining vazifalari nimalardan iborat?
5. Transformator parametrlari amalda qanday aniqlanadi?
6. Ikki cho'lg'amli transformatorlarining asosiy parametrlari nimalardan iborat?
7. Transformator parametrlari amalda qanday aniqlanadi?
8. Transformatorlarining qanday almashtirish sxemalari mavjud?
9. Uch fazali transformatorlarda salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari qanday amalga oshiriladi?
10. Uch cho'lg'amli transformatorlarda almashtirish sxemalari qanday aniqlanadi?
11. Avtotransformator tuzilishi va ishlash asosi qanday?
12. Avtotransformator almashtirish sxemasiga ko'ra uning parametrlari qanday aniqlanadi?

IV. ELEKTR TARMOQLARIDAN ENERGIYA UZATISH NAZARIYASINING ELEMENTLARI.

4.1. Elektr tarmog'i ish holatining tahlili.

Ma'lumki, elektr energiyani uzatish jarayoni o'tkazgichlarning elektromagnit maydoni orqali amalga oshiriladi va bu jarayon to'lqinsimon xususiyatga ega bo'lib, bunda energiya isrofi sodir bo'ladi, ya'ni tok o'tkazgichlar va transformatorlar orqali oqayotganda ularni befoyda qizdirish orqali issiqlik ajralishini yuzaga keltiradi.

Bu isrof yuklama toklari bilan bog'liq bo'lganligi tufayli yuklama isrofi deb yuritiladi. Hozirgi davrda elektr tarmoqlarida o'rtacha isrof uzatilayotgan quvvatning 10% ni tashkil etib, u tufayli bir yil davomida ko'riluvchi zarar mamlakat miqyosida yuz millionlab so'mni tashkil etadi.

Bu xarajatlardan tashqari yil davomida tizimdagi isrofni qoplash uchun stansiya qurilmalariga qo'shimcha uskunalar, reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalar, yoqilg'i sarfi, qo'shimcha xodimlar mehnatini qoplash va boshqalar uchun bir vaqtning o'zida sarflanadigan qo'shimcha mablag' talab etiladi.

Shuning uchun bu isrofni kamaytirish yo'llarini qidirish va tadbirlarini ishlab chiqish uchun doimiy ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish zarurdir.

Elektr energiyani masofaga isroflarsiz uzatish o'ta yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan liniyalarda amalga oshirilishi mumkin. Ularda energiya 4 K temperaturagacha sovutilgan maxsus qotishmalaridan bajarilgan o'tkazgichlar orqali uzatiladi. Bunday liniyalarni yaratishning asosiy qiyinchiliklari past temperaturani ushlab turish bilan bog'liq.

Katta oqimdagi energiyani isrofsiz uzatish uchun juda ko'p muammo va masalalarni hal etish talab etiladi

4.2. Elektr uzatish liniyalarida quvvat isrofi

Uch fazali o'zgaruvchan tok liniyalaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar isrofi, agar liniyaning o'tkazuvchanliklarini ($B=0$, $G=0$) hisobga olmasak, quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta P = 3I^2 r = 3(I_a^2 + I_r^2)r, \quad (4.1)$$

$$\Delta Q = 3I^2 x = 3(I_a^2 + I_r^2)x. \quad (4.2)$$

Bunda r va x – liniyaning aktiv va induktiv qarshiliklari; I_a va I_r – yuklamaning to'la toki I ni aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari. Ma'lumki,

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi. \quad (4.3)$$

To'la tokni uning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari orqali ifodalaymiz:

$$I \cos \varphi = I_a, \quad I \sin \varphi = I_r. \quad (4.4)$$

I_a va I_r qiymatlarini (4.3) ga qo'yamiz:

$$P = \sqrt{3}I_a U, \quad Q = \sqrt{3}I_r U. \quad (4.5)$$

Bundan

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U}; \quad I_r = \frac{Q}{\sqrt{3}U} \quad \text{ifodalarni (4.1) va (4.2) ga qo'yib,}$$

quyidagi muhim ifodalarni hosil qilamiz:

$$\Delta P = 3I^2 r = 3\left(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2}\right)r = \frac{P^2 + Q^2}{U^2}r = \frac{S^2}{U^2}r. \quad (4.6)$$

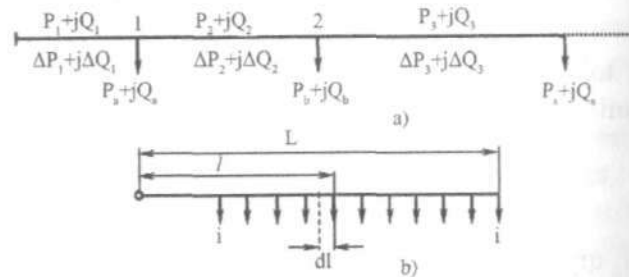
$$\Delta Q = 3I^2 x = 3\left(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2}\right)x = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x = \frac{S^2}{U^2} x. \quad (4.7)$$

Bunda S to'la quvvat. Paydo bo'lgan ifodalar bo'yicha quyidagi xulosalarni hosil qilamiz:

1. Aktiv va shuningdek reaktiv quvvatlar isrofi P va Q ga bog'liqdir.

2. Isrof kuchlanish kvadratiga teskari proporsional. Shu sababli kuchlanishning kichik qiymatga ko'tarilishi quvvat isrofini anchaga kamaytiradi. Ammo kuchlanishni ko'tarish qo'shimcha mablag' sarfini talab qiladi.

3. Liniya davomida bir necha ketma-ket ulangan yuklamalar mavjud bo'lganda (4.1-a, b rsam) undagi quvvat isrofi har bir uchastkadagi quvvat isroflarining yig'indisidan iboratdir, ya'ni



4.1-rasm Bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi.

$$\Delta P_z = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_n,$$

$$\Delta Q_z = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n.$$

Bunda $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots$ va $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots$ mos holda (4.6) va (4.7) ifodalar bo'yicha aniqlanadi.

Yuklama liniyaning uzunligi davomida bir xil taqsimlangan quvvat isrofi. Liniyaning butun uzunligida o'tkazgichning kesim yuzasini bir xil deb qabul qilamiz.

Uzunlik birligidagi liniyaning yuklamasini i_0 orqali belgilaymiz, ya'ni $i_0 = I/L$, A/km. Ta'minlovchi liniyaning boshlanishidagi I uzunlikdagi qismining dl masofasidagi yuklama idl ga tengdir.

Liniyaning dl uzunligining qarshiligi $r_0 dl$ orqali tokning oqib o'tishi natijasida yuz beruvchi quvvat isrofi:

$$d(\Delta P) = 3(il)^2 r_0 dl,$$

Butun ko'rilayogan L uzunlik liniyadagi umumiy quvvat isrofi ΔP ni aniqlash uchun $0 - L$ oralig'idagi hamma juda kichik isroflar $d(\Delta P)$ qiymatlarini qo'shib chiqamiz, ya'ni

$$\Delta P = \int_0^L 3(i_0 l)^2 r_0 dl = 3i_0^2 r_0 \int_0^L l^2 dl = 3i_0^2 r_0 \left[\frac{l^3}{3} \right]_0^L = I^2 r = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot r. \quad (4.8)$$

Yuqoridagi tartibda

$$\Delta Q = I^2 x = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x. \quad (4.9)$$

Shunday qilib, yuklama liniya davomida bir xil taqsimlanganda quvvat isrofi huddi shu yuklama liniyaning oxirida bo'lgan holatidagiga nisbatan uch marta kam bo'ladi. Bunga (4.4), (4.5), (4.8), (4.9) ifodalarni taqqoslash orqali ishonch hosil qilamiz.

Uch fazali sistema amalda juda keng tarqalgan. Bunday sistemada bir xil quvvat va kuchlanishda bir fazali tizimdagiga nisbatan quvvat isrofi kam bo'ladi. Bu sistemalardagi isroflarni taqqoslaylik.

Uch fazali tarmoqlar uchun

$$S = \sqrt{3}UI_3, \quad I_3 = \frac{S}{\sqrt{3}U}. \quad (4.10)$$

Bir fazali tarmoqlar uchun

$$S = UI_1, \quad I_1 = \frac{S}{U} \varphi. \quad (4.11)$$

Uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_3 = 3I_3^2 r_3, \quad \Delta Q = 3I_3 x_3. \quad (4.12)$$

Bir fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = 2I_1^2 r_1, \quad \Delta Q_1 = 2I_1 x_1. \quad (4.13)$$

(4.10) va (4.11) larni mos ravishda (4.12) va (4.13) larga qo'ysak, quyidagilar hosil bo'ladi:

uch fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_3 = \frac{S_2}{U_2} r_3, \quad \Delta Q_3 = \frac{S^2}{U^2} x_3 \quad (4.14)$$

bir fazali tarmoq uchun quvvat isrofi

$$\Delta P_1 = \frac{2S^2}{U^2} r_1, \quad \Delta Q_1 = \frac{2S^2}{U^2} x_1. \quad (4.15)$$

(4.14) va (4.15) taqqoslab, quyidagi xulosalarni hosil qilamiz. Haqiqatan ham uch fazali tarmoqlarda quvvat isrofi bir fazali tarmoqlardagiga nisbatan 2 marta kam.

Ammo, bir fazali sistemada ikkita, uch fazalida esa uchta o'tkazgich mavjud. Metall isrofini bir xil qilish uchun uch fazali tarmoqda o'tkazgichlarning kesim yuzasini bir fazalidagiga nisbatan 1,5 marta kamaytirish lozim. Bunda qarshilik 1,5 marta oshadi, ya'ni $r_3 = 1,5r_1$. Bu qiymatni ΔP_3 uchun ifodaga qo'ysak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\Delta P_3 = (1,5S^2 / U^2) r_1.$$

Demak, bir fazali tarmoqlarda quvvat isrofi uch fazali tarmoqlardagiga nisbatan $2/1,5 = 1,33$ marta ko'p bo'ladi.

4.3. Transformator va avtotransformatorlarda quvvat isrofi

Transformator va avtotransformatorlardagi aktiv va reaktiv quvvat isrofi salt ishlash holatidagi isroflar ΔP_s , ΔQ_s (g_1 va b_1 o'tkazuvchanliklardagi) va qisqa tutashuv holatidagi ΔP_T , ΔQ_T (chulg'amlarning r_1 va x_1 qarshiliklaridagi) isroflarga bo'linadi. Elektr uzatish liniyalarini transformatorlarni e'tiborga olib hisoblashda o'tkazuvchanliklar g_1 va b_1 o'tkazuvchanliklar mos yuklama ko'rinishida hisobga olinib, uzatilayotgan quvvat tenglamasiga (balansiga) kiradi.

Transformator po'latidagi o'ta magnitlash uchun va uyurma toklar tufayli bo'ladigan aktiv quvvat isrofi transformatorning pasport ma'lumoti sifatida beriluvchi nominal kuchlanish U ostidagi (salt ishlash holatida) aktiv o'tkazuvchanlik g_1 dagi isrof sifatida aniqlanadi. Bunda yuqori kuchlanish chulg'amidagi salt ishlash toki ta'sirida yuz beruvchi quvvat isrofi juda kam bo'lganligi sababli g_1 o'tkazuvchanlikdagi isrof uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$\Delta P_{mgl} \approx \Delta P_s \approx U_n^2 g_1. \quad (4.16)$$

Bunda ΔP_{mgl} transformatorning po'latida (ya'ni, odatda, po'latdan yasaluvchi o'zagida isrof bo'luvchi aktiv quvvat.

Transformatorning magnitlanishiga sarf bo'luvchi reaktiv quvvat (Q reaktiv o'tkazuvchanlik b_1 bilan belgilanadi) transformatorning nominal tokka nisbatan foiz hisobida beriluvchi salt ishlash tokidan foydalanib topiladi. Salt ishlash tokining aktiv qismi juda kichik bo'lganligi sababli $I_{po'l} = 0$ deb faraz qilsak, magnitlanish quvvati quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta Q_{pul} = \Delta Q_s = \frac{I_s \% S_n}{100} = U^2 b_1, \quad (4.17)$$

Chulg'amlarni qizdirishga sarf bo'luvchi qisqa tutashuv

holatidagi aktiv quvvat isrofini (bu isrof misdagi quvvat isrofi deb yuritiladi) (4.6) formuladagidek, quyidagicha topish mumkin:

$$\Delta P_t = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} r_t. \quad (4.18)$$

Shu singari magnit oqimining yoyilishi tufayli yuzaga keluvchi reaktiv quvvat isrofini (4.7) formuladagi kabi aniqlash mumkin:

$$\Delta Q_t = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} x_t. \quad (4.19)$$

(4.18) va (4.19) ifodalardagi kuchlanish transformator bevosita ulangan hisoblanayotgan liniyaning nominal kuchlanishidir.

Transformatorning chulg'amidagi isrof ifodasini (4.18) dan boshqacharoq ko'rinishda ham tasvirlash mumkin. Ma'lumki, qisqa tutashuv tajribasida $I=I_n$ bo'lib, aktiv quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_q \approx 3I_n^2 r_t = \frac{S_n^2}{U_n^2} r_t.$$

Yuklama tokining boshqa qiymatida ham transformatoridagi aktiv quvvat isrofi shu kabi topiladi:

$$\Delta P_t \approx 3I^2 r_t = \frac{S^2}{U_n^2} r_t.$$

O'zaro munosabat $\Delta P_t / \Delta P_q$ dan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta P_t = \Delta P_q (S / S_n)^2. \quad (4.20)$$

Agar ΔQ_t uchun (4.19) ifodadagi x_t ning o'rniga uning (3.14)

dagi ifodasini qo'ysak, quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\Delta Q_t = \frac{u_q \%}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n}. \quad (4.21)$$

(4.18) va (4.19) ifodalar ikki chulg'amli va, shuningdek, uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar uchun ularning chulg'amlarida yuklama har qanday bo'lganda ham quvvat isrofini aniqlash uchun yaroqlidir. Uch chulg'amli transformator yoki avtotransformatorning biror chulg'amidagi isrofini hisoblashda formuladagi transformatorning umumiy yuklamasi o'rniga chulg'amning yuklamasi hamda r_t va x_t qarshiliklar o'rniga mos chulg'amning qarshiligi qo'yiladi. (4.20) va (4.21) formulalar past kuchlanish chulg'ami bo'lingan bo'lib, ulardagi yuklamalar bir xil bo'lgan ikki chulg'amli transformatorlardagi isroflar uchun ham o'rinlidir.

Shunday qilib, transformatoridagi umumiy aktiv, reaktiv va to'la quvvat isroflari quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_t + \Delta P_q,$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_t + \Delta Q_s,$$

$$\Delta S_{\Sigma} = \sqrt{\Delta P_{\Sigma}^2 + \Delta Q_{\Sigma}^2}.$$

4.1- misol. 35 kV kuchlanishli AC-70 markali o'tkazgichdan tayyorlangan ikki zanjirli 20 km uzunlikdagi liniyaning oxiridagi yuklama $S=5500$ kVA. Liniya zanjirlari ayrim tayanchlarda tortilgan bo'lib, o'tkazgichlar tayanchda tomoni 3,5 m bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashgan. Liniyadagi quvvat isroflari va uning boshlanishidagi quvvatni hisoblash talab etiladi.

O'tkazgichlar oralaridagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bs} \cdot D_{ac}} = \sqrt[3]{3,5 \cdot 3,5 \cdot 3,5} = 3,5 \text{ m}.$$

Aniqlangan D_{or} bo'yicha AC-70 markali o'tkazgichdan yasalgan havodagi liniyaning 1 km uzunligi uchun aktiv va reaktiv qarshiliklarni qo'llanma jadvaldan olamiz:

$$r_0 = 0,45 \text{ Om/km}, \quad x_0 = 0,404 \text{ Om/km}.$$

Liniyaning aktiv va reaktiv qarshiliklarini topamiz:

$$r = r_0 L / 2 = 0,45 \cdot 20 / 2 = 4,5 \text{ Om},$$

$$x = x_0 L / 2 = 0,404 \cdot 20 / 2 = 4,04 \text{ Om}.$$

(4.6) va (4.7) ifodalar bo'yicha liniyadagi quvvatlar isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta P = \frac{S_1^2}{U^2} r = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 111,12 \text{ kW},$$

$$\Delta Q = \frac{S_1^2}{U^2} x = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 4,04 \cdot 10^{-3} = 99,76 \text{ kVAR},$$

$$\Delta S = \sqrt{111,12^2 + 99,76^2} = 149,33 \text{ kVA}.$$

Liniyaning boshlanishidagi quvvat

$$S = S_1 + \Delta S = 5500 + 149,33 = 5649,33 \text{ kVA}.$$

4.2 - misol. 4.1-misolda ko'rib o'tilgan ikki zanjirli liniya oxiridagi iste'molchi nimstansiyasida ikkita 6300 kVA nominal quvvatli pasaytiruvchi transformatorlar parallel holda ishlamoqda. Tarmoqdagi quvvatlar isrofini hisoblash talab etiladi.

6300 kVA nominal quvvatli ikki chulg'amli transformatorning zaruriy pasport ma'lumotlarini qo'llanma jadvalidan olamiz:

$$S_n = 6300 \text{ kVA}, \quad r_1 = 1,60 \text{ Om},$$

$$U_{yn} = 35 \text{ kV}, \quad x_1 = 16,10 \text{ Om},$$

$$U_{qn} = 11 \text{ kV}, \quad \Delta P_s = 9,4 \text{ kW},$$

$$\Delta Q_s = 56,7 \text{ kVAR}.$$

Podstansiya ikkita parallel ishlovchi transformatorlarga ega bo'lganligi sababli

$$\Delta P_s = 9,4 \cdot 2 = 18,8 \text{ kW}, \quad r_1 = 1,6 : 2 = 0,8 \text{ Om},$$

$$\Delta Q_s = 56,7 \cdot 2 = 113,4 \text{ kVAR}, \quad x_1 = 16,1 : 2 = 8,05 \text{ Om}.$$

(4.16) va (4.17), (4.18) va (4.19) ifodalarga asosan transformatorlardagi quvvatlar isroflarini topamiz:

$$\Delta P_t = \frac{S^2}{U^2} r_1 = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 19,76 \text{ kW},$$

$$\Delta Q_t = \frac{S^2}{U^2} x_1 = \frac{5500^2}{35^2} \cdot 8,05 \cdot 10^{-3} = 198,79 \text{ kW},$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_t + \Delta P_s = 19,76 + 18,8 = 38,56 \text{ kW},$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_t + \Delta Q_s = 198,79 + 113,4 = 312,19 \text{ kVAR},$$

$$\Delta S_{\Sigma} = \sqrt{38,56^2 + 312,19^2} = 314,56 \text{ kVA}.$$

Liniyaning oxiridagi quvvatni topamiz:

$$S_2 = S + \Delta S_{\Sigma} = 5500 + 314,56 = 5814,56 \text{ kVA}.$$

Liniyadagi quvvatlar isroflari:

$$\Delta P_l = \frac{S_2^2}{U^2} r = \frac{5814,56^2}{35^2} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 125,22 \text{ kW},$$

$$\Delta Q_l = \frac{S_2^2}{U^2} x = \frac{5814,56^2}{35^2} \cdot 4,04 \cdot 10^{-3} = 112,42 \text{ kVAR},$$

$$\Delta S_l = \sqrt{125,22^2 + 112,42^2} = 168,28 \text{ kVA}.$$

Liniyaning boshlanishidagi quvvat:

$$S_1 = S_2 + \Delta S_l = 5814,56 + 168,28 = 5982,84 \text{ kVA}.$$

4.4. Liniya va transformatorlarda elektr energiya isrofi

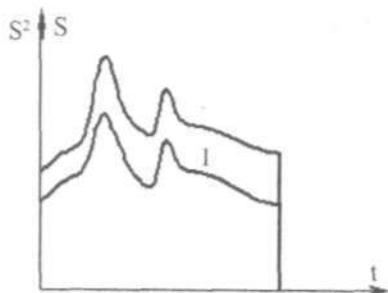
Quvvat – vaqt birligidagi energiya bo'lganligi sababli tarmoqdagi energiya isrofini quvvat isrofini tarmoqni berilgan yuklamada ishlagan vaqtiga ko'paytirib aniqlash mumkin:

$$\Delta W = 3I^2 R t = \Delta P \cdot t. \quad (4.22)$$

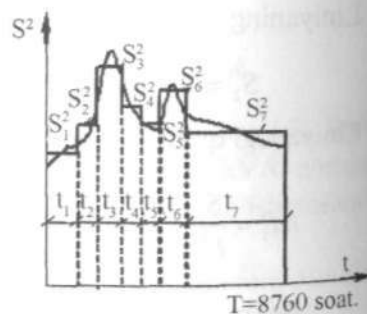
Iste'molchilar yuklamalari sutka, yil davomida o'zgarib turganligi sababli quvvat isrofining qiymati ham o'zgarib turadi.

Agarda ajratib ko'rsatilgan iste'molchi yuklamalarining yillik grafigi 4.2–4.3-rasmda (1- egri chiziq) tasvirlanganidek bo'lsa, unda tarmoqdagi energiya isrofi yuklamalar kvadrati grafigining yuzasiga proporsional bo'ladi (2- egri chiziq) va quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\Delta W = \int_0^T \Delta P dt. \quad (4.23)$$



4.2-rasm. Ajratib ko'rsatilgan iste'molchining yillik yuklama grafigi.



4.3-rasm. Pog'onali yillik yuklama grafigi.

Quvvat isrofining (4.6) dagi ifodasini qo'ysak, u holda energiya isrofi uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\Delta W = \int_0^T \left(\frac{P^2 + Q^2}{U^2} r \right) dt = \frac{r}{U^2} \int_0^T (P^2 + Q^2) dt = \frac{r}{U^2} \int_0^T S^2 dt. \quad (4.24)$$

Bunda T –iste'molchining ulanish vaqti. Agar iste'molchi bir yil davomida ulanib turgan bo'lsa, ya'ni $T=8760$ soat bo'lsa, u holda yillik energiya isrofini aniqlash uchun 2-egri chiziq bilan chegaralangan yuzani aniqlash yetarlidir. Amalda yuklamalar kvadratining yillik grafigini kichik vaqtlar $t_1, t_2, t_3, \dots$ oraliqlaridagi, $S_1, S_2, S_3, \dots$ (4.3-rasm) yuklamalar qiymatiga tegishli bo'lgan pag'onali taxminiy grafik bilan almashtirish mumkin. Unda yillik energiya isrofi quyidagicha yig'indi ko'rinishida aniqlanadi:

$$\Delta W = \frac{r}{U^2} (S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + S_3^2 t_3 + \dots + S_n^2 t_n). \quad (4.25)$$

Tarmoqdagi energiya isrofini aniqlashning keyingi usuli o'rtacha kvadrat quvvat qiymatlariga asoslangan usulidir (4.4-rasm). O'rtacha kvadrat quvvat shunday quvvatki, u butun T vaqt davomida o'zgarmas bo'lib, liniyadan oqib turganda yuz beruvchi energiya isrofi shu liniyada T vaqt davomida yuklama grafigiga muvofiq quvvat oqib turgandagiga teng bo'ladi. Bundan kelib chiqqan holda koordinat o'qlari, $S_{o'r.kv}^2$ va T bilan chegaralangan to'g'ri to'rtburchakning yuzasi koordinata o'qlari, S^2 ning grafigi va T bilan chegaralangan figuraning yuzasiga teng bo'ladi.

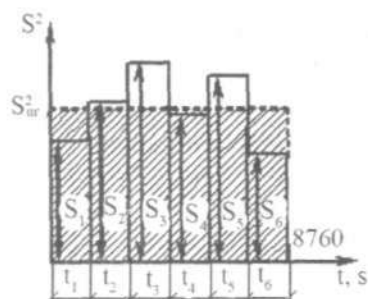
$S_{o'r.kv}$ ning qiymatini aniqlab, energiya isrofini quyidagi ifodadan topish mumkin:

$$\Delta W = \frac{r}{U^2} S_{o'r.kv}^2 \cdot T \quad (4.26)$$

Yuqorida keltirilgan energiya isrofini aniqlash usullari bir qator kamchiliklarga ega bo'lib, faqat yuklamalar grafigi bo'lgandagina ishlatilishi mumkin. Keng tarqalgan maksimal isroflar vaqti tushunchasiga asoslangan usulda energiya isroflarini hisoblash

ancha soddadir.

Yuklamalarning yillik grafigi uchun (4.5-rasm) shunday T_{maks} vaqtni topish mumkinki, bu vaqt davomida iste'molchi o'zgarmas S_{maks} yuklama bilan ishlab, tarmoqdan qabul qiluvchi energiyasi u bir yil davomida yuklama grafigi $S(t)$ bo'yicha ishlab tarmoqdan qabul qiluvchi energiyaga teng bo'lsin.



4.4-rasm. O'rtacha kvadrat yuklamada quvvatni aniqlash grafigi.

Quvvat koeffitsienti o'zgarmas bo'lganda bu shartni quyidagicha yozish mumkin:

$$W = P_{maks} \cdot T_{maks} = S_{maks} \cdot \cos \varphi_{o'r} \cdot T_{maks} = \cos \varphi_{o'r} \cdot \int_0^{t=8760} S dt. \quad (4.27)$$

Bunda $\cos \varphi_{ur}$ – yil davomida taxminan o'zgarmas deb qabul qilingan quvvat koeffitsientining o'rtacha qiymati; T_{maks} – maksimal yuklamada ishlash vaqti. Demak, (4.27) dan

$$T_{maks} = \frac{\int_0^{t=8760} S dt}{S_{maks}}. \quad (4.28)$$

Liniyadan uzatilayotgan yillik energiya miqdorini va maksimal aktiv quvvatni bilib, (4.27) ifodadan maksimal quvvatda ishlash vaqtini aniqlash mumkin:

$$T_{maks} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{W}{S_{maks} \cos \varphi_{o'r}}. \quad (4.29)$$

Har qanday iste'molchi o'zining maksimal yuklamada ishlash vaqti kattaligi bilan xarakterlidir. Hisoblashlarda bu kattalikni statistik ma'lumotlarga asosan qabul qilish mumkin.

Yuqoridagiga o'xshash tarzda shunday τ vaqtni aniqlash mumkinki, bu vaqt davomida liniyada maksimal quvvat isrofi ΔP_{maks} o'zgarmas bo'lgan holda yuz beruvchi energiya isrofi shu liniya bir yil davomida yuklama grafigiga muvofiq holda o'zgaruvchan quvvat isrofi bilan ishlagan holatdagi energiya isrofiga teng bo'lsin (4.6–4.7-rasm). Bunday τ vaqt maksimal isroflar vaqti deb yuritiladi. ΔP_{maks} va τ ma'lum bo'lganda energiya isrofi tomonlari ushbu miqdorlarga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuzasi bilan aniqlanadi (4.6-rasm):

$$\Delta W = \Delta P_{maks} \tau = \frac{r}{U^2} S_{maks}^2 \tau = \frac{r}{U^2} \int_0^{8760} S^2 dt. \quad (4.30)$$

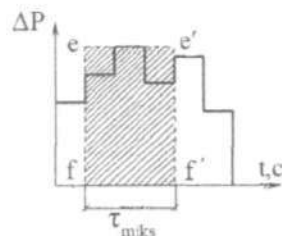
Bu yerdan maksimal isrofdan ishlash vaqti aniqlanadi:

$$= \frac{\int_0^{8760} S^2 dt}{P_{maks}} = \frac{\int_0^{8760} S dt}{S_{maks}}. \quad (4.31)$$

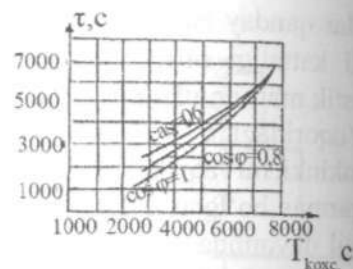
Amaliyotda τ ni T_{maks} orqali aniqlash mumkin, chunki ular orasida muayyan bog'liqlik mavjud.

(4.28) va (4.31) formulalardan ko'rinib turibdiki, T_{maks}

yuklamalar grafigining o'zgarish xarakteriga, ya'ni bu ifodalardagi integral ostidagi $S(t)$ funksiyaga bog'liq. τ ning T_{maks} ga bog'liqligini aniqlash uchun har xil iste'molchilarning har xil T_{maks} kattaliklarga ega bo'lgan bir qator yuklamalar grafiklarini hamda $S^2(t)$ egri chizig'ini aniqlab, bu grafiklarni integrallash, so'ngra (4.28) va (4.31) ifodalar yordamida t ning T_{maks} ga bog'liqligini $\cos\varphi$ ning har xil qiymatlari uchun aniqlash lozim.



46-rasm. Maksimal isrof vaqtini aniqlash.



47-rasm. Maksimal isroflar τ ni maksimal yuklama bilan isroflar vaqti T_{maks} ga bog'liqligi.

Bu egri chiziqlardan foydalanib, maksimal isroflar vaqti usuli yordamida energiya isrofni aniqlash mumkin.

Hisoblash tartibi quyidagicha. Aktiv qarshiligi r bo'lgan ko'rilayotgan liniyaning aktiv quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_{o'r} = \frac{P_{maks}}{S_{maks}}$ bo'lgan

maksimal yuklamasi $S_{maks} = \sqrt{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}$ ni va berilgan kategoriyali iste'molchining maksimal yuklamada ishlash vaqti T_{maks} ni aniqlab, berilgan $\cos\varphi_{o'r}$ va aniqlangan T_{maks} uchun 4.7-rasmda keltirilgan egri chiziqlar orqali maksimal isrof vaqti τ ni topiladi. Liniyaning muayyan nominal kuchlanishi U_n da undagi yillik elektr energiya isrofi ΔW ni (4.30) formulasi yordamida

topishimiz mumkin:

$$\Delta W = \frac{r}{U_n^2} \cdot S_{maks}^2 \cdot \tau, \quad (4.32)$$

yoki

$$\Delta W = \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_n^2} \cdot r \cdot \tau.$$

Liniya davomida bir nechta yuklamalar ulangan holatda undagi energiya isrofi har bir uchastkadagi energiya isrofni qo'shish asosida aniqlanadi.

Agarda ko'rilayotgan liniya uchastkasi orqali har xil $P_{1maks}, P_{2maks}, P_{3maks}$ va ularga mos maksimal yuklamada ishlash vaqti T_1, T_2, T_3 bo'lgan iste'molchilarga quvvat uzatilayotgan bo'lsa, unga isrofni aniqlash uchun uzatilayotgan energiyaning o'rtacha qiymatini hisobga olgan holda, (4.29) formula bilan aniqlanadigan maksimal quvvatda ishlash vaqtining o'rtacha qiymatini olish lozim:

$$T_{maks.o'r} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{P_{1maks}T_{1maks} + P_{2maks}T_{2maks} + \dots + P_{nmaks}T_{nmaks}}{K_o(P_{1maks} + P_{2maks} + \dots + P_{nmaks})} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i,maks} T_{i,maks}}{K_o \sum_{i=1}^n P_{i,maks}} \quad (4.33)$$

Bunda K_o -yuklamalar guruhining grafigidan aniqlanadigan bir vaqtlik koeffitsienti.

Po'lat o'tkazgichli liniyalarda energiya isrofni hisoblashda tokning o'zgarishi tufayli bo'ladigan aktiv qarshilikni hisobga olish zarur.

Transformatoridagi energiya isrofi. Transformatoridagi energiya isrofi ikki qismdan tashkil topgan:

1) yuklamalarga bog'liq bo'lgan isrof $\Delta P_q \cdot \tau$,

2. yuklamalarga bog'liq bo'lmagan isrof $\Delta P_s T$.
Demak,

$$\Delta W = \Delta P_s T + \Delta P_q \cdot \tau, \quad (4.34)$$

Bunda T —transformatorning ishlash vaqti (agarda transformator yil davomida ulangan bo'lsa, unda $T=8760$ soat).

Salt ishlash quvvat isrofi ΔP_s transformatoridan oqayotgan quvvatiga bog'liq bo'lmay, balki berilgan transformatorning tuzilishiga bog'liq bo'lib, kuchlanish va quvvatning biror qiymatlarida o'zgarmas kattalikni tashkil etadi.

Qisqa tutashuv quvvat isrofi, ya'ni chulg'anda quvvat isrofi ΔP_k qisqa tutashuv isrofining nominal qiymatiga teng bo'lmasdan, transformatoridan oqayotgan quvvatga bog'liq holda o'zgaradi. Shunday qilib, bu isrof quvvatlarning kvadratiga proporsionaldir, ya'ni:

$$\Delta P_q / \Delta P_{q,n} = S_t^2 / S_{t,n}^2.$$

Bunda S_t —transformatoridan oqayotgan haqiqiy quvvat; $S_{t,n}$ —transformatorning nominal quvvati.

Unda haqiqiy qisqa tutashuv quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_q = \Delta P_{q,n} S_t^2 / S_{t,n}^2. \quad (4.35)$$

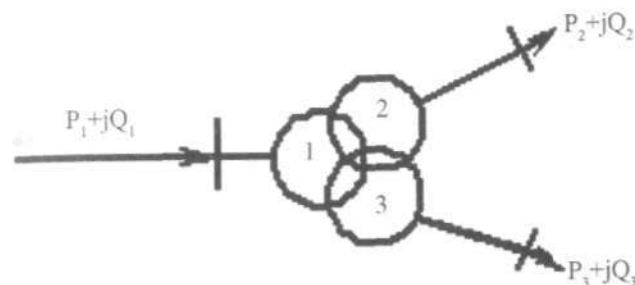
ΔP_s va $\Delta P_{k,n}$ ning qiymatlari transformatorlarning katalog ma'lumotlari sifatida qo'llanma jadvalarida keltirilgan. t ning qiymati T_{moks} va $\cos\varphi$ ning qiymatlari bilan aniqlanadi.

n ta transformatorlar parallel ishlaganda ularni isrof bo'luvchi umumiy energiya (4.34) va (4.35) larga asosan quyidagicha topiladi:

$$n\Delta W_t = n\Delta P_s T + \Delta P_{q,n} (S_t^2 / S_{t,n}^2 n) \quad (4.36)$$

Bunda S_t —transformatorlardan oqayotgan quvvatlar yig'indisi; $S_{t,n}$ —har bir ayrim transformatorning nominal quvvati.

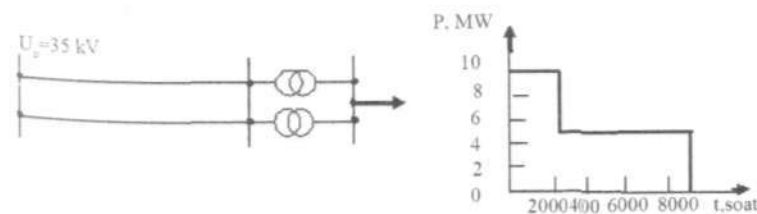
Uch chulg'amli transformatorlarda umumiy quvvat isrofini topish uchun (4.8- rasm) eng avval 2 va 3 chulg'amlardagi isroflar aniqlanadi, so'ngra bu quvvat isroflarini ikkala chulg'amlardan oqayotgan quvvatlarga qo'shib 1-chulg'amdagi isrof aniqlanadi. Bo'lingan chulg'amli transformatorlarda ham quvvat isrofi har bir chulg'am uchun alohida hisobga olinadi.



4.8- rasm. Uch chulg'amli transformatorning sxemasi.

4.3-misol. 4.9-rasmda keltirilgan 35 kV kuchlanishli elektr uzatmada yillik energiya isrofini berilgan yuklama grafigi (4.10-rasm) va maksimal isroflar vaqti t bo'yicha hisoblash talab etiladi.

Elektr uzatish liniyasining uzunligi 15 km, solishtirma parametrlari $r_0=0,28 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$. Har bir transformatorning nominal quvvati 6300 kV·A ($\Delta P_s=9,2 \text{ kWt}$, $\Delta P_k=46,5 \text{ kW}$). $\cos\varphi=0,9$.



4.9-rasm.

4.10-rasm.

Yuklama maksimal bo'lgan holatdagi quvvatlar isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_i = 0,5 \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{P_{maks}}{S_n \cos \varphi} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_s = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left(\frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ kW};$$

$$\Delta P_l = \frac{S_{maks}^2}{U_i^2} \cdot r_l = \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ kWt};$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_i + \Delta P_l = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ kWt};$$

$$\Delta P_{\Sigma}^* = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_n} = \frac{301,57 \cdot 100}{10000} = 3\%.$$

Bunda ΔP_{Σ} , ΔP_{Σ}^* – elektr tarmoqdagi haqiqiy va foiz birligidagi umumiy aktiv quvvat isrofi.

1) Yillik energiya isrofini yuklama grafigi bo'yicha aniqlaymiz:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 2000 + 0,5^2 (72,17 + 211) \cdot 6760 + 18,4 \cdot 8760 = 1200 \cdot 10^3 \text{ kW} \cdot \text{soat}.$$

Yil davomida iste'molchiga uzatiluvchi energiya:

$$W = 10 \cdot 2000 + 5 \cdot 6760 = 53,8 \cdot 10^3 \text{ MW} \cdot \text{soat}.$$

Yillik energiya isrofining uzatiluvchi energiyaga nisbatini aniqlaymiz:

$$\Delta W^* = \frac{1200 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,23\%.$$

Shunday qilib, ushbu holatda energiya isrofi uzatiluvchi energiyaga nisbatan 2,23% ni tashkil etadi.

2) Yillik energiya isrofini maksimal isroflar vaqti t bo'yicha aniqlaymiz. Bunda t ning qiymatini soddalashtirilgan formula bo'yicha topamiz:

$$T_{maks} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{53,8 \cdot 10^3}{10} = 5380 \text{ soat};$$

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

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

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

3) t ning qiymatini tipik egri chiziqlar bo'yicha ham topish mumkin. Biz ko'rib chiqayotgan – maksimal yuklamadan foydalanish vaqti $T_{maks} = 5380 \text{ soat}$ va $\cos \varphi = 0,9$ bo'lgan holat uchun ushbu egri chiziqlar bo'yicha $t = 3650 \text{ soat}$ ekanligini aniqlaymiz (qo'llanmadan). U holda yillik energiya isrofi quyidagi miqdorni tashkil etadi:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 3650 + 18,4 \cdot 8760 = 1195 \cdot 10^3 \text{ kW} \cdot \text{soat},$$

$$\Delta W^* = \frac{1195 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,22\%.$$

4.5. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama toki berilganda hisoblash

Har qanday elektr tarmoqning, jumladan elektr uzatish liniyasi holatini hisoblash uning sxemasi, barcha hisob parametrlari va holat parametrlarining bir qismi ma'lum bo'lganda qolgan – no'malum holat parametrlarini hisoblab topishni nazarda tutadi. Bunday hisoblashlar elektr tarmoqlarini loyihalash va ishlatish jarayonida ularning turli xarakterli holatlarda samarali ishlashini tekshirish va ta'minlash, holatlarini optimallashtirish kabi maqsadlarda amalga oshiriladi.

EUL oxirida U_2 kuchlanish berilgan holat.

Ma'lum parametrlar (4.11- a rasm): U_2 -2- tugunning kuchlanishi, I_2 - yuklamaning toki, $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$, b_{12} - EULning bo'ylama qarshiligi va sig'im o'tkazuvchanligi.

Aniqlanuvchi miqdorlar: U_f , I_1 - EUL boshidagi kuchlanish va toki, EUL bo'ylama qismidagi tok, ΔS_{12} - EULdagi quvvat isrofi.

Bunday holatni hisoblashda noma'lum o'zgaruvchilarning qiymatlari EULning oxiridan boshiga qarab ketma-ket tartibda aniqlanadi. Tok va kuchlanishni aniqlash Om va Kirxgofning birinchi qonunlaridan foydalaniladi.

Hisobni faza kuchlanishi U_f va toki I bo'yicha olib borish tartibi bilan tanishamiz. EUL oxiridagi sig'im toki Om qonuniga binoan (4.11-b rasm) quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{s2} = jU_2 b_{12} / 2. \quad (4.37)$$

EUL ning bo'ylama qismidagi tok, Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha topiladi:

$$I_{12} = I_2 + I_{s2}. \quad (4.38)$$

Om qonuni bo'yicha EUL boshlanishidagi kuchlanish hisoblanadi:

$$U_{1f} = U_2 + I_{12} Z_{12}. \quad (4.39)$$

EUL boshlanishidagi sig'im toki: $I_{c1} = jU_{1f} b_{12} / 2$.

EULning kirishidagi tok Kirxgofning 1-qonuniga asosan aniqlanadi:

$$I_1 = I_{12} + I_{c1}. \quad (4.40)$$

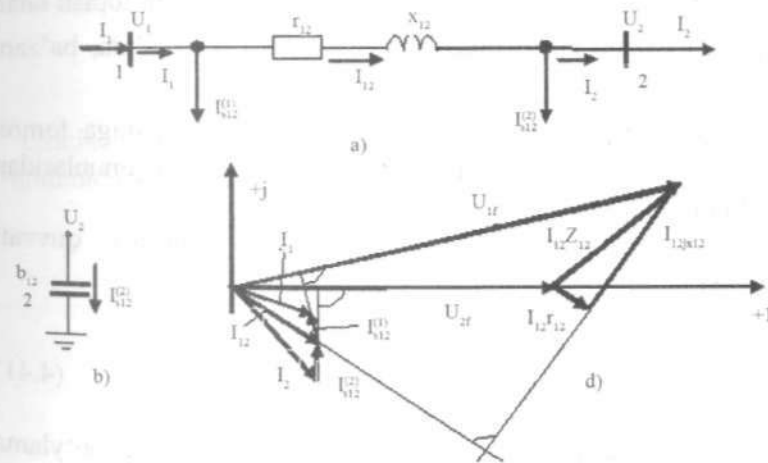
Uchta fazadagi quvvat isroflari: $\Delta S_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12}$.

EUL tok va kuchlanishlarining vektor diagrammasi (4.11-d rasm) (4.37)-(4.40) ifodalarga muvofiq tuziladi. Avvalo, diagrammada berilgan U_{2f} va I_2 lar ko'rsatiladi. U_{2f} ni haqiqiy o'q

bo'yicha yo'nalgan deb qabul qilamiz. Sig'im toki I_{c2} kuchlanish U_{2f} dan 90° oldinda bo'ladi. Sxemaning bo'ylama qismidagi tok I_{12} I_2 va I_{c2} vektorlarining yig'indisiga teng.

(4.39) ning o'ng tomonidagi ikkita qo'shiluvchilar vektorlarini alohida quramiz. $\Delta U_{12f} = I_{12} r_{12} + jI_{12} x_{12}$. Bu yerda $I_{12} r_{12}$ vektor I_{12} ga parallel va $jI_{12} x_{12}$ vektordan 90° ortda qoladi. U_{1f} kuchlanish qo'shiluvchi U_{2f} , $I_{12} r_{12}$ va $jI_{12} x_{12}$ vektorlarning boshini oxirini tutashtiradi. Tok I_{c1} U_{1f} dan 90° oldinda bo'lib (4.40) bo'yicha topiladi.

EUL ning oxirgi yuklama ulangan bo'lsa, bu nuqtada kuchlanish moduli boshlanishidagi kuchlanish moduliga nisbatan kichik bo'ladi: $U_{20} < U_{10}$ (4.11 d-rasm).



4.11-rasm. Elektr uzatish liniyasi holatini hisoblash.

a - almashtirish sxemasi; b - sig'im tokini aniqlash; d - yuklamali EUL kuchlanish va toklari vektor diagrammasi.

Salt ishlash holatida $I_2 = 0$ bo'lganligi sababli EUL orqali faqat sig'im toki oqadi, ya'ni $I_{12} = I_{s2}$ bo'ladi. Buning natijasida liniya oxiridagi kuchlanish uning boshlanishidagiga nisbatan katta bo'ladi $U_{20} < U_{10}$. Salt ishlash holati uchun tok va kuchlanishlarning vektor

diagrammalarini yuqoridagi tartibda qurish orqali bunday holatni kuzatish mumkin.

4.6. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama quvvati berilganda hisoblash

EUL oxirida kuchlanish berilgan holat ($\dot{U}_2 = const$). Ushbu holatda yuklama quvvati $\dot{S}_2$, kuchlanishi $\dot{U}_2$, elektr uzatish liniyasining qarishiligi $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$ va o'tkazuvchanligi b_{12} ma'lum (4.12-a rasm). Kuchlanish $\dot{U}_1$, uzatish liniyasining bo'ylama qismi oxiri va boshlanishidagi quvvatlar $\dot{S}_{12}^{(2)}$, $\dot{S}_{12}^{(1)}$, quvvat isrofi $\Delta \dot{S}_{12}$, uzatish liniyasi boshlanishidagi quvvat $\dot{S}_1$ larni topish talab etiladi. Qizish bo'yicha cheklovni tekshirish maqsadida, ba'zan, $\dot{I}_{12}$ tokni ham topish talab etiladi.

Hisoblash uzatish liniyasining oxiridan boshlanishiga tomon qidiriluvchi quvvat va kuchlanishlarni Kirxgaf va Om qonunlaridan foydalanib aniqlash tartibida olib boriladi.

Uzatish liniyasining oxiridagi zaryad (sig'im) quvvati hisoblanadi:

$$Q_{s12}^{(2)} = 3I_{s12}^{(2)}\dot{U}_{2n} = \frac{1}{2}U_2^2 jb_{12}. \quad (4.41)$$

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha uzatish liniyasi bo'ylama qismining oxiridagi quvvat topiladi:

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{s12}^{(2)}. \quad (4.42)$$

Uzatish liniyasidagi quvvat isrofi aniqlanadi:

$$\Delta \dot{S}_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}. \quad (4.43)$$

Uzatish liniyasi bo'ylama qismining boshlanishi va oxirida tok bir xil. Bo'ylama qismi boshlanishida quvvat bu qism oxiridagiga nisbatan quvvat isrofi miqdori ko'pligini e'tiborga olib u quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (4.44)$$

Uzatish liniyasining boshlanishidagi kuchlanish Om qonuniga muvofiq quyidagicha hisoblanadi:

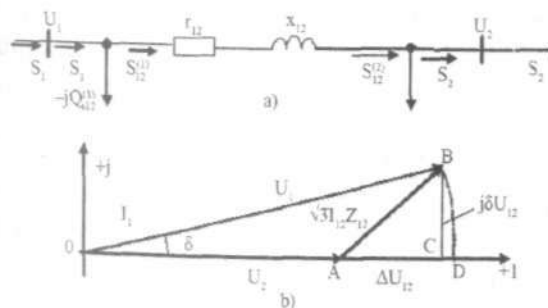
$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3}\dot{I}_{12}Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\dot{S}_{12}^{(2)}}{\dot{U}_2} Z_{12}. \quad (4.45)$$

Uzatish liniyasining boshlanishidagi zaryad quvvati aniqlanadi:

$$Q_{s12}^{(1)} = \frac{1}{2}U_1^2 jb_{12}. \quad (4.46)$$

Uzatish liniyasining boshlanishidagi quvvat kirxgofning 1-qonunidan foydalanib quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{s12}^{(1)}. \quad (4.47)$$



4.12-rasm. EUL holatini hisoblash: a – yuklama quvvati berilgan holda EUL holatini hisoblash sxemasi; b – oxirida berilgan ma'lumot bo'yicha EUL holati hisoblanganda uning boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning vektor diagrammasi.

EUL boshlanishida kuchlanish berilgan holat ($\dot{U}_1 = const$), $\dot{S}_2, \dot{U}_1, Z_{12} = r_{12} + jx_{12}, b_{12}$ lar ma'lum, $\dot{U}_2, \dot{S}_{12}^{(2)}, \dot{S}_{12}^{(1)}, \Delta \dot{S}_{12}, \dot{S}_1$ larni topish talab etiladi (4.12-a rasm).

Ushbu holda $\dot{U}_2$ noma'lum bo'lganligi uchun Kirxgof va Om qonunlaridan foydalanib uzatish liniyasining oxiridan boshlanishiga tomon ketma-ket ravishda noma'lum tok va kuchlanishlarni topish mumkin emas.

Bunday liniya holatini hisoblashni Kirxgofning 1-qonuni asosida yoziluvchi egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasini yechish orqali amalga oshirish mumkin. 2-tugun uchun bunday egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{12}\dot{U}_1 = \dot{I}_2(U) = \frac{S_2}{U_2}. \quad (4.48)$$

Bu tenglamani yechib, noma'lum $\dot{U}_2$ ni topish va so'ngra (4.41)–(4.44), (4.46), (4.47) ifodalar bo'yicha barcha quvvatlarni hisoblash mumkin.

Egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamalarini yechishga asoslangan usul boshqa usullarga nisbatan universal usul hisoblanib, u har qanday murakkablikdagi elektr tarmoqlari holatlarini hisoblash imkonini beradi. Biroq undan foydalanish umumiy holda egri chiziqli tenglamalar sistemasini maxsus matematik usullarni qo'llash asosida yechishni nazarda tutadi. Yuklamalari quvvatlari va ta'minlash punktida kuchlanish ma'lum bo'lgan ochiq elektr tarmoqlari, jumladan ko'rilayotgan liniya holatini nisbatan sodda va taxminiy *ikki bosqichli* usul yordamida hisoblash mumkin.

1-bosqich. Faraz qilaylik,

$$\dot{U}_2 = U_n. \quad (4.49)$$

Yuqorida keltirilgan ifodalar bo'yicha quvvat oqimlari va isroflarini hisoblaymiz:

$$Q_{12}^{(2)} = \frac{1}{2} U_n^2 j b_{12}; \quad (4.50)$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - j Q_{12}^{(2)}; \quad (4.51)$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_n^2} Z_{12} \quad (4.52)$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (4.53)$$

2-bosqich. 1-bosqichda topilgan quvvat oqimi $\dot{S}_{12}^{(1)}$ dan foydalanib, Om qonuni bo'yicha $\dot{U}_2$ kuchlanishni aniqlaymiz, bunda tok $\dot{I}_{12}$ ni $\dot{S}_{12}^{(1)}$ va $\dot{U}_1$ lar orqali ifodalaymiz:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\hat{S}_{12}^{(1)}}{\hat{U}_1} Z_{12}. \quad (4.54)$$

(4.50) va (4.51) formulalarda $\dot{U}_2$ ning o'rniga U_n foydalanilganligi uchun 1-bosqichda quvvat oqimlarining taxminiy qiymatlari aniqlanadi.

Bunga mos ravishda 2-bosqichda topilgan kuchlanish $\dot{U}_2$ ning qiymati ham taxminiy bo'ladi.

Quvvatlar va kuchlanishlarning yanada aniqroq qiymatlarini topish uchun 1 va 2-bosqichlarni ketma-ket takrorlash mumkin. Bunda har bir yangi qadamni (takrorlashni) bajarishda (4.50) va (4.52) formulalardagi $\dot{U}_2$ o'rniga uning bundan oldingi qadamda topilgan qiymatini qo'yish lozim. Bunday hisoblashlarni EHMda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

4.7. Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va kuchlanish isrofi

4.12-b rasmda EUL boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning vektor diagrammalari keltirilgan.

Kuchlanish pasayishi – elektr uzatish liniyasining boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlar orasidagi geometrik farq, ya'ni bu kuchlanishlarning kompleks qiymatlari orasidagi farq. Kuchlanish pasayishi vektor (kompleks) kattalikdir. 4.12-b rasmda kuchlanish pasayishi vektori $\overline{AB}$ vektordir:

$$\overline{AB} = \Delta \dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \Delta U_{12} + j \delta U_{12}. \quad (4.55)$$

Kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi ΔU_{12} kuchlanish pasayishi vektorining haqiqiy sonlar o'qidagi yoki $\dot{U}_2$ vektor o'qidagi proyeksiyasi bo'lib, 4.12-b rasm bo'yicha u AC ga teng. Kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi δU_{12} esa kuchlanish pasayishi vektorining muvhum sonlar o'qidagi proyeksiyasi bo'lib, 4.12-b rasm bo'yicha u CB ga teng.

Kuchlanish isrofi – elektr uzatish liniyasi boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning modullari orasidagi farqdir, ya'ni

$$\Delta U_{12} = |U_1| - |U_2|. \quad (4.56)$$

4.12-b rasmda tasvirlangan vektor diagramma bo'yicha kuchlanish isrofi qabul qilingan masshtabda AD kesma uzunligiga teng. Agar kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi δU_{12} kichik bo'lsa (masalan, $U_1 < 110$ kV bo'lgan tarmoqlarda) kuchlanish isrofini kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga teng deb hisoblash mumkin.

Elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblash asosan yuklamalarining quvvatlari berilgan holatda olib boriladi. Shu sababli kuchlanish

pasayishi, uning tashkil etuvchilari va kuchlanish isrofini EULdagi quvvat oqimlari orqali ifodalash zarur bo'ladi.

Liniya oxirida quvvat va kuchlanish ma'lum bo'lgan holat. (4.54) formuladagi liniya toki $\dot{I}_{12}$ ni liniyaning bo'ylama qismi oxiridagi quvvat $\dot{S}_{12}^{(2)}$ va kuchlanish $\dot{U}_2$ orqali ifodalaymiz:

$$\dot{I}_{12} = \frac{\dot{S}_{12}^{(20)}}{\sqrt{3} \dot{U}_2}. \quad (4.56)$$

Natijada quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \frac{P_{12}^{(2)} - jQ_{12}^{(2)}}{U_2} (r_{12} + jx_{12}) &= \frac{P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} x_{12}}{U_2} + \\ &+ j \frac{P_{12}^{(2)} x_{12} - Q_{12}^{(2)} r_{12}}{U_2} = \Delta U_{12}^{(2)} + j \delta U_{12}^{(2)}. \end{aligned} \quad (4.57)$$

(4.57) tenglamaning haqiqiy va mavhum qismlarini alohida tenglashtirib, kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilarining liniya oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha ifodalarini hosil qilamiz:

$$\Delta U_{12}^{(2)} = \frac{P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} x_{12}}{U_2}; \quad (4.58)$$

$$\delta U_{12}^{(2)} = \frac{P_{12}^{(2)} x_{12} - Q_{12}^{(2)} r_{12}}{U_2}. \quad (4.59)$$

Liniya boshlanishidagi kuchlanish:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \Delta \dot{U}_{12}^{(2)} + j \delta \dot{U}_{12}^{(2)}. \quad (4.60)$$

Yuqoridagilarga muvofiq liniya boshlanishidagi kuchlanish moduli va fazasi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{12}^{(2)})^2 + (\delta U_{12}^{(2)})^2}; \quad (4.61)$$

$$\delta_1 = \arctg \left(\frac{\delta U_{12}^{(2)}}{U_2 + \Delta U_{12}^{(2)}} \right). \quad (4.62)$$

Liniyaning boshlanishida quvvat va kuchlanishi berilgan holat. (4.54) formuladagi liniya toki $\dot{I}_{12}$ ni liniyaning bo'ylama qismi boshlanishidagi quvvat $\dot{S}_{12}^{(1)}$ va kuchlanish $\dot{U}_1$ orqali ifodalasak, u holda ma'lum shakl almashtirishlardan so'ng liniyada kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari uchun liniya boshlanishidagi ma'lumotlar bo'yicha ifodalarni hosil qilamiz:

$$\Delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} r_{12} + Q_{12}^{(1)} x_{12}}{U_1}; \quad (4.63)$$

$$\delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} x_{12} - Q_{12}^{(1)} r_{12}}{U_1}. \quad (4.64)$$

Liniya oxiridagi kuchlanish:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta \dot{U}_{12}^{(1)} - j \delta \dot{U}_{12}^{(1)}. \quad (4.65)$$

Yuqoridagilarga muvofiq liniya oxiridagi kuchlanish moduli va fazasi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{12}^{(1)})^2 + (\delta U_{12}^{(1)})^2}; \quad (4.66)$$

$$\delta_2 = \arctg \left(\frac{\delta U_{12}^{(1)}}{U_1 - \Delta U_{12}^{(1)}} \right). \quad (4.67)$$

4.12-b rasmda tasvirlangan kuchlanishlar vektor diagrammasidan ko'rinadiki, kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil

etuvchisi δU_{12} kichiklashgan sari kuchlanish isrofi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga yaqinlashib boradi. Shu sababli 110 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarni hisoblashda ushbu tashkil etuvchi yetarlicha kichik bo'lganligi sababli liniya oxiridagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblashlarda

$$\Delta U_{12} \approx \Delta U_{12}^{(2)} = \frac{P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} x_{12}}{U_2},$$

liniya boshlanishidagi ma'lumotlar bo'yicha hisoblashlarda esa

$$\Delta U_{12} \approx \Delta U_{12}^{(1)} = \frac{P_{12}^{(1)} r_{12} + Q_{12}^{(1)} x_{12}}{U_1}$$

qabul qilinadi.

Nazorat sovellari

1. Aktiv quvvat isrofi nima?
2. Liniyalarda quvvat isrofi qanday aniqlanadi?
3. Transformator chulg'amlaridagi yuklamaning quvvat isroflari qanday hisoblanadi?
4. Liniyaning foydali ish koeffitsienti qanday aniqlanadi?
5. Transformatoridagi quvvat isrofini aniqlashning sodda usuli nimadan iborat?
6. Liniyalardagi elektr energiya isrofini aniqlashning qanday usullari bor?
7. Transformatorlarda elektr energiya isrofi qanday hisoblanadi?
8. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama tokiga ko'ra qanday hisoblanadi?
9. Elektr uzatish linisi holatini yuklama quvvatiga ko'ra qanday hisoblanadi?
10. Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va isrofi nima?
11. Katta uzunlikka ega bo'lgan liniyalarni hisoblash xususiyatlari nimada?
12. Elektr energiya va quvvat isroflarini kamaytirishning qanday chora-tadbirlari mavjud?

V. OCHIQ, ODDIY VA MURAKKAB YOPIQ ELEKTR TARMOQLARINI HISOBLASH

5.1. $U_n \leq 35$ kV bo'lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar.

Bu paragrafda havo va kabelli EULga ega bo'lgan taqsimlovchi tarmoqlar ko'rib chiqiladi. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarning havodagi EULLari asosan 35 kVgacha kuchlanishli bo'ladi. (Oxirgi paytlarda $U_n=110$ kV va hatto 220 kV bo'lgan havodagi EULLari ham taqsimlovchi tarmoqlarda paydo bo'ldi). Taqsimlovchi tarmoqlardagi kabelli EULLar asosan $U_n=10$ kV gacha, ayrim hollarda esa 20, 35 kV gacha bo'ladi. Taqsimlovchi tarmoqlar asosan ochiq bo'ladi yoki ochiq holatda ishlaydi. Bu tarmoqlar quyidagi turlarga bo'linadi:

- shahar tarmoqlari;
- qishloq xo'jalik tarmoqlari;
- sanoat tarmoqlari.

Ularda juda katta miqdorda yuklanish mavjud, umumiy uzunligi va ulardagi elektr energiyasi isrofi juda kattadir. Bundan tashqari, ularning qurilishiga ko'p miqdorda metall sarflanadi. $U_n \leq 35$ kV bo'lgan taqsimlovchi tarmoqlarni hisoblashda ayrim parametrlar va omillarning ta'siri sezilarsiz – juda kichik bo'lganligi sababli e'tiborga olinmaydi.

Shunday qilib, bunday tarmoqlarni hisoblashda yuqorida ko'rib o'tilgan ta'minlovchi elektr tarmoqlardagidan farqli ravishda quyidagi soddalashtirishlar qabul qilinadi:

1) EULning sig'im quvvati hisobga olinmaydi. Uning qiymati (4.41) ifodadan aniqlanadi. Nominal kuchlanishi 110 kV bo'lgan EULning sig'im quvvati $Q_{c110} = 3$ MVAR ga teng (5.1-a rasm).

$U_n=6-35$ kV bo'lgan EULLar $U_n=110$ kV bo'lgan liniyalardan qisqaroq bo'ladi. 35 kV kuchlanishli EUL uchun (5.1,b-rasm) Q_{c35} Q_{c110} ga nisbatan 100–90 marta kichik bo'ladi:

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

Q_c ning qiymati e'tiborga olinmagandagi EULning ekvivalent almashtirish sxemasi 5.1,d-rasmda keltirilgan. Bu EULning to'rt qutbli sifatidagi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z_l, & \dot{U}_1 &= \dot{A} \dot{U}_2 + \dot{B} \dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2, & \dot{I}_1 &= \dot{C} \dot{U}_2 + \dot{D} \dot{I}_2. \end{aligned}$$

Bunda U_1 –EUL boshlanishidagi kuchlanish, U_2 –EUL oxiridagi kuchlanish, I_1 , I_2 –EUL boshidagi va oxiridagi toklar, Z_l –EUL qarshiligi A , B , C , D –taqsimlovchi tarmoqdagi EUL uchun to'rt qutbli doimiylari. Yuqoridagi holat uchun: $A=1$; $B=\sqrt{3} Z_l$; $C=0$; $D=1$;

2) Kabelli EULning reaktiv qarshiligi (x) hisobga olinmaydi.

EULning induktiv qarshiligi shu EUL o'tkazgichlaridan tok oqib o'tganda hosil bo'ladigan o'zgaruvchan magnit maydoni bilan belgilanadi.

Kabelning tomirlari bir-biriga yaqin joylashganligi va bu tomirlarda ilakishuvchimagnit oqimi kamligi sababli kabelli EULning reaktiv qarshiligi kichik bo'ladi.

Kabelli EULning ekvivalent almashtirish sxemasi 5.1-e rasmda ko'rsatilgan. Bunda r_l –kabelli EULning aktiv qarshiligi.

3) Transformatorning, odatda, po'latdan yasaluvchi o'zagidagi quvvat isrofi hisobga olinmaydi. Transformatorning ekvivalent almashtirish sxemasi 5.1-f rasmda ko'rsatilgan.

Bunda Z_t –transformatorning qarshiligi, U_{yu} –transformatorning

yuqori kuchlanishli shinasidagi kuchlanish, U_n —transformatorning past kuchlanishli shinasidagi kuchlanish. Barcha tarmoqlarda transformatorning po'lat o'zagidagi quvvat isrofi faqatgina umumiy aktiv quvvat isrofi ΔP va energiya isrofi ΔW ni aniqlashda hisobga olinadi.

4) Uchastkalardagi quvvat oqimlarini hisoblashda quvvat isrofi hisobga olinmaydi. (5.1-e rasm). Bunda $S_{12}^{(2)} = S_{12}^{(1)} = S_{12}$.

Bu ifodada: $S_{12}^{(1)}$ —EUL boshlanishidagi to'la quvvat; $S_{12}^{(2)}$ —EUL oxiridagi to'la quvvat. EULning boshlang'ich uchastkasidagi quvvat (5.1—g rasm) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$S_{12} = \sum_{k=2}^n S_k.$$

Bunda k —yuklamaning tartib raqami, n —yuklamalar soni.

5) Kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisini δU e'tiborga, ya'ni tarmoqning ayrim tugunlari orasida kuchlanishning faza bo'yicha siljishi hisobga olinmaydi.

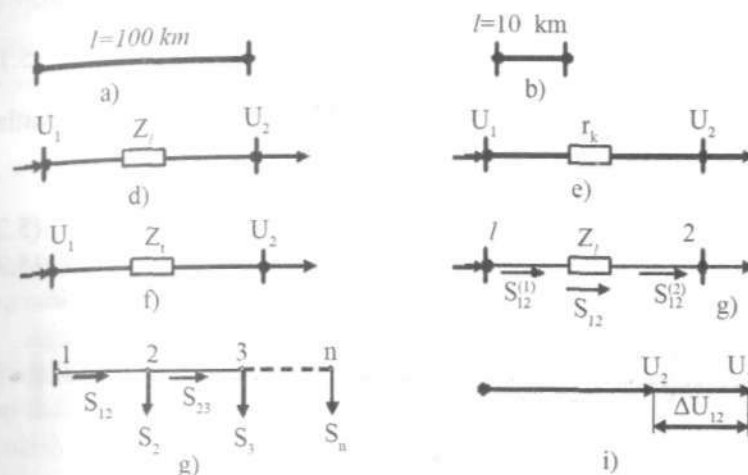
Hisoblashlarda kuchlanish tushuvining faqatgina bo'ylama tashkil etuvchisi hisobga olinadi, bu esa kuchlanish isrofiga tengdir:

$$\Delta U_{12} = U_1 - U_2$$

6) Kuchlanish isrofini hisoblash tarmoqdagi kuchlanishning haqiqiy qiymati bo'yicha emas, balki U_n —bo'yicha amalga oshiriladi:

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

Bunda P_{12} —liniyaning aktiv quvvati; Q_{12} —liniyaning reaktiv quvvati; r_{12} —liniyaning aktiv qarshiligi; x_{12} —liniyaning reaktiv qarshiligi.



5.1-rasm. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashdagi soddalashtirishlar: a — 110 kV kuchlanishli havodagi EUL; b — 35 kV kuchlanishli havodagi EUL; d — EUL ning almashtirish sxemasi; e — kabelli EUL ning almashtirish sxemasi; f — transformatorning almashtirish sxemasi; g — quvvat oqimlarini hisoblash uchun almashtirish sxemasi; h — havodagi EUL ning bosh uchastkasidagi quvvatni aniqlash uchun almashtirish sxemasi; i — kuchlanishlar vektor-diagrammasi.

5.2. Ochiq taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlash

5.2-rasmda keltirilgan taqsimlovchi elektr tarmoqning almashtirish sxemasini ko'rib chiqamiz.

Bu sxemani hisoblashda tugunlardagi quvvatlar S_k , EUL boshlanishidagi kuchlanish U_1 va EUL uchastkalaridagi qarshiliklar Z_k lar berilgan. Bunda: k —EUL uchastkasi boshlanishidagi tugun nomeri ($k=1, 2$), j —uchastka oxiridagi tugun nomeri ($j=2, 3$). Tugunlardagi kuchlanish va EUL uchastkalaridagi quvvat oqimlari (S_j) aniqlanishi kerak.

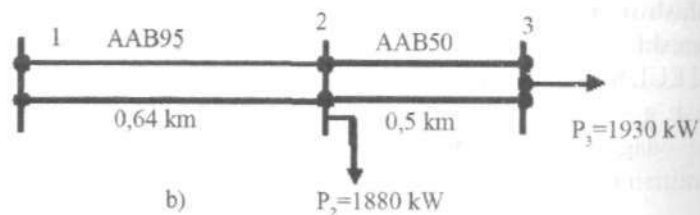
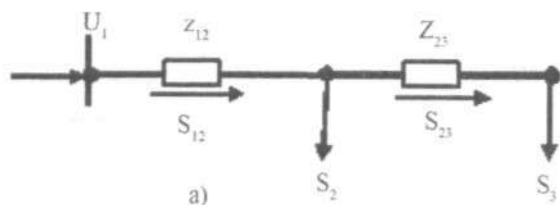
S_{kj} quvvat Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha aniqlanadi:

$$S_{23} = S_3; \quad S_{12} = S_2 + S_3. \quad (5.1)$$

Bunda EUL uchastkalaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar quyidagicha bo'ladi:

$$P_{23} = P_3; \quad P_{12} = P_2 + P_3; \quad (5.2)$$

$$Q_{23} = Q_3; \quad Q_{12} = Q_2 + Q_3; \quad (5.3)$$



5.2-rasm. Taqsimlovchi elektr tarmog'i. a-almashtirish sxemasi; b-kabelli elektr uzatish liniyalari.

Ta'minlovchi manba kuchlanishi va eng kam kuchlanishli tugun kuchlanishlari orasidagi farq kuchlanish isrofining eng katta qiymati deyiladi. 5.2-rasmdagi tarmoq uchun $\Delta U_{e.kat} = U_1 - U_3$.

Umumiy holda kuchlanish isrofining eng katta qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_{e.kat} = \sum_m \Delta U_{kj}. \quad (5.4)$$

Bu ifodada ΔU_{kj} –EUL uchastkasidagi kuchlanish isrofi; m – EULdagi uchastkalar soni. Shuningdek, bu kattalik quyidagicha hisoblanishi ham mumkin:

$$\Delta U_{e.kat} = \sum (P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}) / U_n. \quad (5.5)$$

Bunda r_{kj} –EUL uchastkasining aktiv qarshiligi; x_{kj} – EUL uchastkasining reaktiv qarshiligi, P_{kj} , Q_{kj} –EUL uchastkasidagi aktiv va reaktiv quvvat oqimlari.

Agar EULdagi quvvat oqimlarini yuklama quvvatlari orqali ifodalasak, (5.5) ifodani soddaroq ko'rinishda yozish mumkin bo'ladi. Masalan, 5.2-a rasmdagi sxema uchun uni quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{P_{12} r_{12} + Q_{12} x_{12}}{U_i} + \frac{P_{23} r_{23} + Q_{23} x_{23}}{U_i}. \quad (5.6)$$

Bu ifodani (5.1)–(5.3) larni hisobga olib va quyidagi belgilashlarni kiritib, boshqa shaklda yozish mumkin:

$$r_2 = r_{12}, \quad (5.7)$$

$$r_3 = r_{12} + r_{23}, \quad (5.8)$$

$$x_2 = x_{12}, \quad (5.9)$$

$$x_3 = x_{12} + x_{23}. \quad (5.10)$$

(5.2)–(5.3) ifodalarni (5.6) ga qo'yamiz:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{(P_2 + P_3) r_2 + (Q_2 + Q_3) x_2}{U_i} + \frac{P_3 (r_3 - r_2) + Q_3 (x_3 - x_2)}{U_n}$$

yoki

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{P_2 r_2 + Q_2 x_2}{U_n} + \frac{P_3 r_3 + Q_3 x_3}{U_n} = \frac{\sum_{k=2}^n (P_k r_k + Q_k x_k)}{U_n}.$$

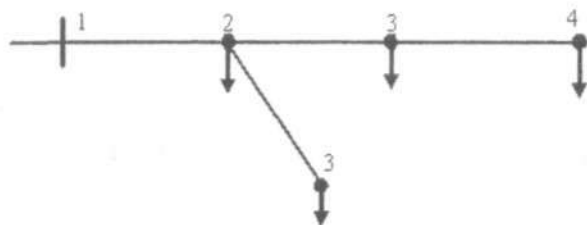
Bunda: P_k , Q_k – k -tugundagi yuklama quvvati; r_k, x_k – l va k - tugunlar oralig'idagi ekvivalent aktiv va reaktiv qarshiliklar, n - tugunlar soni.

Agar o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi F_{kj} EULning hamma uchastkalarida bir xil bo'lsa, u holda

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{1}{U_k} (r_0 \sum_{k=2}^n P_k L_k + x_0 \sum_{k=2}^n Q_k L_k). \quad (5.11)$$

Bunda L_k – l va k - tugunlar oralig'idagi masofa.

Bir nechta shoxobchadan iborat bo'lgan tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymati qanday aniqlanishini ko'rib chiqamiz (5.3-rasm).



5.3-rasm. Tarmoqlangan ochiq elektr tarmoq.

Buning uchun ΔU_{13} , ΔU_{15} – kuchlanish isroflarini aniqlaymiz:

$$\Delta U_{13} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23},$$

$$\Delta U_{15} = \Delta U_{12} + \Delta U_{24} + \Delta U_{45}.$$

Agar $\Delta U_{24} + \Delta U_{45} > \Delta U_{23}$, bo'lsa, u holda ushbu tarmoq uchun kuchlanish isrofining eng katta qiymati ΔU_{15} bo'ladi.

5.1-misol. Kabelli EULdan iborat bo'lgan 10 kV kuchlanishli elektr tarmog'i berilgan (5.2-b rasm). Yuklamaning quvvat koeffitsienti $\cos\varphi=0,96$. Tarmoqdagi kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlash talab etiladi. Qo'llanmadan kabelli EULlar uchun solishtirma kattaliklarni topamiz:

$$\text{AAB95: } r = 0.326 \text{ Om/km; } x_0 = 0.083 \text{ Om/km;}$$

$$\text{AAB50: } r = 0.62 \text{ Om/km; } x_0 = 0.09 \text{ Om/km.}$$

EULning aktiv va reaktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$r_{12} = 0,5 \cdot 0,326 \cdot 0,64 = 0,104 \text{ Om;}$$

$$x_{12} = 0,5 \cdot 0,083 \cdot 0,64 = 0,027 \text{ Om;}$$

$$r_{23} = 0,5 \cdot 0,62 \cdot 0,5 = 0,155 \text{ Om;}$$

$$x_{23} = 0,5 \cdot 0,09 \cdot 0,5 = 0,022 \text{ Om;}$$

Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha EULda uzatilayotgan aktiv quvvatlarni aniqlaymiz:

$$P_{12} = P_2 + P_3 = 1880 + 1930 = 3810 \text{ kW;}$$

$$P_{23} = P_3 = 1930 \text{ kW;}$$

Hisoblangan aktiv quvvatlar va quvvat koeffitsienti orqali EUL uchastkalaridagi reaktiv quvvat oqimlarini aniqlaymiz:

$$Q_{12} = P_{12} \tan\varphi = 3810 \cdot 0,292 = 1113 \text{ kVAR;}$$

$$Q_{23} = P_{23} \tan\varphi = 1930 \cdot 0,292 = 564 \text{ kVAR;}$$

23 va 12 liniyalardagi kuchlanish isroflari:

$$\Delta U_{23} = \frac{1930 \cdot 0,155 + 564 \cdot 0,022}{10} = 31,2 \text{ V,}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{(1880 + 1930) \cdot 0,104 + (1113 + 564) \cdot 0,027}{10} = 44,2 \text{ V.}$$

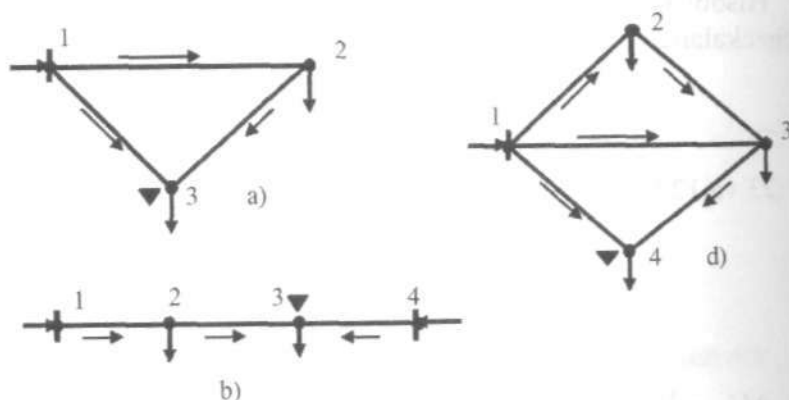
Tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymati:

$$\Delta U_{e.kat} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 31,2 + 44,2 = 75,4 \text{ V,}$$

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{0,0754}{10} \cdot 100 = 0,75 \text{ \% .}$$

5.3. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va kuchlanishning taqsimlanishi

Asosiy tushunchalar va qo'llanish doirasi. Ochiq elektr tarmoqlarining jiddiy kamchiligi bu tarmoqlarning biror uchastkasi ishdan chiqsa iste'molchilarning katta qismi elektr energiya ta'minotidan mahrum bo'ladi. Shuning uchun mas'uliyatli, elektr ta'minoti uzilib qolish mumkin bo'lmagan iste'molchilarni ishonchli elektr energiya bilan ta'minlash uchun yopiq elektr tarmoqlari qo'llaniladi. Yopiq elektr tarmoqlari deb shunday tarmoqlarga aytiladiki, ularda elektr energiya iste'molchilarga kamida ikki tomondan yetkazib beriladi. Bular ikki tomondan ta'minlanuvchi tugunlarga ega bo'lgan oddiy va uch hamda undan ortiq tomondan ta'minlanuvchi murakkab yopiq tarmoqlarga bo'linadi.



5.4-rasm. Yopiq tarmoqlarning sxemalari: a—halqasimon oddiy yopiq tarmoq; b— ikki tomondan ta'minlovchi tarmoq; d— murakkab yopiq tarmoq.

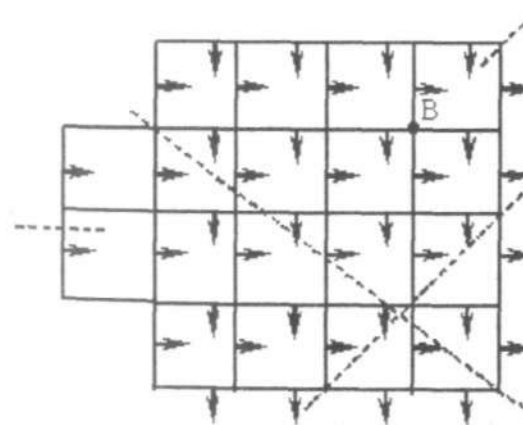
Oddiy yopiq tarmoq bitta ta'minlash manbaiga ega bo'lib halqasimon (5.4-a rasm) yoki ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq (5.4-b rasm) ko'rinishlarida bo'lishi mumkin. Ikkinchi holatda u ikki tomondan ta'minlanuvchi liniya deb ham yuritiladi.

Halqasimon yopiq tarmoq ta'minlovchi manbadan bo'lib, ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin. Masalan, 5.4-a rasmdagi tarmoqning ta'minlash tuguni — 1- tugunni ikkiga bo'lsak va paydo bo'lgan tugunlarni 1 va 4 deb belgilasak, u holda 5.4-b rasmdagi ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq hosil bo'ladi.

5.4-d rasmda murakkab yopiq tarmoqning sxemasi ko'rsatilgan. Bunday tarmoqni ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqqa keltirish mumkin emas, chunki bu murakkab o'zgarishlarni talab etadi.

Taqsimlovchi tarmoqlarda ko'pincha halqasimon, ikki tarafdan ta'minlanuvchi tarmoqlar va halqasimon tarmoqning bir turi bo'lgan ikki zanjirli liniyalar qo'llaniladi.

Taqsimlovchi tarmoqlardagi past kuchlanishning murakkab yopiq sxemalari berk setka (to'r) deb ataladigan ko'rinishda bo'lishi mumkin. Bunday ko'rinishli tarmoqlar katta shaharlarda 400/230 V kuchlanishli shahar xo'jalik yuklamalarini ta'minlashda qo'llaniladi. Bunday tarmoqning sxemasi (5.5-rasm) shahar ko'chalarida o'tkazilgan, kesishgan joylarni birlashtiruvchi va parallel bir nechta manbalardan ta'minlanuvchi liniyalarni ifoda etadi.



5.5-rasm. Berk to'r sxemasi.

Amaliy hisoblarda berk to'rtli ochiq tarmoqlarga aylantirish uchun shartli ravishda tugunlar kesiladi (shtrixli liniyalar) va so'ngra ma'lum usullarda – metall minimal sarfining minimalligi va ruxsat etilgan kuchlanish yo'qotilishi bo'yicha hisoblaymiz. Bunday kesish juda aniq natijalarni beradi, chunki tarmoqning bo'linish joyi ko'pgina hollarda yuklamalar bo'lingan nuqtalar bilan yaqin yoki ustma-ust tushadi.

Yopiq tarmoqlar ochiq tarmoqlarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega. Ularning asosiylarini ko'rib o'tamiz.

Ishonchlilik. Manbaning birortasi ishdan chiqqanida hamma iste'mol qiladigan yuklamalar shikastlangan uskunani ajratish uchun kerak bo'lgan vaqtli uzilishdan so'ng boshqa manbalardan energiyani qabul qilishi mumkin. Shuningdek, bu yana liniyaning qandaydir uchastkasidagi shikastga ham tegishlidir.

Moslanuvchanlik. Yopiq tarmoqlarda qisqa vaqtli iste'molchilarda yuklamani tebranishi yoki uzoq vaqtli uni o'zgarishi, ochiq tarmoqlarga nisbatan kuchlanishni kam tebranishi va yo'qotilishini yuzaga keltiradi.

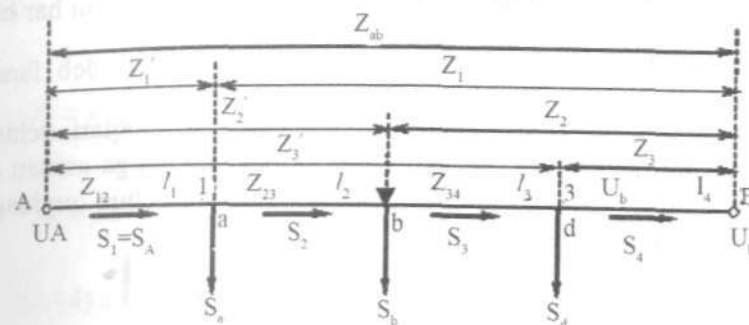
Kuchlanish isrofining minimal bo'lishi. Quvvatlarni tabiiy ravishda qaytadan taqsimlanishi tufayli ta'minlovchi punktlarning kuchlanishlari bir xil bo'lganda kuchlanishni yo'qotilishi minimal bo'ladi. Yuklamalarning o'zgarishi jarayonida quvvatlarning ixtiyoriy o'zgarishi va ularni yopiq tarmoq uchastkalarida eng maqbul quvvatlarni (toklarni) taqsimlanishini ta'minlaydi. Bo'linish nuqtasi deb atalgan nuqtalar yopiq tarmoqlarda erkin harakatlanadiki, bu holatda yopiq tarmoqlarda toklarning (quvvatlarni) taqsimlanishi bo'linish nuqtasiga asosan majburiydir.

Ta'minlovchi punktlarning har xil kuchlanishda bo'lishi potentsiallarning har xilligidan tenglashtiruvchi deb ataladigan tokni yuzaga keltiradi. Bu toklar ko'pincha qo'shimcha quvvat isrofini hosil qiladi.

Qaytadan chuqur tuzatishsiz tarmoqlarni rivojlantirish.

Yopiq tarmoqlarda quvvatlarni ixtiyoriy taqsimlanishi tufayli o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkoniyati bo'ladi,

ya'ni yuklamalar oshishi bilan tarmoqni qaytadan qurish yoki o'zgartirish shart emas. Bularning barchasi yuklamalarni ma'lum bir qiymatlarida to'g'ridir.



5.6-rasm. Ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqning sxemasi

Modomiki, yuqorida ko'rsatilganidek halqasimon tarmoqlarni osonlik bilan ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarga keltirish mumkin ekan, ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarda quvvat oqimlari va kuchlanishning taqsimlanishini aniqlash usulining sxemasini 5.6-rasmda tasvirlangan elektr tarmog'i misolida ko'rib chiqamiz.

5.6-rasmda S_a, S_b va S_c – 1, 2 va 3 tugunlardagi yuklamalar; S_1, S_2 va S_3 – uchastkalardagi to'la quvvatlar oqimlari; $Z_{01}, Z_{12}, Z_{23}, Z_{34}$ va l_1, l_2, l_3, l_4 va – tegishli bo'lgan uchastkalarining to'la qarshiliklari va uzunliklari; A va B – ta'minlash manbalari; U_A va U_B – ta'minlash manbalarining kuchlanishlari.

Har bir uchastkada liniya kuchlanishining pasayishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta \dot{U}_i = \sqrt{3} I_i Z_i$$

Bunda I_i, Z_i – i uchastka toki va to'la qarshiligi.

Kuchlanish pasayishi uchun yuqoridagi ifoda va $\hat{S}_i = \sqrt{3} \hat{I}_i \hat{U}_i$

dan $\Delta \dot{U}_i = \frac{\hat{S}_i}{\hat{U}_i} Z_i$ kelib chiqadi.

Liniyalardagi quvvatlar isrofini hisobga olmasdan, ya'ni har bir uchastka uzunligi davomida kuchlanishlar o'zgarmas deb faraz qilib $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dots = U_n$ (taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun mumkin bo'lgan holat), Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan A va V punktlar orasidagi kuchlanishning pasayishi uchun quyidagi tenglamani yozishimiz mumkin:

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B = \frac{\hat{S}_1 Z_{01}}{U_n} + \frac{\hat{S}_2 Z_{12}}{U_n} + \frac{\hat{S}_3 Z_{23}}{U_n} + \frac{\hat{S}_4 Z_{34}}{U_n}$$

yoki

$$\hat{S}_1 Z_{01} + \hat{S}_2 Z_{12} + \hat{S}_3 Z_{23} + \hat{S}_4 Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n. \quad (5.12)$$

Tarmoqda quvvat isroflarini hisobga olmagan holda Kirxgofning birinchi qonunini qo'llab shoxobchalardagi quvvat oqimlari uchun quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_1 - \dot{S}_a; \quad \dot{S}_3 = \dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_b; \quad \dot{S}_4 = \dot{S}_1 - \dot{S}_a - \dot{S}_b - \dot{S}_s \quad (5.13)$$

Bu ifodalarni (5.12) tenglamaga qo'yamiz:

$$\hat{S}_1 Z_{01} + (\hat{S}_1 - \hat{S}_a) Z_{12} + (\hat{S}_1 - \hat{S}_a - \hat{S}_b) Z_{23} + (\hat{S}_1 - \hat{S}_a - \hat{S}_b - \hat{S}_s) Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \cdot \dot{U}_n$$

yoki

$$\hat{S}_1 (Z_{01} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) - \hat{S}_a (Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}) - \hat{S}_b (Z_{23} + Z_{34}) - \hat{S}_s Z_{34} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \cdot \dot{U}_n$$

Bundan A punktdan liniyaga chiquvchi – izlanayotgan quvvatni aniqlash formulasini hosil qilamiz:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_A = \frac{\dot{S}_a (\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}) + \dot{S}_b (\hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}) + \dot{S}_s \hat{Z}_{34} + (\hat{U}_A - \hat{U}_B) \cdot U_n}{\hat{Z}_{01} + \hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}} \quad (5.14)$$

Quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

$$\dot{Z}'_1 = Z_{01}; \quad Z_1 = Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}; \quad \dot{Z}'_2 = Z_{01} + Z_{12}; \quad Z_2 = Z_{23} + Z_{34};$$

$$\dot{Z}'_3 = Z_{01} + Z_{12} + Z_{23}; \quad Z_3 = Z_{34}; \quad Z_{AB} = Z_{01} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}$$

(5.14) da ushbu belgilashlarni xisobga olamiz:

$$\dot{S}_A = \frac{\dot{S}_a \hat{Z}_1 + \dot{S}_b \hat{Z}_2 + \dot{S}_s \hat{Z}_3}{\hat{Z}_{AB}} + \frac{\hat{U}_A - \hat{U}_B}{\hat{Z}_{AB}} \cdot U_n \quad (5.15)$$

yoki umumiy holatda ta'minlash punktlari oralarida n ta yuklama tugunlariga ega bo'lgan tarmoq uchun

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i}{\hat{Z}_{AB}} + \frac{\hat{U}_A - \hat{U}_B}{\hat{Z}_{AB}} \cdot U_n \quad (5.16)$$

Xuddi shunday formulani B nuqtadan chiquvchi quvvat uchun ham hosil qilish mumkin:

$$\dot{S}_B = \dot{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \hat{Z}_i}{\hat{Z}_{AB}} \cdot \frac{\hat{U}_A - \hat{U}_B}{\hat{Z}_{AB}} \cdot U_n$$

$\dot{S}_1 = \dot{S}_A$ aniqlanganidan so'ng (5.13) ifodalar yordamida uchastkalar bo'yicha taqsimlangan quvvat oqimlari oson topiladi.

Shoxobchalardagi quvvatlarning musbat yo'nalishi qilib shartli ravishda A punktdan B ga tomon yo'nalish qabul qilingan (5.6-rasm). Bunday holatda B ta'minot manbasiga yaqin uchastkalardagi yuklamalarning bir qismi manfiy ishorada bo'ladi. Bu esa ularni teskari yo'nalishdaligini ko'rsatadi. Qandaydir nuqtaga quvvat ikki tomondan kirib keladi. Ko'rilayotgan holat uchun shunday nuqta 2-nuqta bo'lsin. Bu nuqta bo'linish nuqtasi deb ataladi va maxsus belgi bilan ajratiladi. (5.15) formuladagi ikkinchi tashkil etuvchi ta'minlash punktlarida kuchlanishlar farqi tufayli hosil bo'lib, kuchlanishi katta bo'lgan tomondan kichik bo'lgan tomonga liniya orqali oquvchi tenglashtiruvchi quvvatni ifodalaydi. Bu keraksiz bo'lgan quvvat yuklamalarga bog'liq bo'lmasdan tarmoqda qo'shimcha isrofni yuzaga keltiradi. Shuning uchun imkoniyatga qarab tarmoqni ta'minlaydigan punktlarning kuchlanishlarini tenglashtirishga harakat qilinadi. Ta'minlash punktlarida kuchlanishlar teng bo'lgan ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqlarda, shuningdek, yopiq sxemada A va B nuqtalar ustma-ust tushganda ($\dot{U}_A = \dot{U}_B$) (5.15) formuladagi ikkinchi tashkil etuvchi yo'qoladi va A punktdan chiquvchi quvvatni topish formulasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \hat{Z}_i}{\hat{Z}_{AB}}. \quad (5.16a)$$

Shunday qilib, bitta ta'minlash manbayidan chiqadigan quvvatni aniqlash uchun yuklamalar momenti yig'indisini boshqa manbaga

nisbatan aniqlash va uni to'liq qarshilik Z_{AB} ga bo'lish kerak.

$\dot{U}_A = \dot{U}_B$ bo'lganda yoki halqasimon sxemalarni hisoblaganda ikkala ta'minlash manbayidan quvvat oqimining bo'linish nuqtasigacha bo'lgan oraliqdagi kuchlanish isroflari bir xil bo'ladi. Shu sababli bu nuqtada tarmoqni shartli kesish orqali ikkita bir

tomondan ta'minlanuvchi tarmoqlar ko'rinishiga keltirish mumkin.

Umumiy hollarda hisoblash quyidagi kompleks ko'rinishda bo'ladi:

$$\dot{S}_A = P_A + jQ_A = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i + jQ_i)(R_i - jX_i)]}{R_{AB} - jX_{AB}}.$$

Formulalardagi qarshiliklarni mos o'tkazuvchanliklar bilan almashtirib, ko'p hollarda hisoblashni osonlashtirish mumkin:

$$Y_{AB} = \frac{1}{Z_{AB}} = G_{AB} - jB_{AB}.$$

Bunda

$$G_{AB} = \frac{R_{AB}}{R_{AB}^2 + X_{AB}^2}, \quad B_{AB} = \frac{X_{AB}}{R_{AB}^2 + X_{AB}^2}.$$

Bu ifodalarni (5.16a) formulaga qo'ysak:

$$\dot{S}_{AB} = (G_{AB} + jB_{AB}) \cdot \sum_{i=1}^n [(P_i + jQ_i)(R_i - jX_i)].$$

Ma'lum shakl almashtirishlarni amalga oshirib, A ta'minlash manbasidan chiqayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar uchun alohida ifodalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} P_A &= G_{AB} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) - B_{AB} \sum_{i=1}^n (Q_i R_i - P_i X_i), \\ Q_A &= G_{AB} \sum_{i=1}^n (Q_i R_i - P_i X_i) + B_{AB} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i). \end{aligned} \quad (5.17)$$

(5.17) formula aktiv va reaktiv quvvatlarning taqsimlanishini yuklamani mutloq haqiqiy va mavhum qiymatlari va qarshiliklari yordamida hisoblashga imkon beradi. $U_A \neq U_B$ bo'lganda (5.17) formulalar bo'yicha aniqlanuvchi quvvat taqsimlanishi qiymatlariga tenglashtirish quvvatini qo'shish lozim.

Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarda quvvat taqsimlanishi yuqoridagi formulalar bo'yicha aniqlanganidan so'ng kuchlanishlarni hisoblashga o'tiladi.

Yuqorida keltirib chiqarilgan ifodalarni soddalashtirish va hisoblashni osonlashtirish imkonini beruvchi ayrim hollarni ko'rib chiqamiz.

Agar liniyaning butun uzunligi davomida tayanchlarda o'tkazgichlar bir xil osilgan va uchastkalarda reaktiv va aktiv qarshiliklarning o'zaro nisbati bir xil, ya'ni

$$\frac{X}{R} = m = \text{const}$$

bo'lsa, u holda $X=mR$ va $X_{AB}=mR_{AB}$ ni hisobga olib, (5.16a) formulani quyidagicha o'zgartirish mumkin:

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i + jQ_i)(1 - jm)R_i}{(1 - jm)R_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_i R_i}{R_{AB}}. \quad (5.18)$$

Shunday qilib, ushbu holatda tarmoqda aktiv va reaktiv quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash aktiv qarshilik bo'yicha alohida olib borilishi mumkin.

2. Ko'ndalang kesim yuzasi bir xil bo'lgan liniya.

Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyaning barcha uchastkalarida o'tkazgichlarning joylashuvi va kesim yuzalari bir xil, ya'ni $r_i = \text{const}$ bo'lsa, u holda $R_i = r_i L_i$ va $R_{AB} = r_{AB} L_{AB}$ (L_i - liniyaning mos yuklamadan B punktga bo'lgan oraliqdagi uchastkalari uzunliklarining yig'indisi; L_{AB} - liniyaning barcha uchastkalari

uzunliklari yig'indisi) ekanligini e'tiborga olib, (5.16a) ni quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i r_i L_i}{r_{AB} L_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_i r_i L_i}{r_{AB} L_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i L_i}{L_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_i L_i}{L_{AB}}$$

yoki

$$P_A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i L_i}{L_{AB}}, \quad Q_A = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i L_i}{L_{AB}}.$$

Bu holda aktiv va reaktiv quvvat oqimlarini hisoblash aktiv va reaktiv quvvatlar bo'yicha ayrim holda liniya uzunligi bo'yicha olib boriladi.

5.4. Murakkab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash

Uchta va undan ortiq tomondan ta'minlanuvchi tugunlarga ega bo'lgan yoki ikki va undan ortiq mustaqil konturlarga ega bo'lgan elektr tarmog'i murakkab yopiq elektr tarmog'i deyiladi.

Bunday tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofni e'tiborga olmasdan (taxminiy) hisoblashda kontur toki tenglamalaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Ushbu usulda elektr tarmog'ining barcha mustaqil konturlari uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tuzilgan tenglamalardan hosil bo'lgan sistema yechiladi. Bu qonunga asosan kontur shoxobchalarida kuchlanish pasayishlarining yig'indisi undagi EYuK.larning yig'indisiga tengdir.

Demak, n ta shoxobchadan iborat bo'lgan konturda EYuK manbai bo'lmasa, u holda tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n \hat{S}_i \hat{Z}_i = 0. \quad (5.19)$$

Bunda, $\hat{Z}_i$, $\hat{S}_i$ – konturning i – shoxobchasi to‘la qarshiligining qo‘shmasi va undagi to‘la quvvat oqimi.

Agar (5.19) da to‘la qarshiliklar va quvvat oqimlarini

$\hat{Z}_i = R_i + jX_i$, $\hat{S}_i = P_i + jQ_i$ ko‘rinishda ifodalasak, u quyidagi ikkita tenglamaga ajraladi:

$$\sum_{i=1}^n P_i R_i + \sum_{i=1}^n Q_i X_i = 0 \quad (5.19a)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i - \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0 \quad (5.19b)$$

(5.19a) ni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i \frac{R_i}{X_i} + \sum_{i=1}^n Q_i R_i \frac{X_i}{R_i} = 0. \quad (5.20)$$

Konturning shoxobchalari liniyalardan iborat bo‘lib, uni bir jinsli deb qarasak, ya‘ni $\frac{R_i}{X_i} = \alpha = const$ yoki $\frac{X_i}{R_i} = \frac{1}{\alpha} = const$ bo‘lsa, u holda (5.20) tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\alpha \sum_{i=1}^n P_i X_i + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0 \quad (5.21)$$

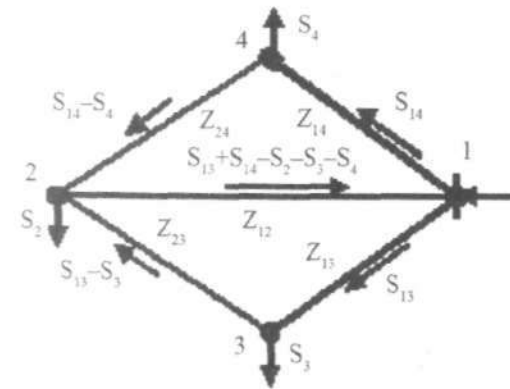
(5.20) tenglamaning har ikkala tomonini α ga ko‘paytirib, hosil bo‘lgan tenglamani (5.19b) tenglamaga qo‘shish, shuningdek, (5.21) ning har ikkala tomonini α ga bo‘lib, hosil bo‘lgan tenglamadan

(5.19b) ni ayirish natijasida quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = 0, \quad (5.22a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (5.22b)$$

(5.22a) tenglama yuklamalarining quvvatlari faqat aktiv va shoxobchalarining qarshiliklari faqat reaktiv xarakterda bo‘lgan kontur uchun va (5.22b) tenglama yuklamalarining quvvatlari faqat reaktiv va shoxobchalarining qarshiliklari faqat aktiv bo‘lgan kontur uchun yozilgan tenglamalardir. Demak, ushbu holda elektr tarmoqda aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishlarini alohida mustaqil sxemalar uchun (5.22a) va (5.22b) tenglamalarni yechish asosida aniqlash mumkin. Ushbu usul «sxemalarga ajratish» usuli deb yuritiladi. Misol tariqasida quyidagi murakkab yopiq elektr tarmoqda (5.7-rasm) quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash masalasini ko‘rib o‘tamiz.



5.7-rasm. quvvat oqimi taqsimlanishi.

Sxemasi 5.7-rasmda tasvirlangan elektr tarmoqda to‘la quvvat oqimining taqsimlanishi umumiy holda har ikkala mustaqil

konturlar uchun Kirxgofning 2-qonuni bo'yicha (5.19) ko'rinishida yozilgan kompleks tenglamalar sistemasini yechib, noma'lumlar S_{13}, S_{14} larni topish orqali amalga oshiriladi:

$$\begin{cases} \dot{S}_{14}\hat{Z}_{14} + (\dot{S}_{14} - \dot{S}_4)\hat{Z}_{24} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)\hat{Z}_{12} = 0, \\ \dot{S}_{13}\hat{Z}_{13} + (\dot{S}_{13} - \dot{S}_3)\hat{Z}_{23} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)\hat{Z}_{12} = 0. \end{cases}$$

«Sxemalarga ajratish» usulida esa, 5.7-rasmdagi sxema quyidagi sxemalarga ajratilib (5.8-a, 5.8-b rasm), ular uchun yuqoridagi qonun bo'yicha tuzilgan tenglamalardan iborat bo'lgan (5.22a) va (5.22b) ko'rinishidagi haqiqiy tenglamalar sistemalarini yechish asosida aktiv va reaktiv quvvatlar oqimlari alohida hisoblanadi.

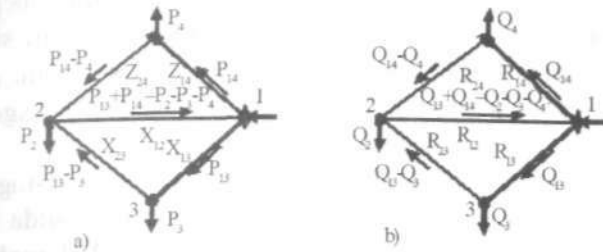
Agar mustaqil konturlarni tashkil etuvchi shoxobchalar solishtirma parametrlari bir xil bo'lgan liniyalardan iborat deb qarasak ($r_{0i} = \text{const}$, $x_{0i} = \text{const}$), u holda (5.22a) va (5.22b) tenglamalar yanada soddalashadi. Bunda qarshiliklar o'rnida mos liniyalarning uzunliklari paydo bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n P_i l_i = 0, \quad (5.23a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i l_i = 0. \quad (5.23b)$$

(5.23a) va (5.23b) tenglamalardan iborat bo'lgan sistemalarni yechish orqali quvvatlar oqimlarining taqsimlanishini taxminiy hisoblashlarda, jumladan, elektr tarmoqlarni loyihalashda oqimning dastlabki taqsimlanishini hisoblashda foydalaniladi:

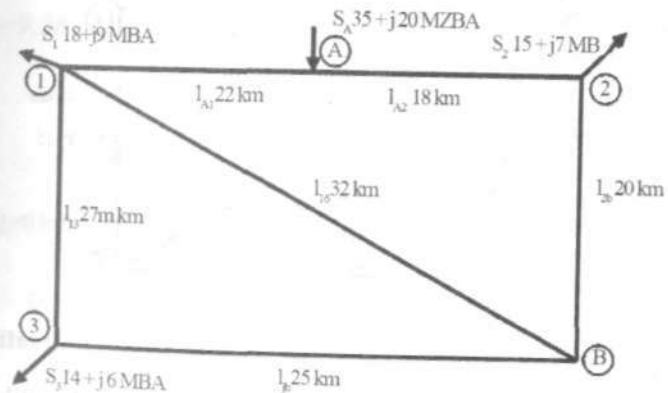
5.2-misol. Sxemasi quyidagi 5.9-rasmda keltirilgan bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofini hisobga olmasdan aniqlash talab etiladi.



5.8-rasm. Quvvat oqimining taqsimlanishi.

Balanslovchi tugundan tashqari bircha tugunlardagi to'la quvvatlar va liniyalarning uzunliklari sxemada keltirilgan.

Elektr tarmoqning konturlari bir jinsli bo'lganligi uchun ulardagi quvvat oqimlarini liniyalarning uzunliklari bo'yicha hisoblaymiz.



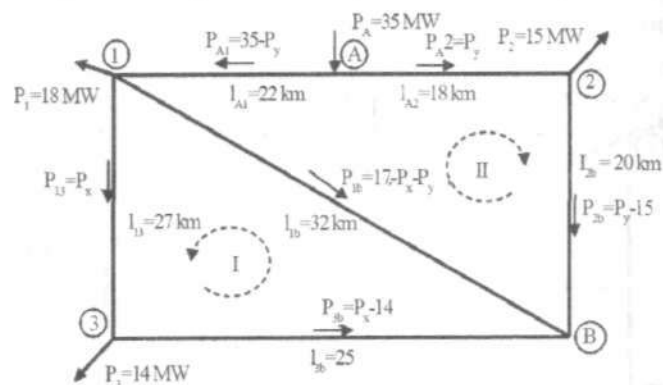
5.9-rasm. Murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishi.

Hisoblashda qulay bo'lishi uchun aktiv va reaktiv quvvat oqimlarini hisoblashni alohida amalga oshiramiz.

Elektr tarmoqda aktiv quvvatning taqsimlanishini hisoblash. Tarmoqning sxemasini qayta chizib, tugunlarga aktiv quvvatlarni qo'yamiz va liniyalarda quvvat oqimlarini aniqlaymiz. Buning

uchun avvalo har bir mustaqil konturning bittadan shoxobchasida (hozirgi holatda liniyasida) quvvat oqimlarini noma'lum sifatida qabul qilib, qolgan shoxobchalardagi quvvat oqimlarini ushbu ikkala noma'lum va tugunlardagi quvvatlar orqali (Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib) ifodalaymiz.

Birinchi konturda (I kontur) 1-3 shoxobchada 1-tugundan 3-tugunga tomon oquvchi quvvatni noma'lum sifatida qabul qilib, P_x bilan va ikkinchi konturda (II kontur) A-2 shoxobchada A-tugundan 2-tugunga tomon oquvchi quvvatni noma'lum sifatida qabul qilib, P_y bilan belgilaylik. Qolgan barcha shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarining yo'nalishlarini ixtiyoriy qabul qilib (masalan, 5.10-rasmdagi yo'nalishlarda), ularni tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib ifodalaymiz.



5.10-rasm. Aktiv quvvat oqimlari yo'nalishlarini ko'rsatish.

Kontur quvvatlarining yo'nalishlarini ixtiyoriy qabul qilib, ular uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tenglamalar tuzamiz. Bunda shoxobchadagi quvvat yo'nalishi kontur quvvatining yo'nalishi bilan bir xil bo'lganda mos tashkil etuvchi musbat va har xil bo'lganda manfiy ishora bilan olinadi:

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

Paydo bo'lgan sistemani ixchamlab yechamiz va natijada noma'lum quvvat oqimlarini topamiz: $P_x = 4,58 \text{ MW}$, $P_y = 15,96 \text{ MW}$.

Topilgan quvvatlarni shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarining ifodalariga (5.10-rasm) qo'yib, ularni aniqlaymiz: $P_{A2} = 15,96 \text{ MW}$,

$$P_{2B} = 0,96 \text{ MW}, P_{A1} = 19,04 \text{ MW}, P_{13} = 4,58 \text{ MW}, P_{3B} = -9,42 \text{ MW},$$

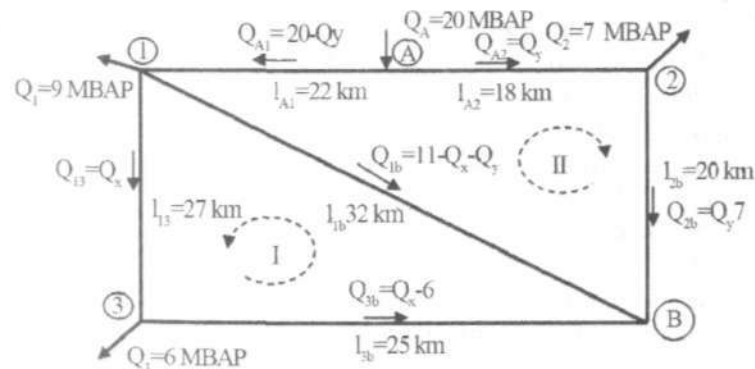
$$P_{1B} = -3,54 \text{ MW}.$$

Shoxobchalardagi reaktiv quvvat oqimlarini ham shu tarzda topamiz (5.11-rasm).

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

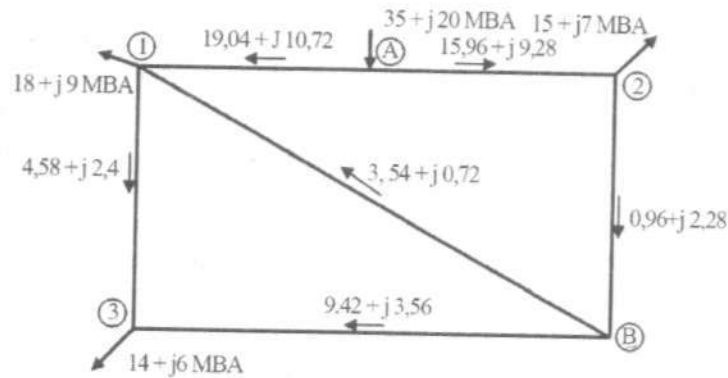
$$Q_x = 2,44 \text{ MW}, Q_y = 9,28 \text{ MW}.$$

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



5.11-rasm. Reaktiv quvvat oqimlarini ko'rsatish.

Shoxobchalardagi to'la quvvat oqimlarining aniqlangan qiymatlarini 5.12-rasmdagi sxemada keltiramiz.



5,12-rasm. To'la quvvat oqimlarini aniqlash.

Nazorat savollari

1. Taqsimlash tarmog'ining radial va magistral sxemlari afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
2. Kuchlanishi 35kV gacha bo'lgan taqsimlash tarmoqlarini hisoblashda qanday soddalashtirishlar qabul qilinadi?
3. Simmetrik yuklamani ta'minlovchi uch fazali tok liniyasi qanday hisoblanadi?
4. Ochiq taqsimlash tarmoqlarida kuchlanish isrofining eng katta qiymati qanday aniqlanadi?
5. Uzatish liniyalarining almashtirish sxemalarini qanday tanlanadi?
6. Uzatish liniyalarni P-simon almashtirish sxemasiga ko'ra qanday hisoblanadi?
7. Ochiq va yopiq elektr tarmoqlarining xususiyatlari nimada?
8. Elektr tarmoqlarini hisoblash masalalasi va usullari nimalardan iborat?
9. Xalqa va magistral liniyalar qanday hisoblanadi?
10. Murrakab-yopiq elektr tarmoqlarini hisoblashning matritsa usuli qanday bajariladi?
11. Murrakab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishi qanday amalga oshiriladi?

VI. ELEKTR TARMOG'INING ISH HOLATLARI VA ULARNI BOSHQARISH

6.1. Elektr tarmoqlarda quvvat isrofining turlari va ularni kamaytirish tadbirlari

Elektr iste'molchilarining normal ishlashi uchun aktiv va reaktiv quvvatlar talab etiladi. Reaktiv quvvat magnit maydonini hosil qilish uchun sarflanadi va uni ishlab chiqarish birlamchi energiya resursining sarflanishini talab qilmaydi. Ammo uni liniyalar orqali uzatish tarmoq elementlarida ma'lum aktiv isrof bilan bog'liq. Bu elementlarda reaktiv quvvat ham sarflanadi, bu esa reaktiv quvvat ishlab chiqarilishini talab qiladi. Shuning uchun reaktiv quvvat iste'molchilarni kamaytirish aktiv energiyani tejaydi, quvvat va kuchlanish isrofini kamaytiradi.

Quvvat isrofi ikki xil bo'ladi: yuklamali (yuklamaga bog'liq bo'lgan) va salt ishlash (yuklamaga bog'liq bo'lmagan) isroflari. Tarmoqning yuklamasi bilan belshilanuvchi quvvat isrofi – yuklamali, yuklamaga bog'liq bo'lmagan isroflar esa salt ishlash isroflari deb yuritiladi. Yuklamali isroflarga tarmoq elementlarining qarshiliklari orqali yuklama tokining oqib o'tishi natijasida yuz beruvchi isroflar, salt ishlash isroflariga esa transformatorlarning o'zagida, liniyalarda tojlanish va izolatsiya qurilmasi orqali o'tuvchi toklar tufayli yuz beruvchi isroflar kiradi.

Boshqa tomondan, isroflarni texnikaviy, tashkiliy va kommersiya isroflariga ajratish mumkin. Texnikaviy isroflar – tarmoqni qayta qurish, uskunalarni almashtirish yoki qo'shimcha uskunalar o'rnatish tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga quyidagilar kiradi:

- 1) kompensatsiyalovchi uskunalarni o'rnatish;
- 2) o'tkazgichlarni katta kesim yuzali o'tkazgichlar bilan almashtirish;

3) ko'p yuklangan va kam yuklangan transformatorlarni almashtirish;

4) rostdash uskunalari o'rnatish (RPN va PBV li transformatorlar, kuchlanish qo'shuvchi transformatorlar, punktlangan reaktorlar va boshqalar);

5) transformatsiya koeffitsientlarini avtomatik rostdash;

6) sig'imli batareyalar quvvatini avtomatik rostdash;

7) yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli yopiq tarmoqlarda quvvat oqimini rostlovchi uskunalarni o'rnatish (masalan, rostlovchi transformatorlar, RT);

8) tarmoqni yuqori kuchlanishga o'tkazish;

9) rele himoyasi, avtomatika, telemexanikaning takomillashgan turlarini tatbiq etish.

Tashkiliy isroflar – xizmat ko'rsatishni yaxshilash tarmoq sxemalarini va ish rejimlarini optimallashtirish tadbirlarini ko'zda tutadi. Bularga quyidagilar kiradi:

1) tarmoqning o'rnatilgan rejimini ish tartibini reaktiv quvvat bo'yicha optimallashtirish (KU va transformatsiyalash koeffitsientini optimal rostdash qonunlarini tanlash);

2) 6-35 kV li tarmoqlarning uzilish joylarini optimallashtirish;

3) sistemada reaktiv quvvat tanqisligi mavjud bo'lganda generatorlarni sinxron kondensatorlar rejimiga o'tkazish;

4) radial tarmoqlarning ta'minlash markazlarida ish kuchlanishlarini optimallashtirish;

5) kam yuklamali rejimlarda transformatorlarni o'chirish;

6) tarmoq fazalarida yuklamalarni teng taqsimlash;

7) ta'mirlash va xizmat ko'rsatish vaqtini qisqartirish va sifatini yaxshilash;

8) quvvat isrofini kamaytirishning yangi usullarini ishlab chiqish va yaratish;

9) xizmat xodimlarini rag'batlantirish va boshqalar.

Kommertsiya isroflari – xizmat ko'rsatishni yaxshilash ko'zda tutiladi va iste'molchilar bilan hisob-kitob vaqtida energonazorat amalga oshiradi. Bunga kiradi: 1) energiya o'lchagich asboblari

o'rnatish; 2) o'g'irliklar bilan kurashish; 3) nazorat sistemasini yaxshilash va boshqalar.

Quvvat isrofini kamaytirish tadbirlari loyihalashda hamda ishlatish vaqtida amalga oshiriladi. Eksploatatsiya tadbirlari rejimlarni optimallashtirish vaqtida doimo amalga oshiriladi.

Tarmoq yuklamasi ortganda yuklamali isroflar oshadi. Iste'molchilarning aktiv va reaktiv yuklamalarini o'zgarishi energosistemada aktiv va reaktiv quvvatlar oqimlarini hamda undagi isrofini o'zgarishiga sabab bo'ladi.

Shuning uchun doimo isrof darajasini nazorat qilish kerak, chunki ular butun tarmoqning tejamli ishlashini aniqlaydi. Isrof darajasini boshqarish muammosiga sistemaviy yondashish murakkab masala hisoblanadi va faqat zamonaviy iqtisodiy-matematik modellar va EHM lar yordamida uni kompleks yechish mumkin. Bunda asosiy qiyinchilik, tarmoq holatlari to'g'risida ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash hisoblanadi, chunki ular yuklamalar o'zgarishi bilan doimo o'zgarib turadi.

Ichki elektr ta'minlash tarmoqlaridagi yuklama va isroflar o'zgarishini energosistema tarmoqlaridagi isroflarga ta'sirini hisobga olish uchun umumlashtirilgan koeffitsientlar ishlatiladi: iste'molchilar tarmoqlarida aktiv quvvat o'zgarganda energosistema tarmoqlarida aktiv quvvat isrofining ortishi koeffitsienti K_p ; reaktiv quvvat o'zgarganda aktiv quvvat isrofining ortishi koeffitsienti K_e . K_e koeffitsient reaktiv quvvatning iqtisodiy ekvivalenti deb ham ataladi. Bu koeffitsientning $K_e=0,05$ bo'lishi, sanoat korxonasi tarmog'ida reaktiv quvvat 100 kVAR ga ortganda, tarmog'ida aktiv quvvat isrofi 5 kW ga ortishini bildiradi.

6.2. Reaktiv quvvat manbalari

Isrof ifodasidan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat Q ortishi bilan reaktiv va aktiv quvvatlar isrofi ortadi. Ularni kamaytirish uchun, reaktiv quvvat manbasi bo'lgan kompensatsiyalovchi uskunalar (KU) qo'llaniladi. Liniyani katta reaktiv quvvat bilan

yuklamalik uchun, manbalar iste'molchilarga yaqin o'rnatiladi. Kompensatsiyalovchi uskuna o'rnatilganda liniyadagi isroflar

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x \text{ qiymatdan}$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{ku})^2}{U^2} R \text{ va } \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_{ku})^2}{U^2} x \quad (6.1)$$

qiymatgacha kamayadi.

(6.1) dan ko'rinish turibdiki, kompensatsiyalovchi uskunaning quvvati Q_{ku} qancha katta bo'lsa ($Q_{ku} < Q$ bo'lgan holatda), quvvat isrofi shuncha kichik bo'ladi. Lekin, isrofini bu usulda kamaytirish kompensatsiyalovchi uskunalariga sarflanuvchi qo'shimcha xarajatlarni talab qiladi. Bu xarajatlarni texnik-iqtisodiy hisoblashlarda e'tiborga olish lozim.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash elektr ta'minoti samaradorligini oshirishning muhim omili (vositasi) hisoblanadi. U faqat quvvat isrofini kamaytiribgina qolmay, elektr energiya sifatini oshiradi va elektr tarmoqlari va elektr stansiyalarining yukini yengillashtiradi.

Aytish lozimki, elektr tarmoqlarini kompensatsiyalovchi vositalar bilan ta'minlanishi 0,2 kVAR/kW atrofida tashkil qiladi. Shu bilan birga, hisoblashlar ko'rsatdiki, iqtisodiy tomondan maqsadga muvofiq qiymat 0,5 kVAR/kW ni tashkil etadi.

Reaktiv quvvat manbalariga generatorlar, kompensatorlar, sinxron dvigatellar, kondensatorlar va boshqa statik rostlovchi manbalar kiradi. Reaktiv quvvatning EUL lari ham ishlab chiqaradi (110 kV va yuqori kuchlanishlarda ahamiyatga ega).

Generatorning aktiv va reaktiv quvvatlari orasidagi nisbat $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ tenglik bilan belgilanadi. Aktiv quvvatning ortishi reaktiv quvvatning kamayishiga olib keladi va aksincha. Biroq

generatorlarning aktiv quvvatini kamaytirish hisobiga uni reaktiv quvvat yuklash samarali emas, faqat ayrim hollardan tashqari, qachonki sistemada ortiqcha reaktiv quvvat bo'lganda.

Sinxron dvigatel (SD) elektr energiyasining iste'molchisi bo'lib, aktiv quvvatni iste'mol qilish bilan bir vaqtda qo'zg'atish tokining qiymatiga bog'liq holda reaktiv quvvatni iste'mol qilishi va ishlab chiqarishi mumkin. Sinxron kompensator (SK)lar talab etilgan reaktiv quvvatni ishlab chiqarishi va iste'mol qilishi mumkin. U rotorining aylanishi uchun kichik miqdordagi aktiv quvvatni iste'mol qiladi. Shunday qilib, generator, SD va SK zaruriyatga muvofiq tarzda reaktiv quvvatni ishlab chiqarishi (o'ta qo'zg'algan holatda) va iste'mol qilishi (kam qo'zg'algan holatda) mumkin.

Kondensator batareyalari iste'molchilarga parallel (ko'ndalang kompensatsiya) yoki liniyaga ketma-ket (bo'ylama kompensatsiya) ulanishi mumkin. Batareyada kondensatorlar parallel ulanganda undagi kuchlanish normal holatda taxminan o'zgarmas bo'ladi. Bunda u ishlab chiqaruvchi reaktiv quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{ku} = U_s^2 \cdot \omega C.$$

Formuladan ko'rinish turibdiki, reaktiv quvvat batareya sig'imiga to'g'ri proporsional.

Kondensator batareyasi ketma-ket ulanganda unda ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvatni tok orqali ifodalash qulay:

$$Q_{ku} = \frac{I^2}{\omega C}.$$

Bu holda, quvvat sig'imga teskari proporsional.

Qisqa tutashuvda kuchlanish birdaniga oshib ketmaydi, bundan farqli o'laroq tok keskin ko'tariladi. Bunda, har bir kondensatordagi kuchlanish U_0 ortadi va kondensatorlarning teshilishini oldini olish uchun bu kuchlanish ruxsat etilgandan katta bo'lmasligi kerak. Shuning uchun, kondensatorlar ketma-ket ulanganda kondensator batareyasining uchala fazasiga parallel ravishda razryadniklar

ulanadi, ular kuchlanish oshganda teshiladi (ishlaydi) va batareyani saqlaydi. Lekin batareyaning tuzilishi va uni ishlatish ancha murakkablashadi.

Kondensatorli batareyalarning samaradorligi ma'lum darajada ular ulangan tarmoq yuklanishiga bog'liqdir. Bu asosan reaktiv quvvatning iqtisodiylik ekvivalenti K_E bilan aniqlanadi.

Kondensatorli batareyalar rostlanadigan (RBK) va rostlanmaydigan (NBK) turlarga bo'linadi. Generator, liniya va dvigatellar sistemaning asosiy elementlari, kompensator va kondensatorlar esa – reaktiv quvvat ishlab chiqarish uchun o'rnatilgan qo'shimcha manbalar hisoblanadi. Shuning uchun ularning o'zaro afzallik va kamchiliklarini baholash muhimdir.

Kondensatorli batareyalarning sinxron kompensatorlarga nisbatan afzalliklari:

- 1) arzonligi;
- 2) aktiv quvvat isrofining kamligi;
- 3) kichik quvvatlarda kam ishlatish mumkinligi;
- 4) mustahkamligi va ishlatishda ishonchliligi (harakatlanuvchi qismlarning yo'qligi)
- 5) kuchlanishni o'zgarish chizig'i shaklining yaxshilanishi.

Sinxron kompensatorlarning afzalliklari:

- 1) reaktiv quvvatning bir tekis rostdash imkoniyati mavjudligi;
- 2) reaktiv quvvatning ishlab chiqarish hamda iste'mol qilish imkoniyatlari mavjudligi.

6.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilishi oqibatlari

Elektr sistemasida aktiv va reaktiv quvvatlar balansi shartlari quyidagichadir:

$$\sum P_g = \sum P_i = \sum P_n + \sum \Delta P,$$

$$\sum Q_g = \sum Q_i = \sum Q_n + \sum \Delta Q,$$

Bunda $\sum P_g$ va $\sum Q_g$ – sistemada ishlab chiqariyotgan umumiy aktiv va reaktiv quvvatlar (o'z ehtiyoj iste'molchilari hisobga olinmagan); $\sum P_i$ va $\sum Q_i$ – iste'mol qilinayotgan umumiy aktiv va reaktiv quvvatlar; $\sum P_n$ va $\sum Q_n$ – iste'molchilarning aktiv va reaktiv quvvatlari; $\sum \Delta P$ va $\sum \Delta Q$ – umumiy aktiv va reaktiv quvvatlar isrofi.

Butun sistema bo'yicha reaktiv quvvat balansi kuchlanishning ma'lum darajasini aniqlaydi. Tarmoq tugunlaridagi kuchlanish umumiy holda o'rtacha darajadan farq qiladi.

Butun sistema uchun reaktiv quvvat balansi reaktiv quvvat manbalarining quvvatiga quyiladigan talablarni to'la-to'kis aniqlashi mumkin emas. Kerakli reaktiv quvvatni sistema bo'yicha hamda uning alohida hududlaridan olish imkoniyatlarini baholash zarur. Reaktiv quvvat balansining buzulishi tarmoqda kuchlanish miqdorlarining o'zgarishiga olib keladi. Reaktiv quvvat tanqisligida ($\sum P_g < \sum Q_i$) tarmoqda kuchlanish pasayadi. Agar sistemada ishlab chiqarilayotgan reaktiv quvvat iste'mol qilinayotganidan katta bo'lsa ($\sum P_g > \sum Q_i$) tarmoqda kuchlanish oshadi.

Aktiv quvvat tanqis bo'lgan energetika sistemasida kuchlanish miqdori, odatda, nominaldan past bo'lib, yetishmayotgan quvvat qo'shni sistemalardan uzatilishi mumkin.

Odatda, aktiv quvvat tanqis bo'gan energetika sistemalarida, reaktiv quvvat ham tanqis bo'ladi. Lekin, yetishmayotgan reaktiv quvvatni qo'shni energetika sistemasidan olish samarali bo'lmasdan, balki shu sistemada o'rnatilgan kompensatsiyalovchi uskunalarda ishlab chiqarish foydalidir.

6.4. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini optimallashtirish

Barcha iste'molchilarni kerakli aktiv va reaktiv quvvatlar bilan ta'minlashni sistema elementlarida bu quvvatlarning turlicha taqsimlanishida amalga oshirish mumkin. Bunga bog'liq holda quvvat isrofi ko'p yoki kam bo'lishi mumkin. Masalan, shu nuqtayi nazardan, ko'p hollarda iste'molchilarni yaqin stansiyadan yaqin masofa bo'yicha energiya bilan ta'minlash maqsadga muvofiq.

Eng kam quvvat isrofini ta'minlashni, ya'ni tarmoqda aktiv quvvatni optimal taqsimlashni turli usullar bilan amalga oshirish mumkin. Masalan, sistemaning alohida generatorlari o'rtasida aktiv quvvatni mos ravishda taqsimlash, bo'ylama rostdlashni amalga oshiruvchi maxsus liniya rostdlagichlarini qo'llash, tarmoq sxemasini o'zgartirish (alohida elementlarni o'chirish yoki ulash) va boshqa usullarda.

Quvvat isrofini kamaytirish tadbirlari bir vaqtning o'zida boshqa omillarga ham ta'sir ko'rsatadi. Masalan, turbogeneratorlar o'rtasida quvvatni taqsimlash iste'mol qilinayotgan yoqilg'i narxini o'zgarishiga olib keladi, chunki bir xil generatorlar boshqalardan samarali, yoki o'sha generator yuqori yoki kam tejamli holatlarda ishlashi mumkin. Shu singari gidrogeneratorlar quvvatlarining o'zgarishi turli suv omborlarida suv sarfining qayta taqsimlanishiga olib keladi, bu esa turli resurslarning samaradorligini o'zgarishiga sabab bo'lishi mumkin. Liniya rostdlagichlaridan foydalanilganda bu rostdlagichlarga sarf bo'luvchi kapital xarajatlar ham hisobga olinishi lozim.

Demak, sistemada aktiv quvvatni ratsional taqsimlash murakkab kompleks masala bo'lib, turli chegaraviy shartlar va omillar, masalan, quvvat isrofi, generatorlarning samarali ishlashi va boshqalarni hisobga olishi shart.

Rejalashtirilayotgan holatlar uchun aktiv quvvatni optimal taqsimlash EHMda maxsus dasturlar asosida amalga oshiriladi.

Hisoblangan optimal holatlarga asosan alohida stansiyalar uchun ular berayotgan aktiv quvvatnig kunlik grafigi aniqlanadi. Bu grafiklar maxsus avtomatik uskunalar yordamida ushlab turilishi mumkin. Optimal taqsimlash uchun alohida generatorlarning aktiv quvvatini rostdlash umumiy avtomatik boshqarish sistemasi yordamida bir-biri bilan bog'langan bo'lishi zarur.

Reaktiv quvvatni ratsional taqsimlash ham optimallashtirishni talab qiladi. Reaktiv quvvatni uzoq masofalarga uzatish isrofini oshiradi, tarmoqnig o'tkazish qobiliyatini va uskunalarining xizmat vaqtini kamaytiradi, ya'ni butun sistema ishining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi va bir vaqtning o'zida kuchlanishning katta miqdorga og'ishiga sabab bo'ladi. Bu o'z navbatida barqarorlik sharti bo'yicha quvvat uzatish imkoniyatlarini kamaytiradi. Demak, energosistemaning ishonchli ishlash darajasi kamayadi.

(6.1) dan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat manbalarini iste'molchilarga yaqin o'rnatilishi aktiv va reaktiv quvvat isroflarini kamaytiradi, energosistemaning umumiy ish holatini yaxshilaydi.

Aytib o'tilganidek, aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini yaxshilash, quvvat isrofini kamaytirish tarmoqning alohida elementlarini (masalan, transformatorlar va liniyalarni) ulash va o'chirish orqali ham amalga oshirilishi mumkin. Transformatorlarda quvvat isrofi ikkita tashkil etuvchi – yuklamaga bog'liq bo'lgan qisqa tutashuv (misdagi) va yuklamaga bog'liq bo'lmagan salt ishlash (po'latdagi) isroflardan iboratdir.

Ko'p quvvat uzatilayotgan paytda parallel ishlashi mumkin bo'lgan ko'p transformatorlar sonini ulash maqsadga muvofiq. Bunda, misdagi isrofnig kamayishi po'latdagi isrofnig ko'payishidan ortiq bo'ladi. Kam yuklanish soatlarida esa aksincha – parallel ishlab turgan transformatorlarning bir qismini o'chirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Lekin, podstansiyaning holati o'zgarganda transformatorlarni o'chirib-yoqish ma'lum qiyinchiliklar bilan bog'liq, chunki bunda har bir transformatorga yuklama uzgichini o'rnatilishi talab etiladi. Agar uni o'rnatish, quvvat isrofini tejash bilan oqlansa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

Nazorat sovellari

1. Elektr quvvat isroflarining qanday turlari mavjud?
2. Quvvat isroflarini kamaytirish uchun qanday chora-tadbirlar qo'llaniladi?
3. Reaktiv quvvatni kompensatsiyalashning texnik-iqtisodiy samaradorligi nimada?
4. Reaktiv quvvatni kompensatsiyalashning qanday vositalari qo'llaniladi?
5. Sinxron kompensatorlar afzalliklari nimada?
6. Reaktiv quvvat balansini buzilishi qanday oqibatlariga olib keladi?
7. Elektr tarmoqda aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini qanday optimallashtirish mumkin?
8. Kompensatsiyalovchi qurilmalarni elektr tarmoq va tizimlarida joylashtirish qanday amalga oshiriladi?

VII. ELEKTR ENERGIYANING SIFATI

7.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari

Iste'molchilarga uzatiluvchi elektr energiyasining sifati asosan chastota, kuchlanish, kuchlanishning nosimmetriklilik va nosinusoidallik darajasi bilan belgilanadi. Odatda, ushbu ko'rsatkichlarning qiymatlarini me'yorlangan miqdorda tutib turilish talab etiladi.

Ko'rsatilgan sifat ko'rsatkichlarining me'yoriy qiymatlaridan u yoki bu tomonga og'ishi texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarni yomonlashuviga olib keladi va natijada ma'lum zarar yuzaga keladi.

Bu zararning minimumi sifat ko'rsatkichlarining optimal qiymatlariga to'g'ri keladi. Shuning uchun elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari me'yoranadi. Masalan, iste'molchilardagi kuchlanishning nominal qiymatdan og'ishi, Davlat Standartiga ko'ra quyidagi oraliqda bo'lishi lozim, %:

- elektr motorlar tugunlarida ± 5 (ma'lum joylarda ± 10);
- yoritish qurilmalari tugunlarida va sanoat korxonalarining ish o'rinlarida $(+5)-(-2.5)$;
- turar joy binolarida (ichki va tashqi yoritish) ± 5 ;
- avariya holatida -12 ;
- qishloq xo'jalik tarmog'idan yoki elektr transport tarmog'idan ta'minlanadigan elektr uskunalari tugunida ± 7.5 .

Elektr tarmoqda kuchlanishni rostlash qanchalik mukammal bo'lsa, iste'molchilarda kuchlanishning og'ishi shuncha kam bo'ladi. Energosistemaning ta'minlash tarmoqlarida kuchlanishni tutib turishning asosiy vazifasi bo'lib iste'molchilarda, ya'ni taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlarining talab etilgan qiymatlarini ta'minlashdan iborat. O'z navbatida, taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostlash bevosita ta'minlash markazida (TM) YuOR (yuklama ostida rostlash)li transformatorlar

va rostlashning mahalliy vositalari bilan amalga oshiriladi.

Taqsimlovchi tarmoqning ta'minlash markazi bo'lib energosistemaning ta'minlash tarmoqlariga (35-220 kV) ulangan podstansiya hisoblanadi. Transformatorlar, odatda, qo'l bilan yoki avtomatik boshqariladigan rostlash qurilmasiga ega. TM shinasidan ta'minlanuvchi tarmoqlarga 6-20 kVli taqsimlovchi transformatorlar ulanadi. Bu transformatorlarning past kuchlanish chulg'amiga past kuchlanish tarmog'i ulanib, undan aksariyat elektr qurilmalari (iste'molchilari) bevosita ta'minlanadi.

Iste'molchilardagi kuchlanishning nominaldan og'ishi U_{ist} quyidagicha aniqlanadi, %:

$$V_{og'ish} = \frac{U_{ism} - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100.$$

Agar iste'molchi transformator orqali ta'minlansa, U_{ist} yuqori kuchlanish tomoniga keltirilishi lozim.

Katta dvigatellarning ishga tushirilishi, tarmoqlarda qisqa tutashuv va boshqalar natijasida kuchlanishni qisqa vaqt o'zgarishi bilan belgilanuvchi kuchlanish tebranishi V_{teb} ushbu ifoda bilan aniqlash mumkin, %:

$$V_{teb} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{nom}}.$$

Bunda U_{max} va U_{min} – bir tebranish oralig'idagi kuchlanishning maksimal va minimal qiymatlari.

Elektr tarmoqning kuchlanishi doimo yuklama, ta'minlash manbasining ish holatlari, zanjirning qarshiligini o'zgarishi bilan o'zgarib turadi. Kuchlanishning og'ishi har doim ham ruxsat etilgan qiymatlar diapazonida bo'lavermaydi. Buning sababi bo'lib quyidagilar hisoblanadi: a) tarmoq elementlari orqali oqayotgan yuklama toklari hosil qiluvchi kuchlanish isrofi; b) tok o'tkazuvchi elementlarning ko'ndalang kesimlari va kuch transformatorlari

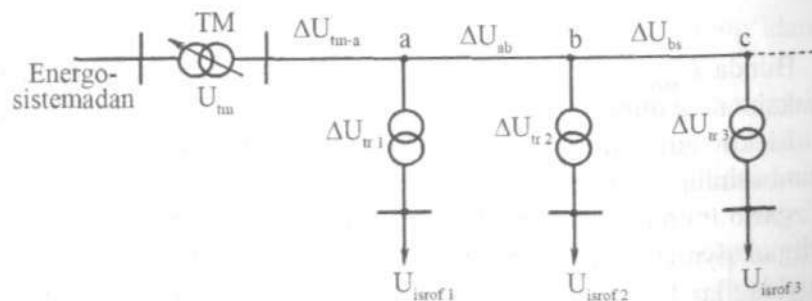
quvvatlarini noto'g'ri tanlanishi; d) tarmoq sxemasining noto'g'ri tuzilishi. Kuchlanish og'ishini nazorat qilish uch yo'l bilan amalga oshiriladi: 1) kuchlanish darajasi bo'yicha kuchlanish og'ishlarini ularning ruxsat etilgan qiymatlari bilan solishtirish asosida;

2) elektr sistemasidagi joyi bo'yicha – elektr tarmoqning ma'lum nuqtalarida, ma'salan, EULning boshlanishi yoki oxirida, ta'minlash markazida; 3) kuchlanish og'ishi mavjud bo'lishining davomiyligi bo'yicha.

Kuchlanishni rostlash deb elektr sistemasining xarakterli nuqtalarida kuchlanish qiymatini maxsus texnik vositalar yordamida me'yoriy miqdorlarga moslash maqsadida o'zgartirish jarayoniga aytiladi. Kuchlanishni rostlash usullari bilan tanishishdan avval iste'molchilardagi kuchlanishning qanday omillarga bog'liqligi bilan sxemasi 7.1-rasmda keltirilgan tarmoq misolida tanishamiz.

Iste'molchilardagi kuchlanishlarning transformatorlarni yuqori tomonlariga keltirilgan qiymatlari ta'minlash markazidagi kuchlanishdan mos uchastkalardagi kuchlanish isroflarini ayirish orqali aniqlanadi:

$$\begin{aligned} U'_{ism} &= U_{tm} - (\Delta U_{tm} + \Delta U_{tr1}); \\ U'_{ism2} &= U_{tm} - (\Delta U_{tm} + \Delta U_{ab} + \Delta U_{tr2}); \\ U'_{ism3} &= U_{tm} - (\Delta U_{tm-a} + \Delta U_{ab} + \Delta U_{bs} + \Delta U_{tr3}), \end{aligned} \quad (7.1)$$



7.1-rasm. Kuchlanishni rostlash usullari.

Bu formulalardan iste'molchidagi kuchlanish ta'minlash markazi kuchlanishi, tarmoqda kuchlanish isrofi va transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientlariga bog'liq ekanligi aniqlanadi.

Shunday qilib, kuchlanishni rostlashning vazifasi past kuchlanish tarmoqlarida ruxsat etilgan kuchlanish og'ishini ta'minlashdan iborat bo'lib, uning quyidagi usullari mavjud:

- 1) TMda kuchlanishni o'zgartirish orqali;
- 2) Transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientlarini o'zgartirish orqali.

3) Taqsimlovchi tarmoqlarda kompensatsiyalovchi uskunalardan foydalanib, kuchlanish isrofini o'zgartirish orqali.

Kuchlanishni rostlash usullarini ta'minlash markazida (TM) amalga oshiriladigan *markazlashgan* va bevosita is'temolchilarda amalga oshiridigan *mahalliy* usullarga bo'lish mumkin.

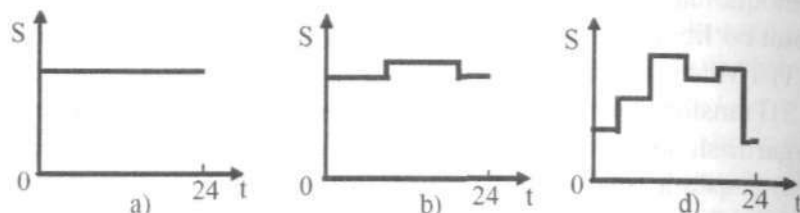
Kuchlanishni mahalliy rostlashni guruhli va individual usullarga bo'lish mumkin. Guruhli rostlash is'temolchilar guruhi uchun, individual rostlash asosan maxsus maqsadlarda amalga oshiriladi.

Yuqorida ko'rsatilgan kuchlanishni rostlash tiplarini yuklamani o'zgarishi xarakteriga bog'liq ravishda bir nechta nimtiplarga ajratish mumkin. Masalan, kuchlanishni markazlashgan rostlashda uchta nimtipni ajratish mumkin. Bular, kuchlanishni stabillash; kuchlanishni ikkinchi darajali rostlash va kuchlanishni qarama-qarshi rostlashdir.

Kuchlanishni *stabillash* amalda yuklamasi o'zgarmaydigan is'temolchilar uchun, masalan, kuchlanish darajasi bir xilda tutib turilishi lozim bo'lgan uch smenali korxonalar uchun qo'llaniladi. Bunday iste'molchilarning sutkalik yuklama grafigi 7.2-a rasmda keltirilgan.

Ayon ifodalangan ikki darajali yuklama grafigiga ega bo'lgan iste'molchilar, masalan, bir smenali korxonalar, uchun *ikki darajali rostlash* qo'llaniladi (7.2-b rasm). Bunda sutka davomida yuklama grafigiga mos ravishda kuchlanishning ikki darajasi tutib turiladi. Yuklama sutka davomida o'zgaruvchan bo'lgan hollarda *qarama-qarshi rostlash* amalga oshiriladi (7.2-d rasm). Yuklamaning har

bir qiymati mos kuchlanish va kuchlanish isrofi qiymatlariga ega bo'ladi. Shu sababli yuklama o'zgarishi bilan kuchlanish ham o'zgaradi. Bunda kuchlanishning og'ishi ruxsat etilganidan ortib ketmasligi uchun uni yuklamaga bog'liq ravishda rostlash lozim.



7.2-rasm. **Yuklama grafiklari:** a – o'zgarmas; b – ikki pog'onali; d – ko'p pog'onali.

Yuklama nafaqat sutka davomida, balki yil davomida ham o'zgaradi. Masalan, yil davomida eng katta yuklama kuzgi-qishki mavsum davrida, eng kichik yuklama esa yozgi davrda bo'ladi. Qarama-qarshi rostlash kuchlanishni nafaqat yuklamaning sutka davomida o'zgarishi bo'yicha, balki mavsum davomida ham o'zgarishi bo'yicha rostlashdan iboratdir.

U elektr stansiyalari va nimstansiyalari shinalaridagi kuchlanish darajasini eng katta yuklama davrida oshirilgan holatda, eng kichik yuklama davrida esa kamaytirilgan holatda tutib turishni nazarda tutadi.

7.2. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash

Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash bilan to'laroq tanishish uchun transformatorning ikkita element – transformator qarshiligi va ideal transformator ko'rinishida tasvirlangan almashtirish sxemasidan foydalanamiz. 7.3-rasmda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: U_1 – ta'minlash markazi shinasidagi kuchlanish; U_{2yn} – tuman podstantsiyasining birlamchi (YuK) shinasidagi kuchlanish;

U_{2q} – tuman podstantsiyasi ikkilamchi kuchlanish shinasini (PK) dagi kuchlanish; U_3 – iste'molchilardagi kuchlanish.

Tuman podstantsiyasi YuK shinasidagi kuchlanish:

$$U_{2yn} = U_1 - \Delta U_{12}.$$

YuK va PK shinalaridagi kuchlanishlar transformatoridagi kuchlanish isrofi ΔU_1 ga farq qiladi va bundan tashqari ideal transformatorida kuchlanish transformatsiyalash koeffitsientiga mos ravishda pasaytiriladi. Bu pasaytirilish transformatorning rostlovchi shaxobchasini tanlashda hisobga olinishi lozim.

7.3-b rasmda ikkita holat – eng kichik va eng katta yuklama holatlari uchun kuchlanishning o'zgarish grafiklari tasvirlangan. Bunda ordinata o'qi bo'yicha kuchlanish og'ishining nominal kuchlanishga nisbatan foizlardagi qiymatlari joylashtirilgan.

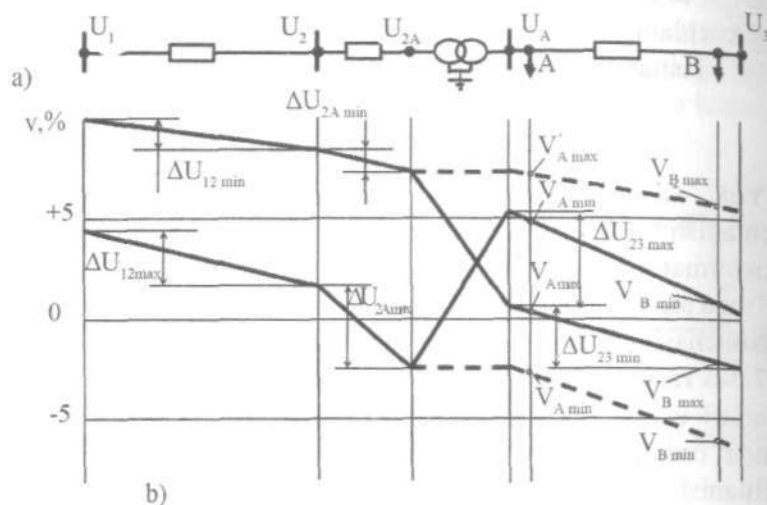
7.3-b rasmdan ko'rinadiki (shtrix chiziqlar), $n_r = 1$ bo'lganda eng kichik yuklamalar holatida iste'molchilardagi kuchlanishlar ruxsat etilganidan yuqori, eng katta yuklamalar holatida esa ruxsat etilganidan past (ya'ni, kuchlanish og'ishlari ruxsat etilganidan katta).

Bunda PK tarmog'iga ulangan qabul qilgichlar (masalan, A va B nuqtalarda) ruxsat etilmagan sharoitlarda ishlaydi. U_{2q} ni tuman podstantsiyasi transformatorining transformatsiyalash koeffitsienti K_{tr} ni almashtirish orqali o'zgartiramiz, ya'ni kuchlanishni rostlaymiz (7.3-b rasmdagi uzluksiz chiziq).

Eng kichik yuklama sharoitlarida U_{2q} imkoni boricha U_n ga yaqin qiymatgacha kamaytiriladi. Bu holatda K_{tr} ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda quyidagi shart bajarilsin:

$$U_{2q \text{ kichik}} \geq U_n. \quad (7.1)$$

Eng kichik yuklamalar holatida U_{2q} ni 1,05–1,1 U_n ga imkoni boricha yaqinroq qiymatgacha o'rtiriladi. Bu holatda K_{tr} ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda quyidagi shart bajarilsin:



7.3-rasm. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash: a-almashtirish sxemasi; b-kuchlanishlar epyurasi.

$$U_{2q, ekat} \geq (1,05, 1,1) U_n \quad (7.2)$$

Shunday qilib, ta'minlash markazidan uzoqdagi B va unga yaqindagi A nuqtalardagi iste'molchilardagi kuchlanishlar ruxsat etilgan chegraga kiritiladi. Eng katta va eng kichik yuklama holatidagi bunday rostlashda kuchlanish mos ravishda oshiriladi va pasaytiriladi. Shu sababli bunday rostlash qarama-qarshi rostlash deb ataladi.

7.3. Elektr stansiyalarida kuchlanishni rostlash

Generatorlar kuchlanishlarini ularning qo'zg'atish tokini rostlash orqali o'zgartirish mumkin. Generator aktiv quvvatini o'zgartirmasdan turib kuchlanishni faqat $\pm 0,05 U_{nG}$ chegarada, ya'ni $0,95 U_{nG}$ dan $1,05 U_{nG}$ gacha o'zgartirish mumkin.

$U_{nG} = 6$ kV bo'lganda generatorning nominal kuchlanishi

$U_{nG} = 6,3$ kV va rostlash diapazoni 6-6,6 kV bo'ladi. $U_{nG} = 10$ kV bo'lganda esa, generatorning nominal kuchlanishi $U_{nG} = 10,5$ kV va rostlash diapazoni 10-11 kV bo'ladi.

Generator chiqishidagi kuchlanishning nominaldan $\pm 5\%$ dan ko'p miqdorga og'ishi uning quvvatini kamaytirishni talab etadi. Kuchlanishni rostlashning bu diapazoni mutlaqo yetarli emas. Buni aniqroq ko'rib chiqamiz.

Transformatsiyalashning har bir pog'onasida kuchlanish isrofi nisbiy birlikda $\Delta U_{st} \approx 0,1 S_{st}$.

Bunda $S_{st} = S/S_n$ - transformatorning nisbiy birlikdagi quvvati.

Uch-to'rt transformatsiyada tarmoqdagi kuchlanish isrofi $(0,3-0,4) S_{st}$ bo'ladi. Agar $P_{ekst} = 1$ va $P_{ekich} = 0,4$ deb qabul qilsak, unda eng katta va eng kichik yuklama holatlarida kuchlanish mos ravishda quyidagilarni tashkil etadi:

$\Sigma \Delta U_{ekst} \% \approx 30, 40\%$, $\Sigma \Delta U_{ekich} \% \approx 12 \div 16\%$. Bundan ko'rinadiki, iste'molchida kuchlanishning o'zgarish diapazoni

$$\Sigma \Delta U_{ekst} \% - \Sigma \Delta U_{ekich} \% \approx 18, 24\%.$$

Shu sababli generatorda kuchlanishni rostlash diapazoni 10% aniq yetarli emas.

Elektr stansiyalarining generatorlari ikkita sababga ko'ra rostlashning faqat yordamchi vositasigina hisoblanadi:

1) generatorlar yordamida kuchlanishni rostlash diapazoni yetarli emas.

2) uzoq va yaqin masofada joylashgan iste'molchilarga kuchlanish qymatiga bo'lgan talabni mostlashtirish qiyin.

Yagona rostlash vositasi sifatida generatorlar faqat stansiya - tarqalmagan yuklama ko'rinishidagi soddha sistema holatida qo'llaniladi. Bunday holatda sanoat korxonalari izolatsiyalangan sharoitda ishlovchi elektr stansiyalarining shinalarida kuchlanishni qarama-qarshi rostlash amalga oshiriladi. Generatorlar qo'zg'atish tokini o'zgartirish orqali maksimal yuklama soatlarida kuchlanish oshiriladi va minimal yuklama soatlarida pasaytiriladi.

Elektr stansiyalarida YuK chulg'ami nominal kuchlanishi

$U_{ym} = 110$ kV bo'lgan TDTs/110 va YuK chulg'ami nominal kuchlanishi $U_{ym} = 220$ kV bo'lgan bir qism TDTs/220 oshiruvchi transformatorlar, generatorlar singari kuchlanishni rostlashning yordamchi vositalari sanaladi. Chunki ular ham $\pm 2 \times 2,5\% U_{ym}$ kuchlanishni rostlash chegarasiga ega va ular yordamida uzoq va yaqinda joylashgan iste'molchilarda kuchlanish qiymatiga bo'lgan talabni moslashtirish mumkin emas. $U_{ym} = 150, 330 - 750$ kV bo'lgan TS va TDS tipdagi oshiruvchi transformatorlar kuchlanishni rostlash qurilmalarisiz ishlab chiqariladi. Shu sababli kuchlanishni rostlashning asosiy vositasi bo'lib, tuman podstantsiyalarining transformator va avtotransformatorlari hisoblanadi.

7.4. Pasaytiruvchi podstantsiyalarda kuchlanishni rostlash

Pasaytiruvchi podstantsiyalar transformatorlari kuchlanishni rostlovchi qurilmalarining tuzilishi bo'yicha ikki turga bo'linadi:

a) rostlovchi shoxobchalarni qo'zg'atishsiz almashlab ulovchi, ya'ni tarmoqdan uzish orqali (qisqacha, "QAULi transformatorlar");

b) rostlovchi shoxobchalarni yuklama ostida rostlovchi (qisqacha, "YuORli transformatorlar"). Odatda, rostlovchi shoxobchalar transformatorning kichik ishchi tok oquvchi yuqori chulg'ami tomonida yasaladi. Bunda almashlab ulash qurilmasining ishi yengillashadi.

7.3-a rasmda tasvirlangan sodda sxemani ko'rib o'tamiz.

Bunda podstantsiyaning YuK shinasidagi kuchlanish elektr stansiyasi generatorlari kuchlanishi U_1 dan EUL dagi kuchlanish isrofi qiymati ΔU_s ga, podstantsiyaning PK shinasidagi YuKga keltirilgan kuchlanish U_{2k}^{yu} esa yana transformator qarshiligidagi kuchlanish isrofi ΔU_t ga farq qiladi:

$$U_{2yu} = U_1 - \Delta U_s, \quad U_{2k}^{yu} = U_{2yu} - \Delta U_t.$$

Podstantsiyalar PK shinalaridagi kuchlanishning haqiqiy qiymati quyidagicha topiladi:

$$U_{2k} = \frac{U_{2k}^{yu}}{\bar{E}_{tr}} = U_{2k}^{yu} \frac{U_{pn}}{U_{shox}}, \quad (7.3)$$

Bunda $K_{tr} = U_{shox}/U_{pn}$ - transformatorning transformatsiyalash koeffitsienti; U_{shox} - YuK chulg'ami rostlash shoxobchasining kuchlanishi; U_{pn} - PK chulg'aminin nominal kuchlanishi.

Transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirib, podstantsiyaning PK tomonidagi kuchlanish U_{2k} ni o'zgartirish mumkin. Podstantsiyalarda barcha kuchlanishni rostlash vositalari aynan shu prinsipda ishlaydi.

Qarama-qarshi rostlash shartlari (7.1) va (7.2) bo'yicha

$$V_{ekat}^{xoh} \% = 5\%; \quad V_{ekich}^{xoh} \% = 0 \text{ bo'lib,}$$

bunda $V_{ekat}^{xoh} \%$ - eng katta yuklama holatida xohlangan kuchlanish og'ishining nominal kuchlanishga nisbatan foizi; $V_{ekich}^{xoh} \%$ - shu singari eng kichik yuklama holati uchun.

Bularga mos ravishda

$$U_{2k,ekat}^{xoh} = U_n + V_{ekat}^{xoh}; \quad U_{2k,ekich}^{xoh} = U_n + V_{ekich}^{xoh}.$$

PK tomonidagi kuchlanishning haqiqiy qiymati (7.3) ifodadan topiladi.

Tarmoqni elektrik hisoblash natijasida eng katta yuklama holatida PK tomonidagi kuchlanishning YuK tomoniga keltirilgan qiymati $U_{2k,ekat}^{xoh}$ va eng kichik yuklama holatida PK tomonidagi kuchlanishning YuK tomoniga keltirilgan qiymati $U_{2k,ekich}^{xoh}$ topiladi.

$U_{2k,ekat}^{xoh}$ va $U_{2k,ekich}^{xoh}$ lar bo'yicha eng katta va eng kichik yuklama holatlari uchun transformator yuqori chulg'amida xohlanuvchi rostlash shoxobchasi aniqlanadi:

$$U_{shox.ekat} = U_{2k.ekat}^{yu} \cdot \frac{U_{pn}}{U_{2k.xoh}}; \quad U_{shox.ekich} = U_{2k.ekich}^{yu} \cdot \frac{U_{pn}}{U_{2k.xoh}}. \quad (7.4)$$

(7.4) bo'yicha aniqlanuvchi xohlanuvchi shoxobchalar (7.1) va (7.2) shartlarini bajariluvchi eng yaqin standart qiymatlarga yaxlitlanadi.

Nazorat savollar

1. Elektr energiya sifat ko'rsatkichlari nimalardan iborat?
2. Elektr energiya sifatini ta'minlash usullari qanday?
3. Kuchlanishni qarama - qarshi rostdash nima?
4. Kuchlanish rostdashning asosiy usullari va vositalari nimalardan iborat?
5. Transformator (avtotransformator)lar transformatsiya koeffitsienti qanday aniqlanadi?
6. Liniya va transformatorlardagi kuchlanish isroflarini kamaytirish usullari nimaga asoslangan?
7. Aktiv qarshilik va induktiv qarshilikni kamaytirish qachon va qanday amalga oshiriladi?
8. Tarmoq yuklamasini kamaytirish nima uchun amalga oshiriladi?
9. Kuchlanish tebranishlari va nosimetrikligini kamaytirish vositalari va usullari nimalardan iborat?
10. Simmetriklovchi kondensatorlar batareyalarining ulanish sxemalarini va ishlashini

VIII. ELEKTR TARMOQLARINI LOYIHALASH ELEMENTLARI

8.1. Texnik-iqtisodiy hisoblash asoslari

Xalq xo'jaligini rivojlantirishning muhim shartlaridan biri – bu sanoatning barcha tarmoqlarida, shuningdek, elektr energetikada yonilg'i – energiya zaxiralarini asosli ravishda iqtisod qilish va tejashdir. O'zbekiston Respublikasida asosiy e'tibor, yonilg'i – energetika sistemasini takomillashtirish bo'yicha ishlarni olib borishga, energiya tejamkorligi siyosatiga, neft, gaz, ko'mir bilan bir qatorda gidravlik energiyadan, yangilanuvchi va ikkilamchi energiya zaxiralaridan foydalanishga qaratilmoqda. Shuning uchun elektr muhandislaridan energetika sistemasining hamma bosqichlarida energiyani oqilona va iqtisodiy ravishda sarflash talab qilinadi. Loyihalash jarayonida iqtisodiy samaradorlik asoslari harpo bo'lganligi uchun bu bosqichning o'zida chuqur iqtisodiy tahlil qilmoq va texnikaviy qarorlarni asoslab bermoq kerak. Bunda eng zarur texnik-iqtisodiy masalalar quyidagidan iborat bo'ladi:

- elektr energiya manbalari va iste'molchilarining joylashishini hisobga olgan holda tarmoqning asoslangan maqsadga muvofiq shaklini qabul qilish;
- liniyalarning nominal kuchlanishini, o'tkazgichlar va kabellarning kesim yuzasini tanlash;
- EUL va PS ni maqsadga muvofiq bo'lgan tuzilishini ishlab chiqish.

Zamonaviy energetika sistemalarini murakkab, katta kenglikda va vaqt jarayonida rivojlanayotgan holda tasavvur qilsa bo'ladi. Ularni loyihalash jarayonida ko'p xillilik, ko'p o'lchovlilik, egri chiziqli bog'lanishlar, o'zgarishga moyillik, uzliklilik va bir qator parametrlarni cheklanganligi bilan bog'langan texnikaviy va iqtisodiy qiyinchiliklar yuzaga keladi. Bu masalani hal qilishda

maqsadga muvofiq variantni qabul qilishda omillarini kompleks holda e'tiborga olishni, sistemaning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olib, to'liq va har tomonlama tekshirishni, katta miqyosda mantiqiy va hisoblash ishlarini talab qiladi.

Texnik-iqtisodiy hisoblardan maqsad quyidagilardan iborat bo'ladi;

- energetika sistemalarini loyihalashga, qurishga, tiklashga, kengaytirishga va ishlatishga sarflangan kapital mablag'ning xalq xo'jaligini rivojlantirish talablariga binoan samaradorligini baholash;

- iqtisodiy ko'rsatkichlarni va sistemaning iqtisodiy samaradorligiga jiddiy ta'sir ko'rsatadigan parametrlarning boshqarish usullarini to'g'ri tanlash. Bunga sistemaning ayrim qismlaridagi energiya isrofini kamaytirish, elektr energiya bilan ta'minlashning ishonchliligini va sifatini ko'tarish, kompensatsiyalovchi va rostlovchi qurilmalarni qo'llash, elektr uskunalarning quvvat koeffitsientlarini oshirish va boshqalar kiradi.

- elektr energetika sistemalarining keyingi rivojlanishini (navbatdagi iste'molchilarni paydo bo'lishi, yuklamalarni o'sish sur'ati, sistemaning navbatma-navbat qurilish mumkinligi va boshqalar) hisobga olib loyihalash.

Energetik sistema, tarmoq yoki uning ayrim qismlari loyihalanayotganda ushbu aytib o'tilgan mulohazalarga rioya qilib, texnik-iqtisodiy nuqtayi nazardan bir necha variant taqqoslanadi. Bunday taqqoslash maxsus texnik-iqtisodiy hisoblash usullari (metodlari) asosida bajariladi va eng kam xarajatli variant qabul qilinadi.

Ko'p yillar davomida qo'llanib kelinayotgan «keltirilgan xarajatlar» usuli hozirgi paytda respublikamiz bozor iqtisodiyotiga o'tayotgan jarayonda har doim ham o'zini oqlamaydi.

Hozirgi kunda «kumulyativ xarajatlar» usulidan foydalanishga ko'proq e'tibor berilmoqda (kumulyativ so'zi «jamg'arish, to'plash, yig'ish» ma'nosini beradi). Albatta bir necha variantni

taqqoslanayotganimizda uskunani qurilishiga ajratilgan kapital mablag' (investitsiya), joriy inflyatsiya va uskunani ishlatishdagi barcha chiqimlarni (odatda, bir necha yil davomidagi) hisobga olishimiz kerak. Kumulyativ xarajatlar usuli shularni hammasini hisobga oladi va uning asosida variantlarni taqqoslash quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi:

$$Z_k = (1 + E_k) \cdot K_{\Sigma} + C_{\Sigma} \quad (8.1)$$

Bunda Z_k – har bir variantga to'g'ri keladigan kumulyativ xarajat; K_{Σ} – uskuna qismlariga ajratilgan kapital mablag'lar yig'indisi; E_k – kapital mablag'ga bank orqali qo'yilgan foizning darajasi bo'lib, u inflyatsiyani hisobga olgan holda o'zgarib turadi; C_{Σ} – bir yil davomida uskunani ishlatish xarajatlari.

C_{Σ} quyidagi tashkil etuvchilardan iborat:

$$C_{\Sigma} = C_{\Sigma ren} + C_{\Sigma tx} + C_{\Sigma dE} \quad (8.2)$$

(8.2) dagi tarkibiy qismlarni ko'rib chiqamiz. Bunda $S_{\Sigma ren}$ – bir variantga tegishli barcha uskunalarining «renovatsiya»siga (yangilashga) sarf bo'luvchi xarajatlar yig'indisi. Uning ma'nosi quyidagidan iborat. Har bir inshoot, uskuna (elektr tarmoqlari uchun transformatorlar, liniyalar va boshqalar) qandaydir n yil davomida ishga loyiq bo'lishi mumkin.

Ularni ishlatib, ishga yaroqsiz holga kelganidan so'ng almashtirish kerak. Buning mos mablag' kapital mablag'dan har yili yangilashga (to'liq yoki qisman almashtirish uchun) asosiy fond sifatida ajratib borish orqali to'planadi.

Demak, renovatsiyani asosiy mablag' (fond) narxini shu fondni keyinchalik qisman yoki to'liq yangilash maqsadida asta-sekin ishlab chiqarilayotgan mahsulotning qiymatiga o'tkazish deb tushunsa bo'ladi. Renovatsiya xarajati har bir uskuna uchun alohida berilgan maxsus koeffitsientlar r_{ren} yordamida topiladi.

(8.2) formuladagi $C_{\Sigma tx}$ uskunalarini davriy ta'mirlash va ularga tegishli xizmatlar uchun bo'lgan bir yillik xarajatlar yig'indisidir.

$S_{\Sigma \Delta E}$ bir yil davomida tarmoqdagi elektr energiya isrofini qoplash uchun sarf bo'luvchi umumiy xarajatdir. Bu xarajatlar yillik elektr energiya isrofi birlik elektr energiya narxiga ko'paytirish orqali topiladi.

Shunday qilib, texnik jihatdan bir hil bo'lgan bir nechta variant taqqoslanayotganda ularning har biri uchun (8.1) asosida kumulyativ xarajatlar hisoblanadi va so'ngra bu xarajatlar eng kam bo'lgan variant optimal variant sifatida qabul qilinadi.

8.2. Asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar

Muhim texnik iqtisodiy ko'rsatkich – kapital xarajatlar (investitsiya), ya'ni tarmoqlarni, stansiyalarni, energetika obyektlarini qurish xarajatlardir.

Elektr tarmoqlari uchun investitsiya uning liniya va podstansiyalar uchun qiymatlari yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$I = I_L + I_{PS} \quad (8.3)$$

Bunda I_L – liniyani qurish uchun investitsiya, so'm; $I_{PS} = C_{\Sigma \Delta E}$ podstantsiyani qurish uchun investitsiya, so'm.

Liniyani qurish uchun investitsiya qidiruv ishlari va trassani tayyorlash, tayanchlar, o'tkazgichlar, izolatorlar va boshqa uskunalarni sotib olish, ularni tashish, yig'ish va boshqa ishlar uchun sarflanuvchi xarajatlardan iborat.

Podstansiya qurilishi uchun investitsiya hududni tayyorlash, transformator, o'chirgich va boshqa uskunalarni sotib olish, moylash va boshqa ishlar uchun xarajatlar yig'indisidan iborat. Investitsiya tarmoq elementlari narxining yaxlitlangan ko'rsatkichlari yoki maxsus tuzilgan smeta asosida aniqlanadi.

Ikkinchi muhim texnik iqtisodiy ko'rsatkich – ishlatish xarajatlardir. Ular energetika uskunalari va tarmoqlarini bir yil davomida ishlatish uchun sarf bo'luvchi xarajatlardan iborat bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$C = C_l + C_{pc} + C_{\Delta e} = \frac{P_{al} + P_{il} + P_{xl}}{100} \cdot I_l + \frac{P_{apc} + P_{ipc} + P_{xpc}}{100} \cdot I_{pc} + C_{\Delta e} \quad (8.4)$$

Bunda C_l , C_{ps} – liniya va podstansiya uchun ishlatish xarajatlari, ming so'm/yil; $C_{\Delta e}$ – yillik elektr energiya isrofini qoplash xarajatlari, ming so'm/yil; r_{al}, r_{il}, r_{xl} – bir yil davomida liniya uchun amortizatsiya, joriy ta'mir va xizmat ko'rsatish chegirmalari, %; $r_{aps}, r_{ips}, r_{xps}$ – bir yil davomida podstansiya uchun amortizatsiya, joriy ta'mir va xizmat ko'rsatish chegirmalari, %. Bu koeffitsientlarning qiymatlari ma'lumotnomada keltiriladi. Agar liniya va podstansiya uchun amortizatsiya, joriy ta'mir va xizmat ko'rsatish xarajatlari birlashtirilsa, unda butun tarmoq uchun ishlatish xarajatlari ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$C = C_a + C_l + C_x + C_{\Delta e} \quad (8.5)$$

Amortizatsiya chegirmasi kapital ta'mirlash va yeyilib, ishdan chiqqan va ma'naviy eskirgan uskunalarni almashtirish uchun kerak bo'ladigan xarajatlarni o'z ichiga oladi. Uskunaning xizmat vaqti qancha kam bo'lsa, amortizatsiya chegirmasi shuncha katta bo'ladi.

Joriy ta'mirlash uchun chegirma uskunalari normal ish holatida saqlab turish uchun sarf bo'luvchi xarajatlardan iborat. Joriy ta'mirlashda izolatorlarni almashtirish, tayanchlar va podstansiya uskunalarning sirtlarini bo'yash, kichik shikastlanishlarni tuzatish kabi ishlar amalga oshiriladi.

Shikastlanishning oldini olish uchun tarmoqning barcha elementlari vaqti-vaqti bilan tekshirilib turiladi va profilaktik sinovdan o'tkaziladi.

Bu tadbirlarni amalga oshirish xarajatlari joriy ta'mirlash chegirmalari mablag'lari hisobidan qoplanadi. Xizmat ko'rsatish

chegirmalari ishchi xodimlarning maoshi, transport va aloqa vositalari xizmatlari, xodimlarni uy-joy va zaruriy sharoitlar bilan ta'minlash kabi faoliyatlarga sarf bo'luvchi xarajatlarni o'z ichiga oladi.

Amortizatsiya va joriy ta'mirlash xarajatlarini quyidagicha birlashtirish mumkin:

$$C_a + C_j = p_e K, \quad (8.6)$$

Bunda p_e – amortizatsiya va joriy ta'mirlash uchun yillik chegirma, 1/yil.

Isrof bo'lgan elektr energiyasi narxi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

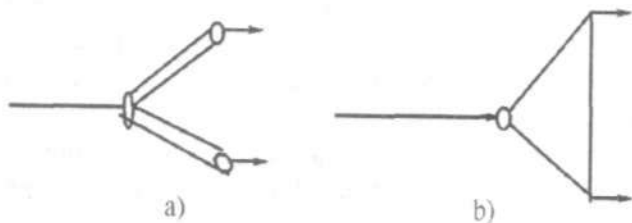
$$C_{\Delta e} = \beta \cdot \Delta E, \quad (8.7)$$

Bunda ΔE – yillik elektr energiya isrofi, kW .soat; β – 1 kW.soat isrof bo'lgan elektr energiyaning narxi, so'm/kW.soat.

Asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga, shuningdek, uzatiluvchi elektr energiyaning tan narxi ham kiradi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$G = C / E, \quad (8.8)$$

Bunda C – tarmoqni ishlatish xarajatlari, so'm/yil; E – iste'molchilar bir yil davomida tarmoqdan olgan elektr energiya, kW.soat



8.1-rasm. Tarmoq sxemasining variantlari: a–radial; b–berok.

8.3. Elektr tarmoq variantlarini solishtirish

Texnik-iqtisodiy solishtirishda faqat texnik talablarga javob beradigan, ya'ni iste'molchilarini talab etilgan sifatdagi elektr energiya bilan bir xil ishonchlilikda ta'minlovchi variantlar solishtiriladi.

Texnik-iqtisodiy solishtirishning birinchi bosqichida ruxsat etilgan texnik talablar bo'yicha variantlar ishlab chiqiladi, ikkinchi bosqichida esa- texnik-iqtisodiy (TI) ko'rsatkichlar bo'yicha ular orasidan optimal variant tanlanadi.

Masalan, 8.1- rasmda ko'rsatilgan tarmoq variantlarini solishtirish talab etilsin.

Solishtirishning eng oson yo'li – bu K va C larni aniqlash va ularni solishtirishdir. Agar $K_1 > K_2$ va $C_1 > C_2$ bo'lsa, unda ikkinchi variant (b) tanlanadi. Agar $K_1 > K_2$ va $C_1 < C_2$ bo'lsa, unda bu usulni qo'llab bo'lmaydi.

Eng qulay variantni tanlashning universal iqtisodiy mezon sifatida kumulyativ xarajatlari ishlatiladi:

$$Z_k = (1 + E_k)K + C. \quad (8.9)$$

Bunda K – jami kapital xarajatlari (investitsiya), so'm; E_k – kapital xarajatlari uchun foiz, %; C – yillik ishlatish xarajatlari, so'm/yil.

Tarmoq rivojlanishining barcha solishtirilayotgan variantlarida berilgan iste'mol holatida (yuklamalar quvvatida) iste'molchilar bir xil sifatli elektr energiya bilan ta'minlanishi kerak. Tarmoqning har bir varianti kerakli ishonchlilikni ta'minlashi lozim. Elektr ta'minoti ishonchliligiga talablar elektr iste'molchilarining toifalariga bog'liq holda elektr usunalarining tuzilish qoidalari (EUTQ-PUE) da ko'rsatilgan.

EUTQga asosan barcha elektr iste'molchilari zaruriy ishonchlilik darajasi bo'yicha uch toifaga (I, II, III) bo'lingan.

Energetika sistemasi tarmoqlarining ishonchliligiga qo'yiluvchi

talablar normativ hujjatlarda aniq belgilangan. Bu hujjatlarda zaxiralash, zanjirlar soni, podstansiyada transformatorlar soni, ulanish sxemalari va boshqalar bo'yicha talablar keltirilgan.

I toifa iste'molchilari uchun elektr ta'minotidagi uzilish oqibatidagi zararni iqtisodiy ekvivalent tarzida ifodalash mumkin emas. I va II toifa iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq sxemalarining ishonchliligini baholash mezonlari sifatida ishonchlikning quyidagi texnik ko'rsatkichlari qabul qilinadi:

- uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilishlar soni);
- bir yilda uzluksiz ishlash ehtimoli, %;
- elektr ta'minoti tiklanishining o'rtacha vaqti T_T yil uzilish.

Xarajatlar bo'yicha shunday I toifa iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini solishtirish mumkinki, bunda ular uchun ishonchlikning texnik ko'rsatkichlari tegishli normativ hujjatlarda aniq belgilangan talablarni qoniqtiradi.

II toifa iste'molchilarining elektr ta'minotidan uzilish oqibatlarini iqtisodiy ekvivalent tarzida ifodalash mumkin. Bu ko'rsatkich elektr ta'minotining buzilishi natijasida kutilayotgan o'rtacha yillik xalq xo'jalik ziyoni (zarari)dir, ming so'm/yil.

Elektr energiyaning uzatilmay qilinishi natijasi ko'riluvchi iqtisodiy zarar U xarajattarkibiga kiritiladi va II toifa iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoq variantlarini tanlashda hisobga olinadi. Agar tarmoq variantlari ishonchlik bo'yicha bir biridan unchalik farq qilsa, bunda, elektr ta'minotining buzilishi natijasidagi zararni o'z ichiga olgan xarajatlar eng kam bo'lgan variant qabul qilinadi. Shunday qilib, ishonchlik elektr ta'minotining buzilishi natijasida ko'riluvchi zarar orqali hisobga olinganda variantlar uchun kumulyativ xarajatlar quyidagicha aniqlanadi:

$$Z_1 = C_1 + (1 + E_1)K_1 + U_1$$

$$Z_2 = C_2 + (1 + E_2)K_2 + U_2. \quad (8.10)$$

Zarar quyidagicha aniqlanadi:

$$U = \omega T_T P_{maks} E_N U_{ov}. \quad (8.11)$$

Bunda ω —uzilish oqimi parametri (bir yilda o'rtacha uzilishlar soni); T_T —o'rtacha qayta tiklanish vaqti, yil/uzilish; P_{maks} —normal holatdagi maksimal yuklama, kW; E_N —iste'molchi yuklamasining cheklash koeffitsienti; U_{ov} —elektr ta'minotining majburiy uzilishi oqibatidagi hisobiy solishtirma yillik zarar, ming so'm/kW.yil.

Elektr tarmoqlari elementlari uchun ω va T_T ko'rsatkichlar ma'lumotnomadan olinadi. E_N koeffitsienti shu holatdagi uzilishda o'chirilishi zarur bo'lgan yuklamani normal holatdagi maksimal yuklamaga nisbatiga teng. Elektr ta'minoti batamom uzilsa $E_N=1$ ga teng. To'la zaxiralangan tarmoqda $E_N=0$. $P_N E_N$ kattaligi uzilishda o'chiriladigan yuklama quvvatiga teng.

Zararning solishtirma ko'rsatkichlari egri chiziqli tipik bog'lanishlar bo'yicha yuklama tarkibiga va E_N ga bog'liq holda aniqlanadi.

Yuqorida ko'rsatilgan zararning ifodasi elektr tarmog'ining bitta elementi avariya tufayli uzilib qolgan holat uchun o'rinaldir. Amalda elektr tarmog'ida avariya natijasida bir nechta elementlar — liniyalar, transformatorlar, o'chirgichlar, shinalar va boshqalar uzilishi mumkin. Shuning uchun, bu holatdagi o'rganilayotgan tarmoq uchastkasining tarkibiy almashtirish sxemasi tuziladi.

Ketma-ket ulangan elementlardan tashkil topgan tarmoqning tarkibiy sxemasi shoxobchasi uchun uzilish natijasidagi zararning matematik ko'tilishi U quyidagicha aniqlanadi:

$$U = K_{ib} P_{maks} E_n U. \quad (8.12)$$

Bunda K_{ib} —uzilish natijasida majburiy to'xtab turish koeffitsienti, nisb.birl. Tarmoqning bitta elementi uchun

$$K_{ib} = \omega T_T. \quad (8.13)$$

Elektr tarmoqlarini loyihalash vaqtida ishonchlikni hisobga olish uchun tarmoq elementlarini avariya o'chirilishidan tashqari

ulanish va reja asosida o'chirilishini ham (rejali ta'mirlash paytida) hisobga olish kerak. Bunda, avariya va rejali to'xtab turish sababli elektr ta'minotini uzulishidan ko'riluvchi zararlarning matematik kutilishlari xarajat tarkibiga kiritiladi.

8.4. Nominal kuchlanishni tanlash

Elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi uning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga hamda texnik xarakteristikalariga jiddiy ta'sir etadi. Masalan, agar nominal kuchlanish ko'tarilsa, quvvat va energiya isrofi kamayadi, ya'ni ish xarajatlari kamayadi, o'tkazgichlarning kesim yuzasi va liniya qurilishi uchun sarflangan metall kamayadi, liniyalarda uzatilayotgan quvvat oshadi, lekin tarmoq qurilishi uchun sarflanadigan kapital xarajatlar ortadi.

Past nominal kuchlanishli tarmoq kam kapital xarajatlar talab qiladi, lekin quvvat va elektr energiya isrofi oshishi sababli katta ishlatish xarajatlariga olib keladi, bundan tashqari, o'tkazish qobiliyati kamayadi. Shuning uchun, tarmoqni loyihalash vaqtida nominal kuchlanishni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi. Elektr tarmoqlarning nominal kuchlanishlari amaldagi standartlarda ko'rsatilgan.

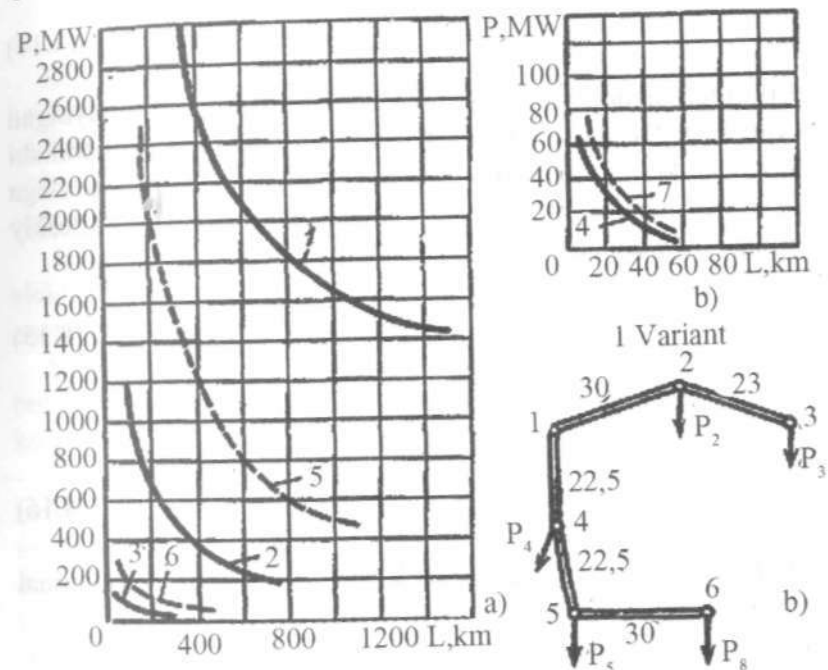
Iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lgan nominal kuchlanish bir necha omillarga bog'liq:

- yuklama quvvatiga;
- TM va yuklama orasidagi masofaga;
- yuklamalarning joylashishiga;
- elektr tarmog'ining tuzilishiga;
- kuchlanishni rostdash usullariga va boshqalarga.

Nominal kuchlanishning taxminiy qiymatini uzatilayotgan quvvat qiymati va masofa bo'yicha aniqlash mumkin. Liniya orqali uzatilayotgan masofa qancha katta bo'lsa, texnik-iqtisodiy me'yorlar bo'yicha elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi shuncha yuqori bo'lishi kerak.

Nominal kuchlanishni quyidagi usullardan biri bilan taxminiy baholash mumkin:

- a) tipik egri chiziqlar bo'yicha;
 - b) empirik ifodalar bo'yicha;
 - d) jadval bo'yicha.
- Tipik egri chiziqlar turli noimnal kuchlanishli elektr tarmoqlarni qo'llashning iqtisodiy jihatdan maqsadga



8.2-rasm. Turli nominal kuchlanishli elektr tarmoqlarining qo'llanilish sohalari: 1 – 1150 va 500 kV; 2 – 500 va 220 kV; 3 – 220 va 110 kV; 4 – 110 va 35 kV; 5 – 750 va 330 kV; 6 – 330 va 150 kV; 7 – 150 va 35 kV.

muvofiq sohalarini ko'rsatadi. Bu bog'lanishlar uzatiluvchi quvvat P , liniya uzunligi l va nominal kuchlanish U_{nom} har xil bo'lgan tarmoq variantlari uchun xarajatlarni solishtirish natijasida hosil qilingan.

Nominal kuchlanishni aniqlashning imperik formulalari bilan tanishamiz.

Ma'lum bo'lgan uzatilayotgan quvvat P (MW) va liniya uzunligi l (km) bo'yicha nominal kuchlanishni Still ifodasi yordamida aniqlash mumkin:

$$U_{nom} = 4,34\sqrt{l+16P}. \quad (8.14)$$

Bu ifoda uzunligi 250 km gacha bo'lgan va uzatilayotgan quvvati 60 mW dan oshmagan liniyalar uchun samarali qo'llanilishi mumkin. Katta miqdordagi quvvatni 1000 km gacha masofaga uzatuvchi liniyalarning nominal kuchlanishlari A.M.Zalleskiy formulasi bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$U_{nom} = \sqrt{P(100+15l)}. \quad (8.15)$$

G.A. Illarionov quyidagi imperik formulani taklif qilgan:

$$U_{nom} = \frac{1000}{\sqrt{500/l + 2500/P}}. \quad (8.16)$$

Oxirgi formula 35 kV dan 1150 kV gacha bo'lgan barcha nominal kuchlanishlar shkalasi uchun qoniqarli natija beradi.

Elektr tarmog'i variantlari yoki uning alohida uchastkalari har xil nominal kuchlanishga ega bo'lishi mumkin. Odatda, avvalo ko'p yuklangan bosh uchastkalarining nominal kuchlanishlari aniqlanadi. Halqasimon tarmoq uchastkalari, odatda, bitta nominal kuchlanishda bajarilishi lozim. Yuqoridagi usullardan biri bo'yicha topilgan kuchlanish yaqin nominal kuchlanishga yaxlitlanadi. Barcha usullar U_{nom} ning faqat taxminiy qiymatini aniqlash imkonini beradi.

Nominal kuchlanishning taxminiy qiymatlari aniqlanganidan so'ng har bir konkret tarmoq uchun turli nominal kuchlanishlar variantlarining chegaralangan soni belgilanadi va ular texnik iqtisodiy solishtiriladi.

Turli nominal kuchlanishda tarmoqning variantlari uchun xarajatlarni solishtirish natijasida butun tarmoqning yoki uning alohida qismlarining nominal kuchlanishini asosli tanlash mumkin.

8.5. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash

Elektr tarmoqlarini loyihalashda o'tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzalarini tanlash eng muhim masalalardan biri hisoblanadi. EULni qurish va ishlatish juda katta miqdordagi kapital mablag', o'tkazgich materiallarining sarfi, elektr sistemalarida quvvat va elektr energiya isrofi bilan bog'liqdir.

Faqat 10 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarning o'zidagi elektr energiya isrofi, elektr sistemasi tarmoqlaridagi umumiy energiya isrofining 60–70% ni tashkil qiladi.

Shu bilan birga bu tarmoqlarning o'tkazgichlari va kabellariga butun tarmoqlarda sarf bo'luvchi rangli metallarning yarmidan ko'pi to'g'ri keladi.

Hozirgi vaqtda o'tkazgichlarni iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda asosan keltirilgan xarajatlarga asoslangan usuldan foydalaniladi. Shunga asosan o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasi deb, keltirilgan xarajatning minimum qiymatiga mos keluvchi kesim yuzasi aytiladi.

O'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasi tokning iqtisodiy zichligini normaga solingan qiymati bo'yicha yoki yuklamaning iqtisodiy intervali bo'yicha tanlanishi mumkin.

Tokning iqtisodiy zichligi elektr tarmoqlardagi 1 km o'tkazgichning qurilish narxi va o'tkazgichning kesim yuzasi orasidagi bog'lanish to'g'ri chiziqli bog'lanishga yaqin degan taxminga asoslanib tanlanadi:

$$K = a + bF. \quad (8.17)$$

Bunda a —kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan narxning o'zgarmas

tashkil etuvchisi (qidiruv ishlariga, loyihalashga, yo'llarni, aloqa liniyalarini yotqizishga va boshqalarga sarflanuvchi mablag'); b - 1 km liniyani qurishda o'tkazgichning kesim yuzasiga qarab narx o'zgarishini hisobga oladigan qimmatlashish koeffitsienti (so'm/km.mm²).

1 km liniyadagi elektr energiya isrofining narxi quyidagi ifodadan topilishi mumkin:

$$C_{\Delta e} = 3I^2(P/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}. \quad (8.18)$$

Bunda I - normal holatda liniyaning maksimal toki, A; r - o'tkazgich materialining solishtirma qarshiligi; τ - maksimal isroflar vaqti, soat; β - elektr energiya isrofining solishtirma narxi (so'm/kW.soat).

Yuqoridagi ifodalarni hisobga olgan holda 1 km liniya uchun keltirilgan xarajat quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z = (E_k + p)(a + bF) + 3I^2(\rho/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}. \quad (8.19)$$

Keltirilgan xarajatning eng kichik qiymati quyidagi shart bajarilgan holatda ta'minlanadi:

$$\frac{dZ}{dF} = (E_k + p)b - ZI^2(\rho/E)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0. \quad (8.20)$$

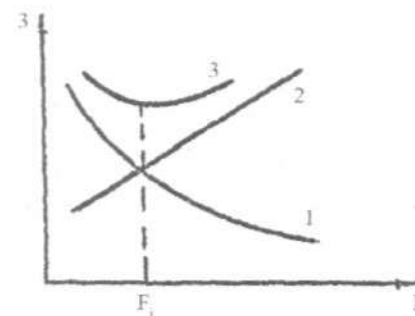
Bundan tokning iqtisodiy zichligi uchun ifodani hosil qilamiz:

$$j_n = I/F = \sqrt{(E_k + p)b / Z\rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}}. \quad (8.21)$$

Yuqorida aytib o'tilganidek, liniyani ishlatishdagi yillik xarajatlarning o'tkazgich kesim yuzasiga bog'liqlanish egri chizig'i 8.3-rasmda ko'rsatilgan. Undan ko'rinib turibdiki, energiya isrofni qoplash xarajatlari $C_{\Delta e} = 3I^2(P/F) \cdot \tau \cdot \beta$ (1 - egri chiziq) o'tkazgichning kesim yuzasiga teskari proporsional tartibda o'zgaradi. Shuningdek, keltirilgan xarajatlarning kapital

mablag'ga bog'liq bo'lgan qismi $C = (E_n + p) \cdot (a + bF)$ (2 - to'g'ri chiziq) kesim yuzasiga taxminan to'g'ri chiziqli bog'lanishdadir.

O'tkazgichning kesim yuzasi kattalashgan sari elektr energiya isrofining narxi kamayadi, lekin liniyani ishlatish bilan bog'liq bo'lgan mablag' ko'payadi. Bunda umumiy egri chiziq (3) dagi minimumga mos keluvchi kesim yuzasi iqtisodiy kesim yuzasi deb yuritiluvchi F_i ga to'g'ri keladi.



8.3-rasm. Yillik keltirilgan xarajatning o'tkazgichni kesim yuzasiga bog'lanishi.

Shunday qilib, o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasini aniqlash uchun matematik funksiya $Z=f(F)$ ni bilish, bu funksiyaning minimumini va unga mos keluvchi F_i ni topishning o'zi yetarlga o'xshaydi.

Ammo, iqtisodiy kesim yuzasining qiymatiga ta'sir etuvchi murakkab omillarning barchasini hisobga olish matematik jihatdan mumkin emas, shuning uchun EUTQ da har xil materiallardan tayyorlangan havo va kabel liniyalari uchun bir qator texnik-iqtisodiy hisoblarga asosan hamda har xil maksimal yuklamadan foydalanish vaqti T_{maks} uchun iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanish tavsiya etiladi:

$$F = \frac{I}{j_i}, \quad (8.22)$$

Bunda I_{maks} – tarmoqni normal ish holatida o'tkazgichdagi maksimal yuklama toki, A; j_i – tokning iqtisodiy zichligi bo'lib, u tok oquvchi o'tkazgichning materialiga, liniyaning tuzilishiga, maksimal yuklamadan foydalanish vaqtiga bog'liq holda qo'llanmadan aniqlanadi, A/mm².

O'tkazgich materialining o'tkazuvchanligi qancha yuqori bo'lsa (mis-aluminiy), yoki liniya qancha qimmatroq bo'lsa, tokning zichligi shuncha kattadir va shunga bog'liq o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasi F_i shuncha kichikdir.

j_i va F_i ni maksimal yuklamalardan foydalanish vaqti T_{maks} ga bog'liqligi teskari proporsionaldir, ya'ni T_{maks} ni kattalashishi bilan u kamayadi, F esa kattalashadi, chunki T_{maks} ni o'sishi bilan keltirilgan xarajatdagi elektr energiya narxi oshadi.

Ishlatish sharoitiga asosan tavsiya etilgan tokning iqtisodiy zichligi qo'llanma jadvallarda keltirilgan.

Shu yo'l bilan topilgan kesim yuzasi F_i standartga yaxlitlanadi.

Agarda tarmoqdagi yuklama maksimumi tungi (kechki) vaqtga to'g'ri kelsa, unda EUTQga asosan tokning iqtisodiy zichligining qo'llanma jadval bo'yicha aniqlangan qiymati 40% ga oshiriladi. 16 mm² va undan kichik kesim yuzali izolatsiya qilingan o'tkazgichlarda ham j_i ni 40% ga kattalashtirish mumkin.

Uchastkalari katta bo'lmagan va ulardagi yuklamalar uchun T_{maks} lar har xil bo'lgan tarmoqlarda iqtisodiy kesim yuzasi har bir uchastka uchun alohida aniqlanadi, lekin bunda uchastkalardagi har xil T_{maks} o'rniga butun tarmoq uchun uning o'rtacha qiymati $T_{o'r.maks}$ quyidagi ifodaga asoslanib qabul qilinishi ham mumkin:

$$T_{ur.maks} = \frac{E}{P_{maks}} = \frac{P_{1.maks} \cdot T_{1.maks} + P_{2.maks} \cdot T_{2.maks} + \dots + P_{n.maks} \cdot T_{n.maks}}{K_o (P_{1.maks} + P_{2.maks} + \dots + P_{n.maks})} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i.ait} \cdot T_{i.ait}}{K_o \sum_{i=1}^n P_{i.ait}} \quad (8.23)$$

Bunda K_o – yuklamalar maksimumi bir vaqtga to'g'ri kelishini hisobga oluvchi koeffitsient.

Agar iste'molchilar liniyaga o'zaro katta bo'lmagan masofalarda ulangan bo'lsa, unda amaliy jihatdan va liniyaning tuzilishi jihatidan har bir uchastka uchun har xil kesim yuzasini qabul qilish maqsadga muvofiq emas. Bunday holda eng katta yuklangan uchastka (liniyaning boshi) uchun olinadigan bir xil iqtisodiy kesim yuzasi qabul qilinadi. Bunda j_i qiymatiga tuzatish koeffitsienti K_U kiritiladi, ya'ni uning o'rniga ekvivalent iqtisodiy zichlik $j_{ie} = j_i K_U$ qabul qilinadi (bunda j_i – oxirida bitta yuklamaga ega bo'lgan va $T_{maks} = T_{o'r.maks}$ bo'lgan holdagi bitta liniya uchun mos tokning iqtisodiy zichligi).

K_U koeffitsienti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K_U = \sqrt{\frac{I_2 L}{I_1 l_1 + I_2 l_2 + \dots + I_n l_n}} \quad (8.24)$$

Bunda I_1, I_2, I_n – ayrim uchastkalardagi yuklama toklari; $l_1, l_2, \dots, l_n$ – ayrim uchastkalarining uzunliklari; L – liniyaning to'liq uzunligi. O'tkazgichlarning kesim yuzalari kuchlanishi 500 kV gacha bo'lgan HL larda tokning iqtisodiy zichligi asosida tanlanadi.

Bu usul quyidagi hollarda qo'llanilmaydi:

a) sanoat korxonalarining va qurilmalarining kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan tarmoqlarda maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4000–5000 s ortiq bo'lmasa;

b) 1000 V gacha bo'lgan ayrim elektr iste'molchilargacha cho'zilgan shoxobchalar va yorituv tarmoqlarida;

d) vaqtinchalik qurilmalarning va ish muddati 3 yildan 5 yilgacha bo'lgan qurilmalarning tarmoqlarida.

Tokni normallangan iqtisodiy zichligi bo'yicha o'tkazgichlarning kesim yuzasini tanlash usuli shundayin kamchilikka egaki, bu zichligi har xil turdagi liniyalar uchun amortizatsiyaga bo'lgan

maʼlagʻ ajratish qayd qilingan deb aniqlanadi va oʻtkazgichlarning solishtirma narxi kesim yuzasiga nisbatan toʻgʻri chiziqli bogʻlanishda deb hisoblanadi.

Keltirilgan omillar ayrim hollarda oʻtkazgichning iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda katta xatoliklarga olib keladi, bu ayniqsa bir turda boʻlmagan tarmoqlarda, xususan, ayrim uchastkalari har xil texnik va iqtisodiy koʻrsatkichlarga (oʻtkazgich materialini shaklan ishlanishi, amortizatsiyaga ajratish va boshqalar) ega boʻlganda bilinadi.

Maksimal yuklamadan foydalanish vaqti katta oraliqda ham sezilarli xatoni yuzaga keltiradi. Masalan, uchinchi oraliq uchun (qoʻllanma jadval boʻyicha) $T_{maks}=5000$ soat boʻlganda F_1 ni aniqlashdagi xatolik 30%; $T_{maks}=8760$ soat boʻlganda esa xatolik intervali oʻrtacha vaqt qiymati uchun tanlangan kesim yuzasiga nisbatan 20% ni tashkil etadi.

Oʻtkazgichlar kesim yuzalarini tanlashning iqtisodiy intervallar usuli aniqroq yechimini topish imkonini beradi. Bunda oʻtkazgichlarning standart kesim yuzalari parametrlarning keltirilgan xarajatga taʼsir qiladigan uzluksizligi hisobga olinadi.

Oʻtkazgichlarning maʼlum bir kesim yuzasi uchun shunday yuklamalar oraliqi iqtisodiy deyiladiki, shu oraliqlardagi yuklamalarga mos birlik tokni (yoki quvvatni) birlik uzunlikka uzatish uchun boʻladigan keltirilgan xarajat boshqa kesim yuzalaridagiga nisbatan eng kichik boʻladi.

Uzunlik birligidagi aktiv qarshiligi r (Om) boʻlgan F_m kesim yuzali 1 km liniyaga mos keltirilgan xarajat tok I ga bogʻliq ravishda quyidagi ifoda boʻyicha aniqlanadi:

$$Z_{(t)} = (E_k + p)K_{(t)} + ZI^2 r \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} \quad (8.25)$$

Ushbu kesim yuzasi F_m uchun iqtisodiy oraliqni hosil qiluvchi mumkin boʻlgan yuklamalar qiymatining kesim yuzalari $F_{(m-1)}$ va F_n , F_m va $F_{(m-1)}$ larga mos keltirilgan xarajatlarni bir-biriga

tenglashtirilib aniqlash mumkin. $Z = Z_{(m-1)}$ shartiga asoslanib, kesim yuzasi uchun tokning minimal qiymati aniqlanadi:

$$I_{(t)k \min} = \sqrt{(E_k + p)(K_{(t)} - K_{(t-1)}) \cdot 10^3 / 3\tau\beta(r_{(t-1)} - r_{(t)})} \quad (8.26)$$

$Z_{(m)} = Z_{(m-1)}$ sharti boʻyicha xuddi shu kesim yuzasi uchun tokning maksimal qiymati aniqlanadi:

$$I_{(t)k \max} = \sqrt{(E_k + p)(K_{(t+1)} - K_{(t)}) \cdot 10^3 / 3\tau \cdot \beta(r_{(t)} - r_{(t+1)})} \quad (8.27)$$

Oʻtkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzasini (8.26) va (8.27) ga asosan tuzilgan iqtisodiy interval jadvallari orqali, yoki (8.25) ifodaga asosan har xil kesim yuzalari uchun qurilgan keltirilgan xarajatning yuklama tokiga bogʻlanish grafiklariga asosan (8.4-rasm) aniqlash mumkin.

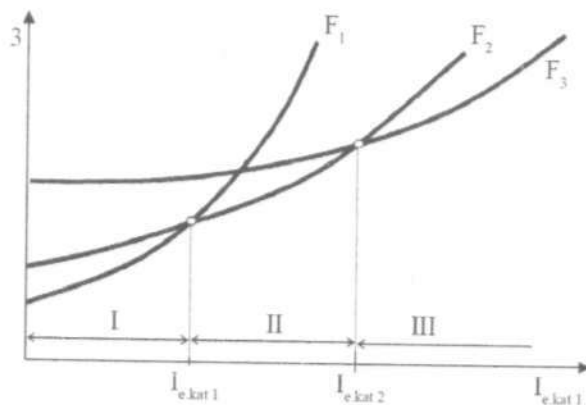
8.4-rasmda keltirilgan xarajatlarning bogʻlanishlari F_1 , F_2 va F_3 kesim yuzalari uchun koʻrsatilgan. Bunda $F_3 > F_2 > F_1$.

F_1 va F_2 egri chiziqlarning kesishish nuqtasi yuzalar F_1 va F_2 boʻlgan variantlarda keltirilgan xarajatlar teng boʻladigan eng katta tok $I_{e.kat1}$ ni aniqlaydi. Agar EUL toki $I_{e.kat1}$ dan kichik boʻlsa, u holda eng kichik xarajatlar F_1 kesim yuzasiga toʻgʻri keladi, yaʼni aynan shu kesim yuzani tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Agar tok $I_{e.kat1}$ va $I_{e.kat2}$ oraliqida boʻlsa, ikkinchi kesim yuza F_2 , $I_{e.kat2}$ dan katta boʻlsa uchinchi kesim yuza F_3 iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq boʻladi.

Tokning iqtisodiy intervallaridan foydalanilganda EULning eng katta toki tushunchasini aniqlashtirish kerak. Oʻtkazgichlarning yuzalarini tokning quyidagi formula boʻyicha aniqlanuvchi hisobiy yuklamasi boʻyicha tanlash lozim:

$$I_x = I_{e.kat} \alpha_i \alpha_l \quad (8.28)$$

Bunda $I_{e.kat}$ – foydalanishning beshinchi yilida EULning normal holatidagi eng katta tok. U taʼminlovchi va taqsimlovchi tarmoq EULlari uchun elektr sistemasining maksimal yuklamali



8.4-rasm. Iqtisodiy intervallarni qurish.

holatini hisoblash natijasida aniqlanadi; α_i – EUL yillar davomida foydalanishda yuklama oʻzgarishini hisobga oluvchi koeffitsient; α_i – uning maksimal yuklamadan foydalanish vaqti $T_{e.kat}$ va uning energetika sistemasi maksimumining toʻgʻri kelishi K_o ni hisobga oluvchi koeffitsient.

110–220 kV EULLar uchun α_i ning qiymati 1.05 ga teng qilib, bundan yuqori kuchlanishdagi EUL uchun bu koeffitsient qiymati esa jadvaldan olinadi.

35–750 kV EULLarining kesim yuzalari uchun tokning iqtisodiy intervallari qoʻllanmalarda jadval koʻrinishida keltirilgan bu jadvallar barcha standart kesim yuzalari va har xil hududlar uchun tuzilgan.

Shunday qilib, iqtisodiy nuqtayi nazardan topilgan (tokning iqtisodiy zichligi yoki iqtisodiy intervallar usuliga asosan) kesim yuzalari standart qiymatga yaxlitlanadi va tokning ruxsat etilgan qizdirish darajasi boʻyicha (HL uchun shikastlanishdan keyingi holati uchun), tojlanishga (110 kV va undan yuqori kuchlanishli HLlar uchun), mexanik mustahkamlikka (35 kV gacha boʻlgan XLlar uchun), ruxsat etilgan kuchlanish isrofiga (35 kV gacha boʻlgan uzun tarmoqlar) tekshiriladi.

8.6. Liniya oʻtkazgichining kesim yuzasini kuchlanishning ruxsatlangan isrofi boʻyicha tanlash

Tarmoqning oxirgi punktlari uchun ruxsat etilgan kuchlanish isrofini elektr isteʼmolchilaridagi kuchlanish ogʻishini normaga solingan qiymat orqali yoki nominal kuchlanishga nisbatan foiz hisobida aniqlanadi.

Elektr energiya sifatiga tegishli talablar bajarilishi uchun normal va avariya holatlarida $\Delta U < \Delta U_{rux}$ sharti qanoatlantirilishi kerak.

10–20 kV kuchlanishli shahar elektr tarmoqlari oʻtkazgichlari va kabellarining kesim yuzasini tanlashda kuchlanish isrofi 5% dan, 0,38 kV kuchlanishli tarmoqlarda esa (binoning ichida) 4–6% dan oshmasligi kerak.

Qandaydir yuklamani taʼminlovchi liniyada ruxsat etilgan kuchlanish isrofi ΔU_{rux} qiymati asosida oʻtkazgichning eng kichik kesim yuzasini tanlashni koʻrib chiqamiz. Bunday liniyalarda kuchlanish isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n P_i \cdot R_i / U_n + \sum_{i=1}^n Q_i X_i / U_n. \quad (8.29)$$

Bu ifodadan koʻrinadiki, kuchlanish isrofi liniyaning aktiv va reaktiv quvvatlari va qarshiliklari bilan belgilanuvchi ΔU_a va ΔU_p dan tashkil topgan. Bunda aktiv qarshilik liniya oʻtkazgichlarining kesim yuzasiga bogʻliqdir (yuzaga teskari proporsional), induktiv qarshilikning bogʻliqligi esa murakkab boʻlib (diametr $D_{o'r}$ logarifm belgisi ostida joylashgan), bu yuzani tanlash masalasini analitik ravishda yechishni qiyinlashtiradi. Ammo x_0 ni kesimga bogʻliq holda juda kam oʻzgarishi tufayli (havo liniyalari uchun $x_0=0,36-0,46$ Om/km; 6–10 kV li kabel liniyalari $X_0=0,06-0,09$ Om/km; 35 kVli kabellar uchun $x_0=0,11-0,13$ Om/km) uning oʻrtacha qiymatini olib kuchlanish isrofining ΔU_p tarkibiy qismini taxminan aniqlash mumkin:

$$\Delta U_r = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot l_i \cdot x_0}{U_n} \quad (8.30)$$

ΔU_{rux} dan ΔU_r ni ayirib, ruxsat etilgan kuchlanish isrofining aktiv qarshilik r_0 ga bog'liq bo'lgan tashkil etuvchisini aniqlash mumkin:

$$\Delta U_{a.rux} = \Delta U_{rux} - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot l_i \cdot x_0}{U_n} \quad (8.31)$$

(8.29) ga asosan,

$$\Delta U_{a.rux} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i l_i \cdot r_0}{U_n}$$

Bundan o'tkazgichning kesim yuzasini aniqlash formulasi hosil bo'ladi:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_i}{\gamma \cdot \Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \quad (8.32)$$

Agarda uzoqdagi iste'molchilar uchun kuchlanish isrofi ruxsat etilgan maksimal qiymatdan kichik bo'lsa, bu iste'molchi qabul qiladigan energiya sifatini qoniqarli deb aytish mumkin. Dastlabki hisoblashlarda, rostdash uskunalar mavjud bo'lsa, taqsimlovchi elektr tarmoqlarda ruxsatlangan kuchlanish isrofini normal hollarda 15%, avariya dan keyingi hollarda esa 20% deb hisobga olish mumkin.

O'tkazgichning kesim yuzasini, bu yuza liniyaning butun uzunligi davomida o'zgarmas bo'lganida aniqlash

Ko'pincha amaliy nuqta nazarda loyihalalanayotgan liniyaning tuzilishini bir turda bajarish maqsadida, uning butun uzunligi

davomida markasi va kesim yuzasi bir xil bo'lgan o'tkazgich qo'llaniladi. Bu esa tayanchlarning qismlarini, o'tkazgichlarni tayyorlashda osonlik kiritadi va o'tkazgichning qurilishga mo'ljallangan uzunligini yaxshi ishlatishga (barabandagi o'tkazgich qoldig'ini kamaytiradi) imkon beradi. Bu holda, qachonki qurilayotgan liniyaning butun uzunligi davomida $F = \text{const}$ bo'lganda, o'tkazgichning kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha aniqlash juda soddalashadi:

$$\Delta U_{a.rux} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i l_i \cdot r_0}{U_n} = \frac{\rho}{F U_n} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (8.33)$$

Bundan qidirilayotgan yuza quyidagicha aniqlanadi:

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (8.34)$$

yoki xuddi shuning o'zi

$$F = \frac{\rho \sum_{i=1}^n P_i l_i}{\Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \quad (8.35)$$

Olingan yuza standartgacha yaxlitlanadi, buning uchun ma'lumotnomadagi jadvaldan r_0 va x_0 aniqlanadi va keyin tekshiruv hisobi orqali haqiqiy kuchlanish yo'qotilishi ΔU aniqlanadi, agarda bu ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lsa, bir pog'ona yuqori kesim yuzasi qabul qilinadi.

Agarda kesim yuzasi yaqin katta qiymatgacha yaxlitlangan bo'lsa va o'tkazgichning haqiqiy x_0 qiymati oldindan qabul qilingan o'rtacha qiymatdan kichik bo'lsa, tekshiruv hisoblarini bajarish shart emas. Qabul qilingan o'tkazgichning qat'iy kesim yuzasi yuklama tokining qizdirish darajasi bo'yicha tekshirilishi lozim.

O'tkazgichning kesim yuzasini quvvat isrofining minimumi shartiga asosan aniqlash

Adabiyotdan ma'lumki, liniyalarda quvvat isrofining minimallik sharti, bu hamma uchastkalarda tok zichligining bir xilligidir. Isrofning minimumiga to'g'ri keladigan tok zichligining qiymati shuningdek r_0 aktiv qarshilikka bog'liq ruxsat etilgan kuchlanish isrofi orqali aniqlanadi:

$$\Delta U_{a.rux} = \frac{\rho}{U_n} \sum_{i=1}^n \frac{P l_i}{F_i} = \frac{\rho}{U_n} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{3} U_n I_i (\cos \varphi_i) l_i}{F_i} = \sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^n \frac{I_i (\cos \varphi_i) l_i}{F_i} \quad (8.36)$$

Shart bo'yicha $I/F_i = j_{\Delta p} = \text{const}$ bo'lgani uchun uni yig'ish belgisidan tashqaridan chiqarsak hosil bo'ladi:

$$\Delta U_{a.rux} = \sqrt{3} \rho j_{\Delta p} \sum_{i=1}^n (\cos \varphi_i) l_i \quad (8.37)$$

Bundan

$$j_{\Delta p} = \frac{\Delta U_{a.rux}}{\sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^n l_i \cos \varphi_i}$$

Minimum isrofga to'g'ri keladigan tok zichligini bilib, har bir uchastkadagi o'tkazgichning kesim yuzasini topamiz:

$$F_i = \frac{I_i}{j_{\Delta p}}$$

Bunda I_i ko'rilyotgan uchastkadan oqayotgan tok.

Tokning iqtisodiy zichligi j_i bo'yicha o'tkazgichlarning kesim yuzasini aniqlash usuli elektr energiyani ishlab chiqarishdagi va taqsimotidagi hamma texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini umumlashtirishga imkon berganligi tufayli tarmoqlarni hisoblashda asosiy deb olinadi.

Ammo, uzunligi katta bo'lgan liniyalarda tokning iqtisodiy zichligiga asosan tanlangan o'tkazgichlarning kesim yuzasi ruxsat etilgan kuchlanish isrofini ta'minlamasligi ehtimoli bor, bu esa qaytadan hisoblash zaruriyatini keltirib chiqarishi mumkin.

Qaytadan hisoblamaslik uchun ruxsat etilgan kuchlanish isrofi ta'minlaydigan tokning zichligi $j_{\Delta p}$ oldindan aniqlanadi. Agar $j_{\Delta p} > j_K$ bo'lib qolsa, u holda kesim yuzasi iqtisodiy zichlik $j_{\Delta p}$ orqali, teskari hollarda esa $j_{\Delta p}$ orqali tanlanadi.

Tanlangan kesim yuzasining iqtisodiy kesim yuzasidan ancha katta bo'lishi, tarmoq uchun yuqoriroq nominal kuchlanish qo'llash zarurligini (masalan, 6 kV o'rniga 10 kV qo'llash) yoki kuchlanish isrofini kamaytiradigan maxsus choralarni ishga solish, masalan, reaktiv quvvatni ko'ndalang yoki bo'ylama kompensatsiya qilish kerakligini ko'rsatadi.

8.7. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini qizish darajasi bo'yicha tanlash

O'tkazgichdan o'tayotgan tok uni va izolatsiyani qizdiradi. O'tkazgichlarni uzoq ishlashini ta'minlash uchun ularning harorati ruxsat etilgan haroratdan oshmasligi kerak.

Bu haroratga uzoq muddatli yuklamaning mumkin bo'lgan qiymati, (uzoq muddatli oqadigan ruxsatlangan tok) ma'lum bir sharoitda ma'lum bir tashqi muhit haroratidagi sovutishga to'g'ri keladi.

O'tkazgichlarning uzoq muddatli ruxsat etilgan haroratining qiymati va atrof-muhitning o'rtacha harorati quyida keltirilgan:

Shinalar va ochiq o'tkazgichlar	70°C	+25°C
kabellar, kV gacha	3	80°C
	6	65°C
	10	60°C
	20	55°C
	35	50°C
Rezina izolatsiyali oddiy kabel va o'tkazgichlar	55°C	+15°C
Izolatsiyasi issiqlikka bardosh beruvchi rezinadan bo'lgan oddiy kabel va o'tkazgichlar	65°C	+15°C

Har xil turdagi o'tkazgichlar uchun ruxsat etilgan harorat har xil sharoitlar uchun aniqlangan, masalan, HL larini ochiq o'tkazgichlari uchun yuqorida keltirilgan ruxsat etilgan harorat, o'tkazgichlarning uchastkalarini bir-biri bilan elektr va mexanik ravishda ulaydigan biriktiruvchi kontaktlarini normal ishlash sharoitini hisobga olib aniqlangan. Binolar ichida o'tkazilgan ochiq o'tkazgichlar uchun ruxsat etilgan harorat yong'indan saqlash talablariga asosan aniqlanadi. Kabellar uchun, yuqori haroratda kabel qog'ozini shikastlanishi-dan saqlash va kabel ichidagi tarkibiy gaz qismlarining sonini oshib ketishiga yo'l qo'ymaslik ko'zda tutiladi, chunki bu gazning ionlashishiga va kabelni teshilishiga olib keladi.

Agar ruxsat etilgan qizish harorati θ_{rux} va θ_{ue} ma'lum bo'lsa, unda I_{rux} toki tufayli vaqt birligi davomidagi o'tkazgichdagi ajralayotgan issiqlikni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$P = RI_{rux}^2$$

Bu vaqt davomida atrof-muhitga tarqalayotgan issiqlikning miqdori

$$P' = cF(\theta_{rux} - \theta_{ue})$$

Bunda C —issiqlik uzatish koeffitsienti bo'lib, u 1 sm² o'tkazgich yuzasining haroratlar farqi 1°C bo'lganda tarqatadigan issiqlik miqdoriga tengdir; F —o'tkazgichning kesim yuzasi, sm².

Ma'lumki, joriy tokning doimiy oqishida issiqlik muvozanati $P = P'$ ta'minlanadi, ya'ni

$$RI_{rux}^2 = cF(\theta_{rux} - \theta_{ue})$$

$F = \pi dl$ bo'lganda (d — o'tkazgichning diametri, sm; l —uning uzunligi, sm):

$$R = \rho l / F = \rho l / (\pi d^2 / 4) = 4\rho l / \pi d^2$$

$$4\rho I_{rux}^2 / \pi d^2 = C\pi d(\theta_{rux} - \theta_{ue})$$

Bundan

$$I_{rux} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{Cd^3(\theta_{rux} - \theta_{ue})}{\rho}}$$

Ko'rinib turibdiki, qizish sharoitlari o'zgargan holda (o'tkazgichdagi ruxsat etilgan harorat - atrof-muhitning harorati θ_0) o'zaro munosabat quyidagicha:

$$\frac{I'}{I_{rux}} = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_0}{\theta_{rux} - \theta_{ue}}}$$

Yangi qizdirish toki quyidagi ifodadan topilishi mumkin:

$$I' = I_{rux} \sqrt{\frac{\theta' - \theta_0}{\theta_{rux} - \theta_{ue}}}$$

Demak, har qanday kesim yuzali o'tkazgich uchun jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra, qizish sharoitlarining har xil o'zgarishlariga tegishli mumkin bo'lgan qizdirish tokini aniqlash mumkin.

Amaliy hisoblarda boshlang'ich shartlarni aniqlash murakkab bo'lganligi uchun yuqoridagi ifodadan odatga ko'ra foydalanilmaydi, balki har xil turli o'tkazgichlar uchun ularni ishlatilish sharoitlariga bog'liq bo'lgan ruxsatlangan yuklama toklari keltirilgan jadvaldan foydalaniladi. O'tkazgichlarning kesim yuzasini qizishiga tekshirish quyidagidan iboratdir: faraz qilaylik, shu berilgan yuklama uchun o'tkazgichning kesim yuzasi tokning iqtisodiy zichligi yoki boshqa shartlar bo'yicha tanlangan. Bu kesim yuzasi uchun jadvaldan qizish darajasi bo'yicha ruxsat etilgan yuklama tokini aniqlaymiz. Agarda bunda

$$I_{ish} \leq I_{rux} = K_{ok} \cdot I_{rux, jay}$$

bo'lsa, tanlangan kesim yuzasi qizish darajasi bo'yicha qiziqtiradi.

Tuzatuv koeffitsienti K_{uz} o'tkazgichni rasmiy ish sharoitidan haqiqiy ish sharoitining farqini hisobga oladi. Tuzatuv koeffitsienti kirgiziladi, masalan, atrof-muhitning haroratiga, oralaridagi masofaga bog'langan ravishda bir xandaqda joylashgan kabellar soniga, suvda yotqiziladigan kabellar uchun, bloklardagi kabellar va boshqalar uchun, bu koeffitsientlar tegishli jadvallarda keltirilgan. Agarda bir necha tuzatuv koeffitsientlarini hisobga olish kerak bo'lsa, unda umumiy tuzatuv koeffitsienti K_{uz} ularni ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Shunday hollarda kesim yuzasi qizish shartiga asosan topilgan o'tkazgichlarning uzoq muddatli ruxsat etilgan qizdirish toki quyidagi ifodadan aniqlanadi:

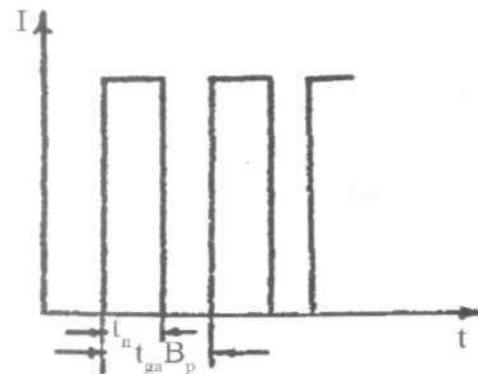
$$I_{rux, uzoq} \geq \frac{I_{ish}}{K_{uz}}$$

Bunda I_{ish} – uzoq muddatli maksimal yuklama tokining qiymati. So'ngra jadvaldan qidirayotgan kesim yuzasi aniqlanadi.

Bir qator iste'molchilar (4.4-rasm) qaytariladigan – qisqa vaqtli yuklama bilan ishlaydi. Bu yuklamalarni ta'minlaydigan o'tkazgichlar uchun quyidagi ifodadan aniqlanadigan uzoq muddatli toklarning qiymatiga qaraganda katta toklarga ruxsat etiladi:

$$I'_{rux, t} = 0,875 I_{rux} / \sqrt{UV}$$

bunda UV – ulanish vaqti koeffitsienti bo'lib, u ish vaqti t_{ish} ning davr vaqti t_D ga nisbatiga teng bo'ladi. Bu ifodadan foydalanish mis o'tkazgichlarning kesim yuzasi 6 mm² dan va aluminiy o'tkazgichlarning kesim yuzasi 10 mm² dan katta bo'lganda mumkin.



8.5-rasm. Qaytariladigan qisqa vaqtli yuklama holati.

Kesim yuzasi katta bo'lganda bir kabelning o'rniga bir necha kichik yuzali kabellarni qo'llash qulaydir. Ammo almashtiriladigan kabelning yuzasi 150 mm² dan kichik bo'lmasligi kerak. Buni quyidagicha tushuntirsa bo'ladi: kesim yuzasi katta bo'lgan o'tkazgichlar va kabellarda qizish darajasi bo'yicha ruxsat etilgan tokning zichligi kichik yuzalilarga qaraganda kichik bo'ladi, chunki o'tkazgich va kabellarning kesim yuzasi qancha katta bo'lsa, uning o'lchov birligiga to'g'ri keladigan sovitish maydoni shuncha kichik bo'ladi.

Nazorat soʻvollar

1. Texnik-iqtisodiy hisoblar nima uchun kerak?
2. Iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq elektr tarmoq variantini qanday aniqlanadi?
3. Kapital xarajatlar va yillik foydalanish chiqimlari nimadan iborat?
4. Jismoniy va manaviy eskirish mazmuni nimadan iborat?
5. Kapital xarajatlar va yillik foydalanish chiqimlari?
6. Iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq elektr tarmoq variantini tanlash va hisoblash usulini tushuntiring.
7. Elektr tarmoqning nominal kuchlanishini tanlash asosi nima?
8. Temir yoʻl korxonalari elektr taʼminoti tizimini loyihalashning asosiy printsiplari nimalardan ibarat?
9. Loyiha tarkibi va unga qoʻyiluvchi talablarga nimalar kiradi?
10. Hisobiy elektr yuklamani aniqlashning qanday asosiy usullari mavjud?
11. Elektr tarmoq sxemasi va asosiy elektr jihozlari qanday tanlanadi?
12. Liniya oʻtkazgich simlarining kesim yuzalarini tanlash qanday amalga oshiriladi?

IX. ELEKTRLASHGAN TEMIR YOʻLLAR TORTUVCHI YUKLAMALARNING ELEKTR TAʼMINOTI

Tortuvchi nim stansiya (TP) bu elektr energiyasining isteʼmolchi nim stansiyasi boʻlib, u elektrlashgan yer usti yoʻnaltirilgan transporti: temir yoʻl, metropoliten, trolleybus, tramvaylarning kontakt tarmogʻini yuqori sifatli elektr energiyasi bilan uzluksiz taʼminlab turishga moʻljallangan. Tortuvchi nim stansiyalardan boshqa notortuvchi istʼmolchilar ham elektr energiyasi bilan taʼminlanadi. Tortuvchi nim stansiyasi kontakt tarmogʻi orqali transport vositalariga bogʻliq elektr tortish tizimlarining elektr taʼminotini amalga oshiruvchi nimstansiyadir.

Tortuvchi nim stansiyalar quyidagi sifatlari bilan bir-biridan farqlanadi va boʻlinadi:

- tashqi energiya taʼminoti tizimiga ulanishlari bilan: tayanch (опорные TP), oraliq - tranzit (промежуточные или транзитные TP), shahobcha yoki ulama (ответвление или отпаечные TP) va chekka yoki boshi berk (коцевые или тупиковые TP) tortuvchi nim stansiyalarga;

- elektr tortishga xizmat koʻrsatuvchi amaldagi elektr energiya tizimlari bilan: 1) 27,5 kV yuqori kuchlanishli 50 Hz chastotali oʻzgaruvchan tok tizimi; 2) 2x27,5 kV yuqori kuchlanishli 50 Hz chastotali oʻzgaruvchan tok tizimi; 3) 3,2 kV yuqori kuchlanishli oʻzgarmas tok tizimi; 4) oʻzgaruvchan tok va oʻzgarmas tok toʻqnashuvchi oraliq tizimiga ega tortuvchi nim stansiyalarga;

- tok oʻzgartgich (преобразовател) turlari bilan: oʻzgaruvchan tokni oʻzgarmas tokka aylantiruvchi toʻgʻrilagichli (выпрямительные TP) va toʻgʻrilagich ham inventarli (выпрямительно - инвенторные TP) tortuvchi nim stansiyalarga;

- transformatsiyalash usuli bilan: bir pogʻonalik yuqori kuchlanishi 6 kV, 10 kV, 35 kV va ikki pogʻonalik yuqori kuchlanishi 110 kV,

220 kV nim stantsiyalarga;

-tortuvchi nim stantsiyalarga kirib keluvchi tarmoq kuchlanishi bilan: 6 kV, 10 kV, 35 kV 110 kV, 220 kV nim stantsiyalarga;

-boshqarish sxemasi bilan: masofadan - teleboshqaruvli nim stansiya, mikroprotessorli va kompyuterli boshqaruvli nim stansiya, teleboshqaruvsiz nim stansiyaga;

- xizmat ko'rsatish usuli bilan: navbatchi xizmatchisi yo'q nim stansiyaga, navbatchilikni uyda bajaradigan xizmatchili nim stansiya, muayyan navbatchi xizmatchili nim stansiyaga;

-harakat turi bilan: turg'un nim stansiya va harakatlanuvchi nim stansiyaga. Tortuvchi nim stantsiyalarga 35 kV kuchlanish kirib kelsa, o'zgartgichga qarab 1,52÷3,79 kV kuchlanish beradigan bir pog'onali transformator o'rnatiladi. Agar uning shinalarga 110 kV kuchlanish kirib kelsa, uni maxsus transformator yordamida avvalo 10 kV yoki 35 kVga pasaytirib beriladi.

Tayanch tortuvchi nim stansiya (опорная TP) elektr energiyani tashqi elektr taqsimoti tarmog'idan soni ikki va undan ortiq bo'lgan 35 kV, 110 kV yoki 220 kV kuchlanishli havo elektr uzatuvchi yo'llardan oladi hamda tranzit, shohobcha va tupiksimon tortuvchi nim stantsiyalarning elektr ta'minoti tarmog'ini elektr energiya bilan ta'minlaydi.

Tranzit - oraliq tortuvchi nim stansiya (промежуточная TP) tayanch nim stantsiyalar elektr ta'minotining ikki tarmog'idan elektr energiyasini olib, kontakt tarmog'ining tayanch stantsiyalari oralig'ini energiya bilan ta'minlaydi.

Shaxobcha tortuvchi nim stansiya (ответвленная TP) yopiq shaxobchalangan bo'lib, tayanch nim stantsiyalar elektr ta'minotining ikki tarmog'idan elektr energiyasini olib, kontakt tarmog'ining tranzit tortuvchi nim stantsiyalari oralig'ini energiya bilan ta'minlaydi.

Tupiksimon - boshi berk tortuvchi nim stansiya (tupikovaya TP) boshqa tortuvchi nim stantsiyalar elektr ta'minotining ikki tarmog'idan elektr energiyasini olib, kontakt tarmog'ining mazkur nim stansiyasiyagacha bo'lgan oralig'ini energiya bilan ta'minlaydi.

Pasaytirgich nim stansiya SSB qurilmalarining elektr ta'miniga va notortuvchi elektr iste'molchilarga mo'ljallangandir. Temir yo'l bo'ylab qayerga joylashganiga qarab bekat xo'jaliklari, tunnel, depo xojatlarini qondirish uchun 10 kV li yuqori kuchlanishni 400 V va 230/133 V kuchlanishga aylantirib beradi. Bunday kuchlanish yoritish yuklamalarida ham ishlatiladi.

Ba'zi hollarda tortuvchi nim stansiya boshqa elektr ta'minoti qurilmalari bilan birlashtirib uyg'unlashtiriladi: jumladan, tuman nim stansiyasi bilan, yoki kontakt tarmog'i distansiyasi bilan, yo ularning navbatchilik punktlari bilan. Bunday nim stantsiya birlashgan tortuvchi nim stansiya deb ham yuritiladi.

9.1. O'zgarmas va o'zgaruvchan toklarda elektr tortishni ta'minlash xususiyatlari

Elektrlashgan temir yo'l elektr ta'minoti qurilmalari yuqori kuchlanishli (110, 220 kV) uch fazali o'zgaruvchan tok tarmoqlaridan ta'minlanadi. Elektr harakat tarkibida o'zgarmas tok yuritgichlari qo'llanilgani uchun elektr ta'minoti tizimida kuchlanishni transformatsiyalash va uch fazali o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish ko'zda tutilgan. Elektr ta'minoti tizimining ikki turi mavjud.

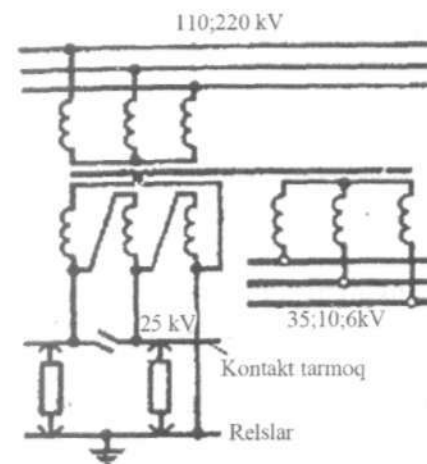
O'zgarmas tok tizimida uch fazali o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish tortuvchi nimstansiyalarda amalga oshiriladi va bu maqsadda u yerda o'rnatilgan yarimo'tkazgichli (kremniyli) to'g'rilagichlardan foydalaniladi. O'zgarmas kuchlanish kontakt tarmog'iga uzatiladi va undan o'zgarmas tok elektrovozlarining tortuvchi yuritgichlariga beriladi. Bunday tizimlarning asosiy kamchiliklaridan biri tortuvchi yuritgich kollektoridagi eng katta ruxsat etilgan kuchlanish qiymati cheklanganligi tufayli kontakt tarmoqdagi kuchlanishning nisbatan kichikligidadir (3 kV). Shuning uchun o'zgarmas tok tortuvchi nimstansiyalari orasidagi masofalar unchalik uzoq emas va yo'l bo'laklaridagi yuklama kattaligiga qarab 15–20 km ni tashkil etadi.

So'nggi vaqtlarda elektrlashgan temir yo'llarning ba'zi bo'laklarida tortuvchi yuklama birmuncha ortganligi poyezdlar vaznining ortishiga olib keldi va bu o'z navbatida elektrovozlar quvvatini oshirishni taqozo etadi. Og'ir yukli sostavlarni tortish uchun ayniqsa, qiya uzun yo'llarda yuqoriga tortish chog'ida bir nechta elektrovozlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Bunday sharoitlarda kontakt osmalari simlarining kesim yuzasini oshirish yoki tortuvchi nimstansiyalar orasidagi masofani qisqartirish talab etiladi. O'zgarmas tok tortuvchi nimstansiyalari yuklamalari simmetrik, shuning uchun ularning energotizim tarmoqlaridan ta'minlanishi shartlari tuman iste'molchilarini ta'minlovchi nimstansiyalar shartlaridan unchalik farq qilmaydi. O'zgaruvchan tokni to'g'rilagichlarning ish xususiyatlaridan yuzaga keluvchi yuqori garmonikalarning tok va kuchlanishlar tarkibida mavjudligi ba'zi bir mushkulliklarni keltirib chiqaradi.

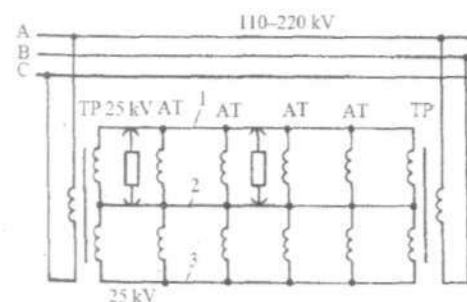
O'zgaruvchan tok elektr ta'minoti tizimida o'zgaruvchan tokni to'g'rilashelektrovozdaamalgaoshiriladi. Tortuvchinimstansiyalarda energotizimning ta'minlovchi tarmog'idagi 110 yoki 220 kV kuchlanishni kontakt tarmog'idagi 25 kV kuchlanishga pasaytirib beruvchi transformator o'rnatiladi. Transformatorning ikkilamchi chulg'ami uchburchak sxema bilan ulangan bo'lib, uchburchakning bir uchi relslarga, qolgan ikkitasi qarayotgan nimstansiyadan o'ng va chap tomonlardagi kontakt tarmoq bo'laklarini ta'minlash uchun kontakt simlariga ulanadi (9.1 - rasm). O'zgaruvchan tok elektrovozlar bitta fazadan ta'minlanadigan qilib bajarilgan, shuning uchun nimstansiya va energotizimning yuqori kuchlanishli tarmog'i transformatorlari uchun nosimmetrik yuklama hisoblanadi. Nisbatan yuqori kuchlanish (25 kV) qo'llanilishi sababli o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalari orasidagi masofa kattaroq, taxminan 40–60 kilometrni tashkil etadi. Tayanch nimstansiyalarni imkon qadar elektr tizimlarning rayon nimstansiyalari atrofida barpo etiladi.

Tortuvchi nimstansiyalar transformatorlari, odatda, yaqin atrof hududlaridagi yuklamalarni ta'minlash uchun uchinchi chulg'amga ega. Elektr tortishning nossimmetrik yuklamasi rayon

iste'molchilarning ishlash sharoitlarini qiyinlashtiradi va shuningdek ta'minlovchi tarmoqdagi tok va kuchlanishlarning sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.



9.1 - rasm. O'zgaruvchan tokda tortuvchi nimstansiyaning sxemasi



9.2 - rasm. Kuchlanishi 2x25 kV tortuvchi tarmoq bo'lagining uch simli sxemasi: 1 – kontakt simi; 2 – rels; 3 – ta'minlovchi sim.

O'zgaruvchan tokda elektrlashgan temir yo'lining o'tkazish qobiliyatini oshirish uchun kuchlanishi 2x25 kV bo'lgan yangi tizim ishga tushirilgan (9.2 - rasm). Bu tizimda 25 kV kuchlanish

ostida bo'lgan kontakt sim 1 dan tashqari shu kontakt simdagi kuchlanish bilan qarama-qarshi fazada bo'lgan va huddi shunday kattalikdagi kuchlanishga ega bo'ylama ta'minlovchi sim 3 montaj qilingan. Shunday qilib, energiya uzatuvchi umumiy kuchlanish elektrovozdagiga qaraganda ikki marta ko'p bo'ladi. Elektrovozlar ta'minlanishini amalga oshiruvchi mazkur bir simli tizimlar (kontakt sim-rels va rels-ta'minlovchi sim) orasidagi elektromagnit bog'lanish tortuvchi nimstansiya TP lar orasidagi peregonda biri-biridan 10–15 km masofada o'rnatilgan bir fazali avtotransformator AT lar yordamida amalga oshiriladi.

9.2. Yuqori kuchlanish bo'ylama liniyasining tortuvchi yuklamasi

Tortuvchi nimstansiyalar transformatorlarining ishlash shartlarini ko'rib chiqamiz (9.3 - rasm). Avval transformatorning uchinchi chulg'amidan ta'minlanuvchi mahalliy (rayon) iste'molchilar yuklamalarining ta'sirini hisobga olmaymiz. Agar elektrovozlardagi toklarning musbat yo'nalishi deb kontakt simdan relsga yo'nalishini, ya'ni energiya uzatilishiga mos keluvchi yo'nalish qabul qilinsa, u holda kontakt tarmog'ida qaralayotgan nimstansiyadan chap va o'ng tomonga ketuvchi toklar musbat yo'nalishli bo'ladi.

Transformator chulg'amlarining ulanish sxemasi $U_n/D-11$ guruhiga mos holda bajarilgan. Yuqori kuchlanish chulg'amlari (110 yoki 220 kV) yulduz sxemaga ko'ra ulangan va A_{tp} , B_{tp} , C_{tp} deb belgilangan; tortuvchi chulg'am chiqishlari (25 kV) uchburchak sxemaga ko'ra ulangan va a_{tp} , b_{tp} , c_{tp} deb belgilangan. Qaralayotgan nimstansiyaning barcha transformatorlari shartli ravishda bitta ekvivalent transformator bilan almashtirilgan.

Tortuvchi yuklamalar yuzaga keltiruvchi toklar nosimmetrikligini kamaytirish uchun tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi liniyaga ulashning fazalari almashtirilgan uchta sxemasi qo'llaniladi (9.3 - rasmga qarang). Tortuvchi nimstansiya I turining ishlash shartini ko'ramiz. Faraz qilaylik, tok va kuchlanishlar sinusoidal

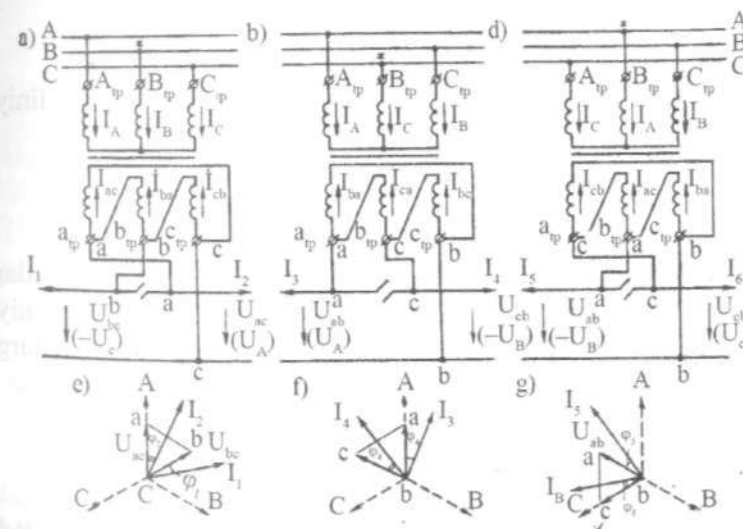
bo'lsin. Elektr tortish yuklamasi ma'lum, ya'ni kontakt tarmoqni ta'minlovchi toklar I_1 va I_2 ning qiymatlari va siljish burchaklari ma'lum. Transformatorning uchburchak sxema bo'yicha ulangan ikkilamchi chulg'amidagi toklarni topish uchun "a" va "b" tugundagi toklar uchun tenglamalar tuzamiz:

$$I_{CB} - I_{BA} = I_1; \quad I_{BA} - I_{AC} = I_2. \quad (9.1)$$

Berk uchburchak uchun faza kuchlanishlar yig'indisi nolga tengligini va chulg'amlar qarshiliklari tengligini hisobga olgan holda quyidagini olamiz:

$$I_{AC} + I_{CB} + I_{BA} = 0. \quad (9.2)$$

(9.1) va (9.2) tenglamalarni birgalikda yechib faza toklarini aniqlaymiz:



9.3 - rasm. Ta'minlovchi uch fazali liniya va tortuvchi tarmoqqa I (a), II (b), III (d) tipdagi nimstansiyalarni ulash sxemalari; tok va kuchlanishlarning vektor diagrammalari (e, f, g).

$$I_{AA} = (I_2 - I_1) / 3; I_{AC} = (-I_1 - 2I_2) / 3; I_{CB} = (2I_1 + I_2) / 3; \quad (9.3)$$

Ikki kuchlanishli tarmoqlarni hisoblash chog'ida toklar va barcha parametrlarni kuchlanishlardan biriga nisbatan olinadi (keltiriladi). Qaralayotgan transformator chulg'ami U_n/D ulanish sxemasiga ega bo'lgani uchun transformatsiya koeffitsienti:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{3} U_{1f} / U_2 = \sqrt{3} w_1 / w_2,$$

bunda w_1 – yulduz sxema bo'yicha ulangan yuqori kuchlanish (VN) chulg'am o'ramlari soni; w_2 – uchburchak sxema bo'yicha ulangan o'rta kuchlanish (SN) chulg'amining o'ramlari soni.

Salt ishlash tokini hisobga olmagan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_A W_1 = -I_{CA} W_2,$$

bundan yuqorida keltirilgan munosabatlar asosida A liniya tokini topamiz:

$$I_A W_1 = -I_{CA} W_2 / W_1 = -\sqrt{3} I_{CA} / K = -\sqrt{3} I_{AC}.$$

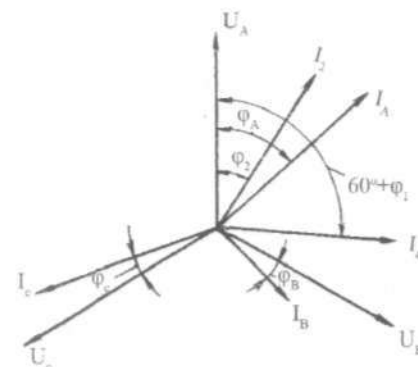
Shuning uchun transformatorning birlamchi chulg'amlaridagi toklari, ya'ni tortuvchi nimstantsiyani ta'minlovchi uch fazali liniya fazalari yuklamasi (9.3 - rasimga qarang) mos holda quyidagilarga teng:

$$\begin{aligned} I_A &= -\sqrt{3} I_{AC} = (I_1 + 2I_2) / \sqrt{3}; \\ I_B &= -\sqrt{3} I_{BA} = (I_1 - I_2) / \sqrt{3}; \\ I_C &= -\sqrt{3} I_{CB} = (-2I_1 - I_2) / \sqrt{3}. \end{aligned} \quad (9.4)$$

Bu toklar nosimmetrik bo'lib, ular o'zaro teng emas va kuchlanish

vektorlariga nisbatan turli burchaklarga siljigan (9.4 - rasm). Transformatorning uchburchak sxema bilan ulangan ikkilamchi chulg'amida AC va BC fazalar eng katta yuklangan, chunki ular tortuvchi yuklamani ta'minlovchi kontakt tarmoq bo'laklariga bevosita ulangan.

Bu fazalar transformatorning birlamchi chulg'ami A va B fazalari bilan magnit bog'lanishga ega va ishchi fazalar deb ataladi. Shuning uchun I turdagi tortuvchi nistantsiyani ta'minlovchi uch fazali liniyalar yuklamalari tarkibida I_A va I_C toklar eng katta qiymatli bo'ladi. Vektor diagramma dan ko'rinib turibdiki, A faza toki I_A kuchlanishi U_A dan ancha orqada qoladi, ya'ni bu tok katta reaktiv tashkil etuvchiga ega. C faza toki I_C ning kuchlanish U_C ga nisbatan siljish burchagi uncha katta emas, ya'ni bu tokda aktiv tashkil etuvchi nisbatan katta qiymatga ega.



9.4 - rasm. I – tipdagi tortuvchi nimstantsiyadan ta'minlovchi bo'ylama liniya yuklamasi toklarining vektor diagrammasi.

Tortuvchi chulg'amda AB faza kontakt tarmog'iga bevosita ulangan. Bu faza boshqa fazalar bilan uchuburchak hosil qilgani uchun undan ham tok o'tadi, lekin bu faza boshqalariga nisbatan ancha kam yuklangan. Yuqori kuchlanish chulg'ami B fazasi ham yuklamaga ega bo'ladi va u bo'sh faza deb yuritiladi. Shunday qilib, o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstantsiyasi uni ta'minlovchi

yuqori kuchlanish uch fazali liniyasi uchun nosimmetrik yuklamani hosil qiladi. Shuning uchun elektr ta'minoti sxemasini hisoblash simmetrik tashkil etuvchilar usuliga ko'ra amalga oshirilishi kerak. Yuqori kuchlanish uch fazali liniyasining to'g'ri ketma-ketlik toki:

$$I_{to'g'} = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2 I_C) = \frac{1}{3\sqrt{3}}(I_1 + 2I_2 + aI_1 - I_2 - aI_2 - 2a^2 I_1 - a^2 I_2) = \frac{1}{\sqrt{3}}(-a^2 I_1 + I_2) = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_1 e^{-j\varphi_1} + I_2 e^{-j\varphi_2}), \quad (9.5)$$

bunda $a = e^{j120^\circ}$; $-a^2 I_1 = e^{j180^\circ} \cdot e^{j240^\circ} I_1 e^{j(-60^\circ - \varphi_1)} = I_1 e^{-j\varphi_1}$,

To'g'ri ketma-ketlik tokining kompleks quvvati qiymati:

$$S_{to'g'} = 3U_{to'g'} I_{to'g'} = 3U_{to'g'} (I_1 e^{j\varphi} + jI_2 e^{j\varphi_2}) / \sqrt{3} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2,$$

ya'ni tortuvchi nimstantsiyaning yuqori kuchlanish (YuK) shinalarida simmetrik kuchlanish bo'lganda uch fazali liniya yuklamasida to'g'ri ketma-ketlik quvvati shu liniyadagi simmetrik va nosimmetrik iste'molchilarning ular fazalar bo'yicha taqsimlanganligini hisobga olinmagan holdagi quvvatlari yig'indisiga teng. Bu yuklamalar tarkibiga kontakt tarmog'idagi, mahalliy taqsimlash tarmog'idagi va tortuvchi nimstantsiya transformatorlaridagi quvvat isroflarini ham kiritish lozim. Elektr tortishning yuklamalari nossimmetrikligi teskari ketma-ketlik tokining yuzaga kelishida nomoyon bo'ladi:

$$I_{tes} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) = \frac{1}{3\sqrt{3}}(I_1 + 2I_2 + a^2 I_1 - a^2 I_2 - 2aI_1 -$$

$$-aI_2) = (-aI_1 + I_2) / \sqrt{3} = (I_1 e^{j(-120^\circ - \varphi_1)} + I_2 e^{-j\varphi_2}) / \sqrt{3}$$

bunda $-aI_1 = e^{-j180^\circ} e^{j120^\circ} I_1 e^{j(-60^\circ - \varphi_1)} = I_1 e^{j(-120^\circ - \varphi_1)}$

Quyida ikki xususiy holni ko'ramiz.

1. Qaralayotgan tortuvchi nimstansiyadan ta'minlanuvchi kontakt tarmoq bo'laklari yuklamalari bir xil:

$$I_1 e^{j\varphi_1} = I_2 e^{-j\varphi_1} = I_T e^{-j\varphi_1}$$

Ifodalar (9.5) va (9.6) ga ko'ra nimstansiya yuklamalarining to'g'ri va teskari ketma-ketliklari toklari:

$$I_{to'g'} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_T e^{-j\varphi_T}; \quad I_{tes} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_T e^{-j\varphi_T}.$$

Bundan ko'rinib turibdiki, teskari ketma-ketlik toki to'g'ri ketma-ketlik tokining yarmiga teng ekan: $I_{tes} = 0,5 I_{to'g'}$. 2. Kontakt tarmoq bo'laklaridan biri yuklamasi nolga teng: $I_2 = 0$. U holda (9.5) va (9.6) ifodalarga ko'ra teskari ketma-ketlik toki to'g'ri ketma-ketlik tokiga teng: $I_{tes} = I_{to'g'}$.

Umumiy holda kontakt tarmoq bo'laklari yuklamalari bir xil bo'lmaganda teskari ketma-ketlik toki qiymatlari quyidagi oraliqda bo'ladi: $0,5 I_{to'g'} \leq I_{tes} \leq I_{to'g'}$.

Shunday qilib, o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiya yuklamasi nosimmetrik ekan. Toklarning nosimmetrikligi liniya simlari va transformatorning qo'shimcha qizishini keltirib chiqaradi. Bo'ylama liniya, odatda, bir nechta tortuvchi nimstansiyaning ta'minlaydi. Tortuvchi nimstansiya transformatorlarining chulg'amlarini bo'y-lama liniya fazalariga ulash sxemasini o'zgartirib tortuvchi yuklama tokini sezilarli darajada simmetriklash mumkin, bu o'z navbatida tortuvchi nimstansiya shinalarida shuningdek, elektr tarmoqlarida kuchlanish nosimmetrikligining kamaytirilishiga olib keladi. Buning uchun kam yuklangan fazalarning navbatma-navbat ulanish sxemalarini qo'llash kerak. Kontakt tarmoq bo'laklari yuklamalari teng bo'lgan chog'da tortuvchi nimstansiyalarning teskari ketma-ketlik toklari 120° ga siljigan bo'ladi va uchta nimstansiyalar toklari

yig'indisida teskari ketma-ketlik toklari bo'lmaydi. Shuning uchun qo'shni uchta nimstansiyalarning yuklamalari yig'indisi simmetrik bo'ladi. Nimstansiyaning I tip ulanish sxemasida uning B fazasi eng kam yuklangan (9.3 - rasimga qarang). Shuning uchun qo'shni nimstansiyalarda shunday ulanish sxemalarini qo'llash kerakki, bunda C va A fazalar eng kam yuklangan bo'lishi kerak.

Ma'lumki, transformator tortuvchi chulg'aming eng kam yuklangan fazasi – bu kontakt tarmoq bo'lagini bevosita ta'minlamaydigan fazasidir.

Masalan, II tip sxema bo'yicha ulangan nimstansiyada transformator ikkilamchi chulg'aming A_p va B_p qisqichlari orasidagi faza eng kam yuklangan. Bu faza bilan transformatorning B_p qisqichiga ulangan birlamchi chulg'ami magnit bog'langan. III tip sxema bo'yicha ulangan nimstansiyada C faza eng kam yuklanishi uchun qisqich B_p ni shu fazaga ulash kerak. Xuddi shunday, III tip sxema bo'yicha ulangan tortuvchi nimstansiyada qisqich B_p ni A fazaga ulash kerak. Tortuvchi nimstansiyaning II va III tip sxemalari bo'yicha (9.4) – (9.6) ifodalarga o'xshash tenglamalar yordamida bajarilgan hisoblashlar natijalari, shuningdek I tip sxemaga ko'ra ulangan nimstansiya uchun ma'lumotlar 9.1-jadvalda keltirilgan. Bu jadvalda tortuvchi nimstansiyalarning tokli yuklamalari bo'yicha bo'ylama ta'minlovchi liniya toklari hisoblangan.

9.1 - jadval

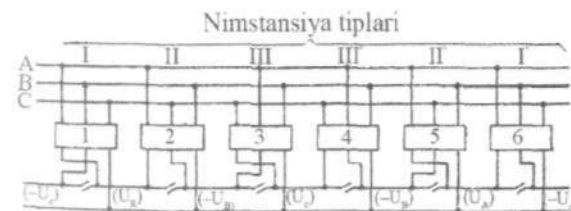
Tortuvchi nimstansiya tipi	Faza toklari			To'g'ri ketma-ketlik tokn $i_{to'g'}$	Teskari ketma-ketlik tokn i_{tes}
	$\sqrt{3}i_A$	$\sqrt{3}i_E$	$\sqrt{3}i_C$		
I	$I_1 + 2I_2$	$I_1 - I_2$	$-2I_1 - I_2$	$I_1 e^{j\varphi_2} + I_2 e^{j\varphi_1}$	$I_1 e^{-j(120^\circ - \varphi_1)} + I_2 e^{-j\varphi_2}$
II	$2I_3 + I_4$	$-I_3 - 2I_4$	$-I_3 - 2I_4$	$I_3 e^{-j\varphi_3} + I_4 e^{-j\varphi_4}$	$I_3 e^{-j\varphi_3} + I_4 e^{-j(120^\circ - \varphi_4)}$
III	$I_5 - I_6$	$-2I_5 - I_6$	$2I_5 + I_6$	$I_5 e^{-j\varphi_5} + I_6 e^{-j\varphi_6}$	$I_5 e^{j(120^\circ - \varphi_5)} + I_6 e^{j(120^\circ - \varphi_6)}$

Elektrlashgan temir yo'llarda o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalari parallel ishlaydi, chunki ular kontakt tarmoq bilan ulangan bo'ladi. Shuning uchun ikki qo'shni tortuvchi nimstansiyalarning mos liniya kuchlanishlari teng bo'lishi va faza bo'yicha farq qilmasligi kerak. Ba'zi hollarda bunga tortuvchi nimstansiyalardan kontakt tarmoq bo'laklariga boruvchi fiderlarni ayqashtirish bilan ham erishiladi.

9.3 - rasmda qavs ichida transformatorning birlamchi tomonidagi faza kuchlanishlari parallel ishlayotgan ikki tortuvchi nimstansiya transformatorlari tortuvchi chulg'amlarining liniya kuchlanishlari fazasi bilan taqqoslangan holda ko'rsatilgan.

Tortuvchi nimstansiyalarning 25kV kuchlanishga mo'ljallangan taqsimlash qurilmalarini bir tipda yasash uchun (bu loyihalash va montaj ishlarini osonlashtiradi) transformator tortuvchi chulg'aming C_p qisqichini doimiy holda relslar bilan ulanadi.

Elektr ta'minoti ishonchligiga ko'ra elektr tortish birinchi toifa yuklamalarga kiradi. Shuning uchun tortuvchi nimstansiyalar qoidaga ko'ra elektr stansiyalar yoki energotizimning katta quvvatli rayon nimstansiyalaridan ikki tomonlama ta'minlangan bo'lishi kerak. Tortuvchi nimstansiyalar bir tomondan ta'minlanganda elektr uzatish liniyasi ikki zanjirli bo'lishi kerak. Agar qaralayotgan bo'lakda bo'ylama liniya yuqori kuchlanishi (YuK) bir xil quvvatli oltita nimstansiyaning ta'minlayotgan bo'lsa, uch fazali bo'ylama ta'minlash manbai yuklamasi deyarli simmetrik bo'ladi (9.5 - rasimga qarang).



9.5 - rasm. Bo'ylama uch fazali liniyadan ikki tomonlama ta'minlangan oltita tortuvchi nimstansiyalarning ulanish sxemasi.

Bunda nimstansiya 4 ning fazalarga ulanishini III tip bo'yicha amalga oshiriladi, ammo tortuvchi tarmoqqa ulanish boshqacha

bajariladi, ya'ni nimstansiya 4 da fiderlar ayqashtirilmaydi bu esa nimstansiyalar 3 va 4 orasidagi bo'lakda ularni ayni bir ta'minlovchi faza (U_c) ga ulash imkonini beradi.

Shuningdek, tortuvchi nimstansiyalar 5 va 6 da ham ularning fazalanishi mos holda II va I tip bajarilishi va fiderlarning tortuvchi tarmoqqa ulanishi o'zgartirilishi kerak. Agar nimstansiyalar soni 4 ta yoki 5 ta bo'lsa, toklarning simmetrikligini ta'minlash mutlaqo mumkin emas. Aslini olganda tortuvchi nimstansiyalar iste'mol qiluvchi quvvatlar har doim ham bir xil bo'lavermaydi. Quvvat vaqt bo'yicha o'zgarib turadi va juda kam hollardagina biri biriga teng bo'ladi. Shuning uchun hattoki uchta yoki oltita tortuvchi nimstansiya bo'lganda ham tok simmetrikligiga to'liq erishilmaydi; bu holda o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi elektr tizim tarmoqlari fazalari bo'yicha notekis yuklangan bo'ladi.

9.3. Bo'ylama elektr ta'minoti liniyalarini elektr hisoblash.

Bo'ylama elektr ta'minoti liniyalarini elektr hisoblashni to'rtta nimstansiyaning ikki tomonlama ta'minlash sxemasi namunasida (9.6-a rasm) ko'ramiz. Ikki chetdagi a va e (tayanch) nimstansiyalarning har biri ikki parallel liniyalar bo'yicha energotizim rayon nimstansiyalarning 110 yoki 220 kV kuchlanishli shinalaridan ta'minlanadi.

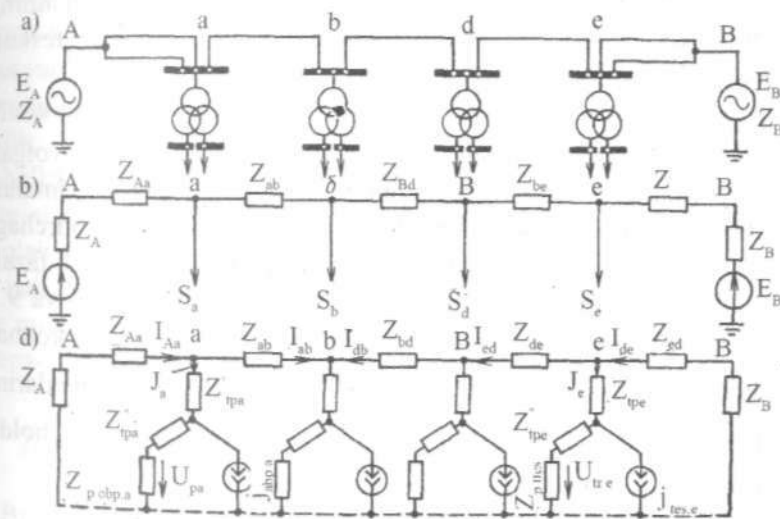
Tortuvchi nimstansiyalarning ta'minlash sxemalaridagi tok va kuchlanishlarni aniqlash uchun ikkita hisobiy almashtirish sxemasini tuzamiz: to'g'ri va teskari ketma-ketliklar (9.6-b va d - rasm). To'g'ri ketma-ketlik sxemasida ta'minlash punktlari simmetrik o'zgarimas kuchlanish (e.yu.k.) E_A va E_B lar va ekvivalent qarshilik Z_A va Z_B lar orqali ko'rsatilgan.

To'g'ri ketma-ketlik sxemasini (9.6-b rasm) hisoblash faza yuklamalari bir tekis bo'lgandagi ta'minlash tarmog'ini odatdagi hisoblashdan hech biri farq qilmaydi. Avval nimstansiyalar ulangan nuqtalardagi hisobiy yuklamalar S_a, S_b, S_d, S_e aniqlanishi kerak. Ular kontakt va taqsimlash (mahalliy) tarmoqlardagi quvvat isrofini o'z ichiga olgan tortuvchi va rayon iste'molchilar yuklamalaridan

iborat. Shuningdek, tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi quvvat isrofi va yuqori kuchlanish liniyalari tabiiy sig'imi reaktiv quvvatini ham hisobga olinadi.

To'g'ri ketma-ketlik sxemasida tortuvchi yuklama fazalar bo'yicha birmuncha tekis taqsimlangan. Ta'minlovchi tarmoqni hisoblash chog'ida bajariladigan barcha hisoblashlar yuklamalar (toklar emas) quvvat ko'rinishida hisobga olingan holda bajariladi.

Teskari ketma-ketlik sxemasida (9.6-d rasm) uch fazali liniyalar qarshiliklari bilan mos tushadi. Generatorlar va elektr yuritgichlar (mahalliy tarmoq yuklamalari) ning teskari ketma-ketlik qarshiliklari to'g'ri ketma-ketlik qarshiliklaridan sezilarli darajada farq qiladi.



9.6 - rasm. Bo'ylama liniya (a) va uning to'g'ri (b) va teskari (d) ketma-ketliklar toklari uchun almashtirish sxemasi

Asinxron yuritgichning teskari ketma-ketlik reaktiv qarshiligi uning to'g'ri ketma-ketlik reaktiv qarshiligining 0,2–0,35 ulushini tashkil etadi. Aktiv qarshilik uchun bu nisbat taxminan 0,1 ga teng. To'g'ri va teskari toklarga yoritish, to'g'rilash qurilmalari va elektr pechlarning uch fazali yuklamalari qarshiliklari bir xil.

Taxminiy hisoblashlarda, odatda, mahalliy tarmoqlar yuklamalarining teskari ketma-ketlik to'liq qarshiligi sof reaktiv deb qabul qilinadi, uning nisbiy kattaligi $x^*=0.35$ ga teng, omlardagi qiymati quyidagicha:

$$X_{tes} = 0,35 U_{nom}^2 / S_p, \quad (9.7)$$

bunda U_{nom} – nominal kuchlanish; S_p – yaqin atrofdagi yuklamalarning to'liq quvvati.

Teskari ketma-ketlik sxemasida (9.6-d rasmga qarang) ta'minlash manbalari E.Yu.K. lari yo'q, chunki ular simmetrik va teskari ketma-ketlik tashkil etuvchilariga ega emas. Elektr tortishning nosimmetrik yuklamasi manbaning bunday sxemasida teskari ketma-ketlik tokini yuzaga keltiradi.

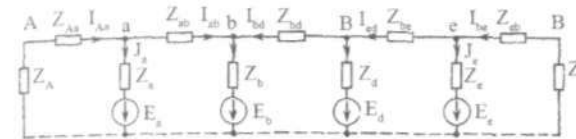
Ko'rilayotgan tortuvchi yuklamaning teskari ketma-ketlik toki $I_{tes,k}$ (bunda K – nimstansiya raqami) kattaligi qaralayotgan nimstansiya dan ta'minlanuvchi kontakt tarmoq bo'laklari yuklamlari nisbatiga bog'liq. Teskari ketma-ketlik tokining siljish burchagi tortuvchi nimstansiyalarning transformatorlarini bo'ylama uch fazali liniyaga va kontakt tarmog'iga ulash usullariga (9.3 - rasm va 9.1 - jadvalga qarang) bog'liq. 9.6-d rasmdagi sxemada teskari ketma-ketlik tok va kuchlanishlarini topish uchun tok $I_{tes,k}$ manbalarini va ularni shuntlovchi qarshiliklar $Z_{rk} = Z_{trk} + Z_{res,k}$ ni mos holda qarshiliklar Z_{rk} ga ketma-ket ulangan ekvivalent e.yu.k lar:

$$E_k = I_{tes,k} Z_{r,k} \quad (9.8)$$

bilan almashtirish tavsiya etiladi. U holda ekvivalent e.yu.k lar E_k bilan to'liq qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'ladi (9.7 - rasm):

$$Z_k = Z_{trk} + Z_{r,k} \quad (9.9)$$

9.7- rasmda keltirilgan teskari ketma-ketlikning o'zgartirilgan sxemasini hisoblashni tugun kuchlanishlar usuli bilan bajarish tavsiya etiladi.



9.7- rasm. Teskari ketma-ketlik toklari uchun o'zgartirilgan almashtirish sxemasi.

Toklar uchun qabul qilingan musbat yo'nalishlarda teskari ketma-ketlik kuchlanishlari manfiy bo'ladi va tok bo'linish nuqtasi b ga yaqinlashgan sari (9.6-d rasmga qarang) orta boradi. Tortuvchi nimstansiyalarining rayon yuklamalari shinalaridagi teskari ketma-ketlik kuchlanishlari muhim ahamiyatga ega; bu kuchlanish mahalliy tarmoqlar yordamida tortuvchi nimstansiyalar shinalaridan ta'minlanuvchi korxonalar elektr yuritgichlarining ishlash shartlarini aniqlab beradi. Bu kattalik nimstansiya b shinalarida eng katta bo'ladi. Generatorlar, transformatorlar, liniyalar va elektr energiya iste'molchilari fazalari yuklamasini sxemadagi to'g'ri va teskari ketma-ketliklar toklarini bilgan holda aniqlash mumkin:

$$I_a = I_{to'g} + I_{tes}; \quad I_b = a^2 I_{to'g} + a I_{tes}; \quad I_c = a I_{to'g} + a^2 I_{tes}.$$

Bundan tashqari, toklar nosimmetrik koeffitsientlari kompleks qiymatini topish mumkin:

$$\alpha_a = I_{tes} / I_{to'g} \quad (9.10)$$

Kuchlanishlar:

$$U_a = U_{to'g} + U_{tes}; \quad U_b = a^2 U_{to'g} + a U_{tes}; \quad U_c = a U_{to'g} + a^2 U_{tes}.$$

Kuchlanishlar nosimmetriklik koeffitsiyenti:

$$\alpha_c = U_{tes} / U_{to'g'}. \quad (9.11)$$

Nosimmetrik toklar va kuchlanishlar elektr tizimining alohida elementlari ishiga qanday ta'sir etishini ko'raylik. Generatorlarning yuklamasi nosimmetrikligi qizishning ortishiga va uning alohida qismlarining titrashi kuchayishiga olib keladi.

ГОСТ183-74 ga binoan turbo va gidrogeneratorlar fazalaridagi toklar farqi faza nominal toklaridan 10% ga kam bo'lgan holda uzoq muddatli ishlashga ruxsat etiladi. Shu bilan birga biror bir fazadagi tok nominal qiymatdan katta bo'lmashligi kerak.

Elektr tortish yuklamasi, odatda, energetik tizim umumiy yuklamasining katta bo'lmagan qismini tashkil etadi; tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi liniyalarga ulash usullari turlicha va toklarni simmetriklash imkonini beradi. Shuning uchun elektr stansiyalar generatorlarida toklar nosimmetrikligi, odatda, chegaraviy qiymatlariga yetmadi. Elektrlashgan temir yo'l bo'ylama liniyalari ta'minlovchi katta quvvatli energotizim transformatorlari ham xuddi shunday sharoitlarda ishlaydi.

Tortuvchi nimstansiyalar transformatorlarining birlamchi chulg'am toklari nosimmetrikligi juda katta, shuning uchun bu transformatorlarning quvvatini fazalar yuklamalarining bir xil emasligini hisobga olgan holda tanlanadi.

Mahalliy tarmoqlar yuklamalari qisqichlarida yuzaga keluvchi teskari ketma-ketlik kuchlanishi yoritish va boshqa bir fazali iste'molchilarda kuchlanishlar notekisligini keltirib chiqaradi va ayniqsa asinxron yuritgichlar ishiga salbiy ta'sir etadi.

Asinxron yuritgichlarning teskari ketma-ketlik tokiga qarshiligi to'g'ri ketma-ketlik tokiga qarshiligidan bir necha marta kichik bo'lganligi tufayli, teskari ketma-ketlik toki I_{tes} kuchlanishning uncha katta bo'lmagan nosimmetrikligida ham juda sezilarli qiymatga ega bo'ladi. Yuritgich chulg'amining to'g'ri va teskari ketma-ketlik toklari fazalari bo'yicha mos keluvchi qismlarida chulg'am

haddan tashqari qizib ketadi va natijada yuritgichning xizmat qilish muddatini qisqartiradi. Teskari ketma-ketlik toki shuningdek, qarama-qarshi aylantiruvchi momentni ham yuzaga keltiradi. Ammo elektr yuritgich maksimal momentning kamayishi bunday hollarda uning ishlash sharoitiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Barcha iste'molchilar uchun kuchlanish nosimmetrikligining 2% gacha bo'lishi uzoq ruxsat etilgan kattalik hisoblanadi. Agar kuchlanish og'ishi va garmonikalari chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlardan kichik bo'lsa, asinxron yuritgichlar uchun bu ko'rsatkich orttirilishi mumkin.

Nosimmetrik tortuvchi yuklamani ta'minlovchi bo'ylama liniya uchta fazalaridagi bir xil emas. Shuningdek, o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalari transformatorlarning toklari ham nosimmetrik bo'ladi. Bunday hollarda quvvat isrofini simmetrik tashkil etuvchilar usulini qo'llagan holda oddiy hisoblash mumkin.

Nolinchi ketma-ketlik toklari bo'lmagan holda nosimmetrik yuklamali liniya simlaridagi quvvat isrofi to'g'ri va teskari ketma-ketlik sxemalaridagi isroflar yig'indisiga teng:

$$\begin{aligned} \Delta S &= \Delta P + j\Delta Q = (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2)(R + jX) = \\ &= 3I_{to'g'}^2(R + jX) + 3I_{tes}^2(R + jX) = \Delta S_{to'g'} + \Delta S_{tes}. \end{aligned} \quad (9.12)$$

Bu (9.12) formula tortuvchi nimstansiya transformatorlari chulg'amlaridagi quvvat isrofini ham hisoblash uchun yaroqli.

Elektr hisoblashlar natijasi bo'yicha tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi va liniyaning barcha bo'laklaridagi to'g'ri $I_{to'g'}$ va teskari I_{tes} ketma-ketlik toklari ma'lum. Demak, elektr ta'minoti tizimida quvvat isrofini hisoblash mumkin.

Agar elektr hisoblash maksimal yuklamalar rejimi uchun bajarilgan bo'lsa, aktiv energiyaning yillik isrofi $\Delta W_{a,yil} = \Delta P_{max} \tau$ (bunda τ — maksimal isroflar vaqti) ga teng.

Tortuvchi nimstansiyalarni bo'ylama liniyalarga uchta turli sxemalar yordamida ulashni amalga oshirish orqali tortuvchi yuklamani simmetriklash bo'ylama liniyada teskari ketma-ketlik toklarining

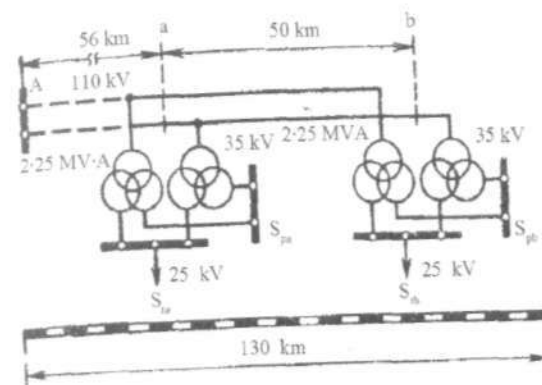
kamayishiga, va demak, elektr energiya isrofi pasayishiga imkon beradi. Tortuvchi yuklama tarkibida yuqori garmonikalar mavjudligi liniya simlaridagi quvvat isrofini bir muncha oshiradi va uni tok egri chizig'ining buzilishi koeffitsienti yordamida hisobga olish mumkin:

$$K_i = \frac{I_{(1)}}{I},$$

bunda $I_{(1)}$ – asosiy tok garmonikasi (50Hz) ning ta'sir etuvchi qiymati; I – nosinusoidal tokning ta'sir etuvchi qiymati.

Liniyada o'zgaruvchan tok elektrovozi bo'lgan chog'da tokning buzilishi koeffitsienti sezilarli darajada birdan farq qiladi, jumladan tortuvchi tok tarkibi eng katta qiymatga uchinchi garmonika ega bo'lib, u taxminan asosiy tokning 19–24% ni tashkil etadi. Barcha yuqori garmonikalar hisobga olinganda tortuvchi yuklamaning toki buzilishi koeffitsienti $K_i = 0,97$ bo'lib, u mos holda liniyadagi quvvat isrofining 6% ga ortishiga olib keladi. Tortuvchi nimstansiyalarni ta'minlovchi bo'ylama liniyalarining boshqa iste'molchilarga ham elektr energiya berishini va bu iste'molchilar tok egri chizig'ining buzmasligini hisobga olsak, u holda liniyadagi quvvat isrofi ko'rsatilgan qiymatdan kichik bo'ladi deb hisoblash bo'ladi.

9.1-namuna. Ikki nimstansiyaning ta'minlovchi kuchlanishi 110 kV bo'lgan bo'ylama liniyaning to'g'ri ketma-ketlik sxemasi (9.8-rasm) hisobiy yuklamasini aniqlang. Liniyaning barcha uzunligi ikki zanjirli ko'rinishda AC-95 simlardan iborat. Har 1 km masofada solishtirma tortuvchi yuklama 300 kW/km ($\cos\varphi_t=0,8$) ga teng. Har bir nimstansiyaning rayon yuklamalari quvvati $P=6$ t ($\cos\varphi_p=0,85$). Tortuvchi nimstansiyalarda har birining quvvati 25 MV·A bo'lgan ikkitadan uch chulg'amli transformatorlar o'rnatilgan. Transformatorlar chulg'amli bir xil quvvat (100%) ga ega.



9.8-rasm. Namuna 9.1 ga doir hisoblash sxemasi

Kontakt tarmoq bo'laklarining tortuvchi yuklamasi quvvatin solishtirma yuklama qiymatini temir yo'l liniyasiga yaqin bo'lab uzunligiga qaytarib aniqlaymiz. Masofaning birinchi bo'lagi yarin A- a bevosita A punktdan ta'minlanishini hisobga olgan holda, nimstansiyaning tortuvchi yuklamasini topamiz:

$$\underline{S}_{t,a} = (28 + 25)0,3(1 + j0,75) = 15,9 + j11,9 = 19,8e^{j36^{\circ}50'} \text{ MB} \cdot \text{A}.$$

Nimstansiya a dagi rayon yuklamasi $\underline{S}_{pa}$ ni hisobga olgan hold quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{t,a} + \underline{S}_{pa} &= 15,9 + j11,8 + 6,0(1 + j0,621) = 21,9 + j15,6 = \\ &= 26,9e^{j35^{\circ}10'} \text{ MB} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

Nimstansiya transformatorlarining tortuvchi yuklamasi:

$$\underline{S}_{t,b} = (25 + 24)0,3(1 + j0,75) = 14,7 + j11,0 = 18,4e^{j36^{\circ}50'} \text{ MB} \cdot \text{A}$$

Ayni shu nimstansiyaning barcha yuklamasi:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{t,b} + \underline{S}_{rb} &= 14,7 + j11,0 + 6,0(1 + j0,621) = 20,7 + j14,7 = \\ &= 25,4e^{j35^{\circ}20'} \text{ MB} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

Tortuvchi nimstansiya transformatorlaridagi quvvat isrofini hisoblaymiz. Nominal quvvati 25 MV·A, kuchlanishi 115/38,5/27,5 kV bo'lgan uch chulg'amli transformatorning parametrlarini ma'lumotnomadan olamiz: salt ishlash toki $I_0 = 0,9\%$; salt ishlash quvvat isroqi $\Delta P_0 = 45$ kW; qisqa tutashuv quvvat isrofi $\Delta P_k = 140$ kW; yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlari orasidagi qisqa tutashuv kuchlanishi: $U_{12} = 10,5\%$; yuqori va quyi kuchlanish chlg'amlari orasida $U_{13} = 17\%$; o'rta va quyi kuchlanish chlg'amlari orasida $U_{23} = 6\%$:

Nimstansiya A deb transformatorlar chulg'amlarining yuklanish koeffitsientlari quyidagi qiymatlarga teng:

$$\beta_1 = \frac{26,9}{2 \cdot 25} = 0,539; \quad \beta_2 = \frac{6,0}{0,85 \cdot 2 \cdot 25} = 0,141; \quad \beta_3 = \frac{19,8}{2 \cdot 25} = 0,397.$$

Nimstansiya A ning ikkala transformatorlaridagi aktiv quvvat isrofi quyidagi formulaga ko'ra aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \Delta P_{tr.a} &= 2(\Delta P_0 + \Delta P_{nom1}\beta_1^2 + \Delta P_{nom2}\beta_2^2 + \Delta P_{nom3}\beta_3^2) = \\ &= 2[\Delta P_0 + \Delta P_k(\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2)]. \end{aligned}$$

Bu formulaga ko'ra aktiv quvvat isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_{tr.a} = 2[45 + 140(0,539^2 + 0,141^2 + 0,397^2)] = 221 \text{ kW}.$$

Transformator har bir chulg'amiga to'g'ri keluvchi qisqa tutashuv kuchlanishi:

$$U_1 = 0,5(U_{12} + U_{13} - U_{23}) = 0,5(10,5 + 17,0 - 6,0) = 10,75\%,$$

$$U_2 = U_{12} - U_1 = 10,5 - 10,75 \approx -0,25 \approx 0,$$

$$U_3 = U_{13} - U_1 = 17,0 - 10,75 = 6,25\%.$$

Nimstansiya A ikkala transformatoridagi reaktiv isrofi:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{tr.a} &= 2(I_0 + \beta_1^2 U_1 + \beta_2^2 + U_2 + \beta_3^2 U_3)10^{-2} S_{nom} = \\ &= 2(0,9 + 0,539^2 \cdot 10,75 + 0,397^2 \cdot 6,25)10^{-2} \cdot 25 = 2,5 \text{ M var}, \end{aligned}$$

Nimstansiya B uchun huddi shu kattaliklar qiymatini topamiz:

$$\beta_1 = \frac{25,4}{2 \cdot 25} = 0,509; \quad \beta_2 = \frac{6}{0,85 \cdot 2 \cdot 25} = 0,141; \quad \beta_3 = \frac{18,4}{2 \cdot 25} = 0,368.$$

$$\Delta P_{tr.b} = 2[45 + 140(0,509^2 + 0,141^2 + 0,368^2)] = 205,4 \text{ kW};$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{tr.b} &= 2(0,9 + 0,509^2 \cdot 10,75 + 0,368^2 \cdot 6,25)10^{-2} \cdot 25 = \\ &= 2,25 \text{ M var}; \end{aligned}$$

Nimstansiya A ga yondashgan kuchlanishi 110 kV bo'lgan liniya bo'laklarining zaryadli quvvati:

$$Q_{va} = U_{nom}^2 \cdot 2Bo \frac{l_{Aa} + l_{Ab}}{2} = 110^2 \cdot 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \frac{56 + 50}{2} = 3,46 \text{ M var}$$

Nimstansiya B ga yondash bo'laklarining zaryadli quvvati:

$$Q_{vb} = 110^2 \cdot 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \frac{50}{2} = 1,60 \text{ M var}$$

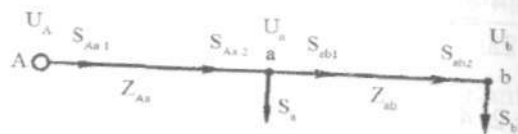
nimstansiya A ga ulanish nuqtasida hisobiy yuklama quvvati:

$$\begin{aligned} \underline{S}_a &= \underline{S}_{va} + \underline{S}_{ra} + \underline{P}_{tr.a} + jQ_{va} = 21,9 + j15,60 + 0,221 + j2,5 - j3,46 = \\ &= 22,12 + j14,64 = 26,5e^{j33^\circ 50'} \text{ MB} \cdot \text{A}. \end{aligned}$$

Nimstansiya B ga ulanish nuqtasida hisobiy yuklanishi quvvati

$$\begin{aligned} \underline{S}_b &= 20,7 + j14,7 + 0,205 + j2,25 - j1,60 = \\ &= 20,90 + j14,97 = 25,7e^{j33^\circ 36'} \text{ MB} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

9.2-namuna. Bundan oldingi namunada keltirilgan ma'lumotlar asosida 9.9 - rasmda keltirilgan hisoblash sxemasi bo'yicha kuchlanishi 110 kV bo'lgan liniyaga ikkilamchi nimstansiya ulanish nuqtasi B dagi to'g'ri ketma-ketlik kuchlanishini va bu nimstansiyaning rayon va tortuvchi yuklama va shinalaridagi kuchlanishni aniqlang.



9.9 - rasm. 9.2-Namunaga doir hisoblash sxemasi.

Liniya boshlanishidagi kuchlanish $U_A = 118 \text{ kV}$. Transformator chulg'amlari nominal kuchlanishi 115/38,5/27,5 kV. Yuqori kuchlanish chulg'amlari $\alpha_1 = -5 \%$ bo'lgan shaxobchaga, o'rta kuchlanish chulg'ami $\alpha_2 = +5 \%$ bo'lgan shaxobchaga ulangan.

Ko'rilayotgan masala ikkinchi tipdagi masala bo'lib, liniya bo'laklaridagi aktiv va reaktiv quvvatlar isrofini taxminan aniqlaymiz. Kuchlanishi 110 kV bo'lgan liniyaning ikki zanjiri birinchi bo'lagidagi to'liq qarshiligi:

$$\underline{Z}_{Aa} = 0,5(0,33 + j \cdot 0,430) \cdot 56 = 9,22 + j \cdot 12 \text{ Om};$$

ikkinchi bo'lagidagi to'liq qarshilik:

$$\underline{Z}_{Ab} = 0,5(0,33 + j \cdot 0,430) \cdot 50 = 8,25 + j \cdot 10,7 \text{ Om}.$$

bo'lak a-b dagi liniya simlaridagi quvvat isrofi:

$$\Delta S_{Ab} = \frac{S_b^2}{U_{nom}^2} \underline{Z}_{Ab} = \frac{25,7^2}{110^2} (8,25 + j \cdot 10,7) = 0,45 + j \cdot 0,58 \text{ MB} \cdot \text{A}$$

bo'lak a-b boshlanishidagi quvvat:

$$\underline{S}_{Ab1} = \underline{S}_b + \Delta \underline{S}_{Ab} = 20,90 + j \cdot 14,97 + 0,45 + j \cdot 0,58 = 21,35 + j \cdot 15,55 \text{ MB} \cdot \text{A}$$

birinchi A-a oxiridagi quvvat:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{Aa2} &= \underline{S}_{Ab1} + \Delta \underline{S}_a = 21,35 + j \cdot 15,55 + 22,12 + j \cdot 14,64 = \\ &= 43,47 + j \cdot 30,19 \text{ MB} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

birinchi bo'lak A-a dagi liniya simlaridagi quvvat isrofi:

$$\underline{S}_{Aa} = \frac{43,47^2 + 30,19^2}{110^2} (9,22 + j \cdot 12,0) = 1,92 + j \cdot 2,5 \text{ MB} \cdot \text{A}$$

ta'minlash punkti A dan olinuvchi quvvat:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{Aa1} &= \underline{S}_{Aa2} + \Delta \underline{S}_{Aa} = 43,47 + j \cdot 30,19 + 1,92 + j \cdot 2,5 = \\ &= 45,5 + j \cdot 32,7 \text{ MB} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

liniya boshlanishidagi kuchlanish $U_A = 118 \text{ kV}$ ekanligin hisobga olib, nuqta a dagi kuchlanishni aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \underline{U}_a &= \underline{U}_A - \frac{\underline{S}_{Aa1} \underline{Z}_{Aa}}{U_A} = 118 - \frac{(45,5 - j \cdot 32,7)(9,22 + j \cdot 12,0)}{118} = \\ &= 111,5 - j \cdot 2,06 = 111,2 e^{-j1^\circ 00'} \text{ kV}. \end{aligned}$$

Ikkinchi nimstansiyaning ulanish nuqtasi b dagi kuchlanishi:

$$\begin{aligned} \underline{U}_b &= \underline{U}_a - \frac{\underline{S}_{Ab} \underline{Z}_{Ab}}{U_a} = 111,5 - j \cdot 2,06 - \frac{(21,35 - j \cdot 15,55)(8,25 + j \cdot 10,7)}{111,5 + j \cdot 2,06} = \\ &= 108,0 - j \cdot 2,89 = 108,0 e^{-j1^\circ 30'} \text{ kV}. \end{aligned}$$

Tortuvchi nimstansiyalarda o'rnatishga mo'ljallangan quvvat 25 MV·A bo'lgan uch chulg'amli transformatorning parametrlari 9.1-namunada keltirilgan.

Uch chulg'amli transformator fazasi almashtirish sxemasidagi yulduzning nolinci nuqtasidagi keltirilgan kuchlanish:

$$U_0 = 108,0 - j \cdot 2,89 - \frac{(20,9 - j \cdot 4,97)(0,74 + j \cdot 28,5)}{108,0 + j \cdot 2,89} =$$

$$= 103,8 - j \cdot 8,36 = 103,8e^{-j \cdot 4^\circ 30'} \text{ kV}.$$

Rayon yuklamasining 35 kV kuchlanishli shinasidagi keltirilgan kuchlanish:

$$U_2 = 103,8 - j \cdot 8,36 - \frac{(6,0 - j \cdot 3,7) \cdot 0,74}{103,8 + j \cdot 8,36} =$$

$$= 103,3 - j \cdot 8,39 = 103,3e^{-j \cdot 4^\circ 40'} \text{ kV}.$$

Transformatsiya koeffitsientini hisobga olib, ya'ni $K_{12} = 115 \cdot 0,95 / (38,5 \cdot 1,05) = 2,70$ orqali 35 kV li shinadagi kuchlanishni topamiz: $U_2 = U_2 / K_{12} = 103,2 / 2,70 = 38,4 \text{ kV}$.

Tortuvchi nimstansiyaning 25 kV li shinalaridagi keltirilgan kuchlanish:

$$U_3 = 103,8 - j \cdot 8,36 - \frac{(14,7 - j \cdot 11,0) \cdot (0,74 + j \cdot 16,6)}{103,8 + j \cdot 8,36} =$$

$$= 101,9 - j \cdot 10,63 = 102,4e^{-j \cdot 5^\circ 57'} \text{ kV}.$$

Transformatsiya koeffitsienti:

$$K_{13} = 115 \cdot 0,95 / 27,5 = 3,97.$$

Tortuvchi yuklamaning 25 kV li shinalaridagi kuchlanish:

$$U_3 = U_3 / K_{13} = 102,4 / 3,97 = 25,8 \text{ kV}.$$

9.4. Kuchlanishi 25 kV o'zgaruvchan tok tortuvchi tarmoqlarning ish rejimlari.

O'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyalarning pasaytiruvchi transformatorlari yuklama ostida kuchlanishni rostlash qurilmasi (RPN)dan iborat bo'lib, uning vazifasi yuklamaning sutkalik yoki mavsumli tebranishlariga bog'liq holda tortuvchi nimstansiyaning kuchlanishi 25 KVli shinasidagi zarur kuchlanishni ta'minlashga mo'ljallangan. Shuning uchun kuchlanishi 25 kV li tortuvchi tarmoqlarni elektr hisoblashni, o'rta va past kuchlanishli taqsimlash tarmoqlarining rejimlarini hisoblash chog'ida qabul qilinganidek, yuqori kuchlanish (110 va 220 kV) li ta'minlovchi tarmoqlarga bog'liq bo'lmagan holda amalga oshirish mumkin. Ammo yuklama ostida kuchlanishni rostlash qurilmasi tortuvchi yuklamaning qisqa vaqtli, lekin tez - tez o'zgarishlarga mos ishlay olmaydi. Bu esa tortuvchi nimstantsiya almashtirish sxemasining tashqi qarshiligidagi kuchlanish isrofi ko'rinishida hisobga olinadi. Bunda tortuvchi tarmoqning qaralayotgan bo'lagi qatorida unga ikki tomondan qo'shni bo'lgan yuklamalar o'zgarishlari ham hisobga olinadi.

Elektr tarmoqlarni hisoblash chog'ida $\pm 10\%$ xatolikka ruxsat etiladi, shuning uchun bunday usul to'liq qoniqtiradi. Shuni ta'kidlash kerakki, odatda, tortuvchi yuklamalar $\pm 15\%$ xatolik bilan aniqlanadi.

Yuklama I_2 ni (9.30-a rasmga qarang) ta'minlovchi tortuvchi nimstantsiya shinalaridagi kuchlanish U_{as} ni topamiz. Formula (9.3) ni hisobga olgan holda salt ishlash, ya'ni tortuvchi yuklama bo'lmagan chog'dagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{as}x = U_{as} - Z, \quad I_{as} = U_{as} + Z, \quad (2I_2 + I_1)/3,$$

bunda Z_1 - nominal kuchlanish (25 kV) ga keltirilgan nimstansiyaning elektr tizimi va transformatorlari qarshiligini inobatga olgan, 1 turdagi tortuvchi nimstansiyaning tashqi xarakteristikasiga mos keluvchi qarshilik. Elektr tizimning A fazasi kuchlanishiga mos keluvchi kuchlanish U_{asx} ni haqiqiy qiymatlar

o'qi bo'ylab yo'naltiraylik. U holda:

$$U_{ac} = U_{acx} - \frac{2}{3} Z_1 (I_2 e^{-j\varphi_2} + \frac{1}{2} I_1 e^{j(-60-\varphi)}), \quad (9.13)$$

bunda φ_1, φ_2 - tortuvchi yuklama toklarining siljish burchagi. Ekvivalent tok kattaligi deb quyidagi ifodaga aytiladi:

$$I_{e2} = I_2 e^{-j\varphi_2} + \frac{1}{2} I_1 e^{j(-60-\varphi)}. \quad (9.14)$$

Tok I_1 faza bo'yicha orqada qoluvchi - U_c kuchlanish tufayli yuzaga keladi. Tortuvchi yuklama I_1 ning ta'minlanish shartini ko'raylik. Tortuvchi nimstansiya shinalaridagi kuchlanish U_{vsx} salt ishlash chog'ida, ya'ni $I_1=0, I_2=0$ bo'lganda yuqorida keltirilgan - U_c kuchlanishga mos keladi. Shuning uchun:

$$U_{vsx} = -U_c = U_{vs} + Z_1 I_{sv} = U_{vs} + Z_1 (2I_1 + I_2)/3.$$

Vektor - U_s, U_{vsx} ni haqiqiy qiymatlar o'qi bo'ylab yo'naltirish uchun bu tenglikni e^{j60} ga ko'paytirish kerak. Natijada kuchlanishlar va toklar fazalari o'zgargan yangi ifodalarini olamiz:

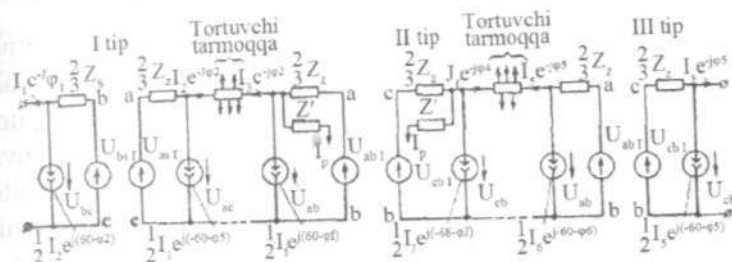
$$U_{vs} = U_{vsx} - \frac{2}{3} Z_1 (I_1 e^{-j\varphi} + \frac{1}{2} I_2 e^{j(60-\varphi)}) = U_{vsx} - \frac{2}{3} Z_1 I_{e1} \quad (9.15)$$

bunda

$$I_{e1} = I_1 e^{-j\varphi} + \frac{1}{2} I_2 e^{j(60-\varphi)}.$$

Tok I_{e2} faza bo'yicha ilgari bo'lgan U_A kuchlanish tufayli yuzaga keladi. Tenglik (9.13) va (9.15.) larga muvofiq hisoblash sxemalarida tortuvchi nimstansiya ikkita aktiv ikki qutbli ko'rinishda (9.10-rasm) tasvirlangan bo'lib, ularning E.Yu.K. lari mos holda salt ishlash kuchlanishlari U_{asx} va U_{vsx} ga teng, kirish qarshiliklari bir xil va tortuvchi nimstansiya tashqi qarshiligining $\frac{2}{3}$ ulushiga teng. Umumiy uch fazali transformatoridan ta'minlanuvchi qo'shni bo'laklar

yuklamalari qaralayotgan nimstansiyaning qo'shni shinalari tortuvchi yuklamalarining $\frac{1}{2}$ qismiga teng bo'lgan tok manbai sifatida hisobga olingan. Agar hisoblash sxemasida yuklamalar qaralayotgan bo'lak ta'minlovchi uch fazali tizimning ilgari ketuvchi fazasiga mos keluvchi transformator chulg'amidan ta'minlanayotgan bo'lsa, $60^\circ - \varphi_2$ burchak bilan yoki orqada qoluvchi fazadan ta'minlanayotgan bo'lsa, $-60^\circ - \varphi_1$ burchak bilan hisobga olinadi.



9.10 - rasm. I, II va III tip tortuvchi nimstansiyalaridan ta'minlanuvchi bo'laklarni hisoblash sxemasi.

Xuddi shunday II va III turdagi nimstansiyalar uchun hisoblash sxemalari 9.10-rasmida keltirilgan. Tortuvchi transformatorning uchinchi chulg'amidan ta'minlanuvchi rayon (mahalliy) yuklamalar toklari, odatda, uncha katta emas. Hisoblash sxemasida ularning ta'sirlarini II tur nimstansiya sxemasiga keltirilganidek qo'shimcha shoxcha ko'rinishida inobatga olinadi. Rayon yuklama toki I_p qarshiligi quyidagicha bo'lgan shoxcha orqali o'tadi:

$$Z' = Z_{II} / 3 + Z_p$$

bunda Z_{II} - II turdagi tortuvchi nimstansiyaning tashqi xarakteristikasiga mos keluvchi qarshilik; Z_p - rayon yuklamasini ta'minlovchi chulg'am qarshiligi. Shunday qilib, tortuvchi tarmoqning har bir bo'lagini mustaqil hisoblashni tortuvchi nimstansiyalarning elektr tizimidan ta'minlanish shartlarini va tortuvchi tarmoqning qo'shni bo'laklari toklari ta'sirini nazarda tutilgan holda amalga oshirish mumkin; bu hisoblash, odatda, EHM yordamida bajariladi.

Elektrovoz tok qabul qilgichlaridagi ruxsat etilgan maksimal kuchlanish $U_{\max} = 29 \text{ kV}$. Shuning uchun salt ishlash chog'ida, ya'ni tortuvchi tarmoqda yuklamalar bo'lmaganda, tortuvchi nimstansiya shinalaridagi kuchlanish ushbu qiymatdan katta bo'lmash kerak. Tortuvchi tarmoqning o'tkazish qobiliyatini to'laroq amalga oshirish uchun salt ishlash kuchlanishi qiymatini shu chegaraviy kuchlanishga yaqin, ya'ni $U_{bs.x} \approx U_{as.x} \approx U_{\max}$ qilib olish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Shunday qilib, tortuvchi nimstansiya transformatorlarning qayta ulovchi qurilmalarini tortuvchi yuklamalar qisqa vaqtli tebranishlari hisobga olinmagan holda tortuvchi tarmoqning optimal rejimiga mos keluvchi holatiga o'rnatiladi. Ana shu holatda olinuvchi kuchlanish, odatda, tortuvchi tarmoqdan foydalanish sharoitida aynan shu qiymatda ushlab turiladi. Tortuvchi nimstansiyaning ekvivalent qarshiligi $Z = R_e + jX_e$ qanday aniqlashini ko'raylik.

Bu masala ikki variantda bo'lishi mumkin. Temir yo'lning elektrlashtirishning dastlabki loyihasida bu kattalik qaralayotgan tortuvchi nimstansiyaning 27,5 kV kuchlanishli shinalaridagi simmetrik uch fazali qisqa tutashuv qarshiligiga teng deb qabul qilinishi lozim. Agar ishlab turgan 25 kV kuchlanishli tortuvchi tarmoqni kuchaytirish loyihasi ishlab chiqilayotgan bo'lsa, tashqi qarshilik moduli tortuvchi nimstansiyaning qaralayotgan shinalaridagi kuchlanishlar va ta'minlovchi yelkalar toklarini o'lchash natijalari asosida olinishi mumkin.

Kuchlanishi 110 kV va 220 kV bo'lgan liniyalarning aktiv R_l va reaktiv X_l qarshiliklari orasidagi nisbat: $R_l / X_l \approx 0,4 \div 0,7$. Katta quvvatli transformatorlarda $R_{tr} / X_{tr} \approx 0,1$. Tortuvchi nimstansiyaning ekvivalent qarshiligi uchun taxminan deb qabul $R_e / X_e \approx 0,3$ qilish mumkin:

bunda

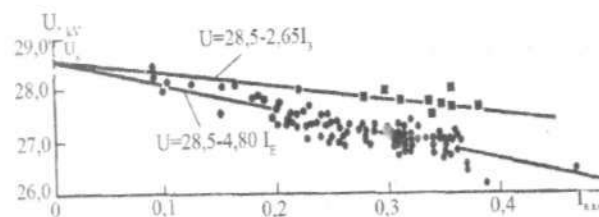
$$R_e = Z_e \cos \alpha = 0,28 Z_e, \quad (9.16)$$

$$X_e = Z_e \sin \alpha = 0,958 Z_e, \quad (9.17)$$

bunda

$$\alpha = \arctg R_e / X_e = 73^\circ 20'.$$

Nazariy jihatdan kuchlanishi 25 kV li o'zgaruvchan tok tortuvchi nimstansiyaning tashqi xarakteristikasini qurish uchun tortuvchi nimstansiyaning ikki xil ish rejimlarida aniq o'lchashlarni bajarish yetarli bo'ladi. Ammo o'lchash ma'lum xatolik bilan amalga oshirilishini hisobga olsak, ma'lum vaqt oralatib o'lchashlar sonini oshirish talab etiladi.



9.11 - rasm. Tortuvchi nimstansiya tashqi xarakteristikasi.

O'lchashlar natijasiga ko'ra tortuvchi nimstansiya tashqi xarakteristikasi (salt ishlash kuchlanishi U_x va ekvivalent qarshilik) ni topish na'munasi bitta transformator ishlagan (aylanalarda ko'rsatilgan) va ikki transformator parallel ishlagan (kvadratlarda ko'rsatilgan) hollar uchun 9.11 - rasmda ko'rsatilgan.

Nazorat sovellari

1. Elektrlashgan temir yo'l tortuvchi yuklamalarining elektr ta'minoti qanday amalga oshiriladi?
2. Tortuvchi nimstansiya qanday sinflarga ko'ra sinflanadi?
3. Elektr tortishni o'zgaras va o'zgaruvchan toklarda amalga oshirishning xususiyatlari nimada?
4. Tortuvchi nimstansiyalarning ishlash shartlarini tushuntirib bering.
5. Bo'yлама uch fazali linyada ikki tomonlama ta'minlangan tortuvchi nimstansiya ulanish sxemasini chizing.
6. Ikki sim-reis zanjiri qanday hisoblandi?

X. TEMIR YO'LNING TORTUVCHI BO'LMAGAN ISTE'MOLCHILARINI ELEKTR ENERGIYA BILAN TA'MINLASH UCHUN UZATUV LINIYALARI

10.1. Tortuvchi bo'lmagan iste'molchilarning yuklamalari

Temir yo'l bo'ylab, odatda, katta miqdorda temir yo'lning liniya va rayon elektr energiya iste'molchilari, ya'ni tortuvchi bo'lmagan deb ataluvchi iste'molchilari joylashgan. Rayon elektr energiya iste'molchilariga temir yo'l yaqinidagi qishloq xo'jalik hududlari, unchalik katta bo'lmagan shaharlar, posyolkalar va kichik sanoat korxonalarining yuklamalari kiradi.

Temir yo'l liniya iste'molchilari statsionar va ko'chuvchan turlarda bo'ladi. Ko'chmas (statsionar) iste'molchilarga lokomotiv va vagon ta'mirlash zavodlarining kuch va yoritish qurilmalari, depodagi qurilmalar, temir yo'l stansiyalarining yo'lovchilar va xizmat binolari hududlarini yoritish tarmoqlari, avtoajratkich, aloqa, xizmat ko'rsatish, o'tish joylari, maishiy binolar va hokazolardagi yoritish qurilmalari kiradi. Ko'chuvchan iste'molchilarga temir yo'lda ta'mirlash ishlarini bajarish uchun ma'lum masofalarga ko'chiriluvchi elektr jihozlar va mexanizmlar kiradi.

Yirik temir yo'l bekatlarida joylashgan tortuvchi bo'lmagan iste'molchilar (masalan, posyolka, zavod va depolar)ning elektr ta'minoti, odatda, energotizimning o'sha joydagi nimstansiyasidan, tortuvchi nimstansiyadan yoki temir yo'l issiqlik elektr stansiyasidan ta'minlanadi. Temir yo'l transportida ishlab chiqarish jarayonlari to'liq elektrlashtirilayotganligi sababli statsionar va ko'chuvchan liniya iste'molchilarini ta'minlash uchun bo'ylama elektr uzatish liniyalari keng qo'llanilmoqda. Temir yo'l atrofida joylashgan va liniya bo'ylab taqsimlangan yuklamalarni elektr energiya bilan ta'minlash uchun kuchlanishi 6, 10, 25 va 35 kV bo'lgan uchta simli

uch fazali tok liniyalari va kuchlanishi 25 kV bo'lgan, uchinchi sim o'rnida relslardan foydalanuvchi «ikki sim - rels» (ISR) tizimidagi liniyalar qo'llaniladi.

Uchta simli uch fazali liniyalarni elektr hisoblash taqsimlovchi tarmoq liniyalarini hisoblashdan farq qilmaydi. ISR liniyalarining ishlash shartlari keskin farq qiladi. Fazalarning bir jinsli emasligi, kontakt sim va relsdagi tortuvchi toklarning elektromagnit ta'sirlari sezilarli bo'lishi, toklarning relslar va qisman yer bo'yicha qaytish sharti ISR liniyalarining elektr hisoblarini ancha murakkablashtiradi.

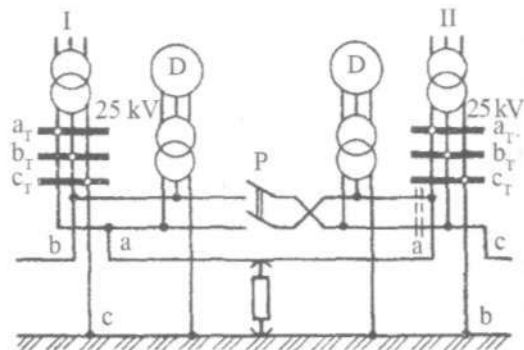
10.2. «Ikki sim - rels» tizimi parametrlari

Aniqlik uchun faraz qilaylik, ISR liniyasi «a» va «b» fazalardan ta'minlanayotgan bo'lsin, «c» faza relslarga ulangan (10.1 - rasm). Yuklama simmetrik $I_c = -I_a - I_b$ bo'lgan chog'da ISR liniyasini sim-yer ko'rinishidagi ikkita bir simli liniya deb qarash mumkin. Bunda tok faqatgina yer orqali emas, qisman rels orqali ham orqaga qaytadi.

«Ikki sim - rels» liniyalari uchun, odatda, konsol ta'minlanish sxemasi qo'llaniladi, ya'ni ular tortuvchi uchastkalarining o'rtalarida uzilgan bo'ladi. Bunga sabab, agar ISR liniyalari berk bo'ladigan bo'lsa, qo'shimcha muvozanatlovchi toklar vujudga keladi, bu esa yo'l qo'yib bo'lmaydigan hol, chunki bu liniyalarining simlari kichik kesim yuzalariga ega. Agar halokatli sharoitlarda tortuvchi uchastkaning butun uzunligi bo'ylab ISR liniyalarini bir tomonlama ta'minlanish zarurati paydo bo'lgan taqdirda, asinxron yuritgichlar aylanish yo'nalishlarini o'zgartirmaslik uchun ISR liniyalarining qismlari ulangan joyda ikki fazani qayta ulagich P dan foydalaniladi.

ISR liniyalarini elektr hisoblashni bajarish uchun uning ikki asosiy parametrlarini, ya'ni tokning faqatgina yer bo'yicha emas, temir yo'l relslari bo'yicha ham qaytgan chog'idagi fazaning to'la qarshiligi Z^f va xuddi shu shartlarga ko'ra ikki faza orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshiligi Z^{f-f} ni hisoblashni bilish zarur. Undan tashqari, tortuvchi tarmoq va ISR liniyalari fazalari orasidagi o'zaro

induksiya to'liq qarshiligi Z^{f-f} ni ham aniqlash lozim.



10.1-rasm. Kontakt tarmoq va ISR liniyalari bo'laklarining ta'minlanish sxemasi.

Hisoblash boshida temir yo'l izi relslarini elektr toki o'tkazgichi sifatida qaraymiz. Sirt effekti natijasida relsning aktiv qarshiligi uning Omlardagi qarshiligidan tok qiymatiga bog'liq holda 5 - 10 marta ortib ketadi (10.1 - jadval). Relslarda ichki magnit oqim kuchli bo'lganligi uchun uning ichki induktiv qarshiligi nisbatan katta bo'ladi.

10.1 - jadval

Rels turi	Chastota 50 Hz, relsdagi tok qiymati turli, A, bo'lganda rels qarshiligi, Om/km.			
	0	100	200	300
Aktiv qarshilik R_p				
R75	0,14	0,15	0,19	0,22
R65	0,15	0,16	0,20	0,24
R50	0,17	0,18	0,23	0,28
R43	0,19	0,21	0,27	0,33
Ichki induktiv qarshilik X				
R75	0,10	0,11	0,14	0,17
R65	0,11	0,12	0,15	0,18
R50	0,13	0,14	0,17	0,21
R43	0,14	0,16	0,20	0,25

Chastotasi 50 Hz bo'lgan o'zgaruvchan tokka rels-yer tizimining birlik iz uzunligi uchun to'liq qarshiligi hisoblashlarda quyidagicha olinadi:

$$\underline{Z}_{r-z} = R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_e + x').$$

Bunda r_e —relsning ekvivalent radiusi bo'lib, P75, P65, P50, P43 turidagi relslar uchun mos holda 11,9; 11,1; 9,9; 8,9 sm ga teng.

Temir yo'l izlari relslari o'zaro elektr bog'lanishga ega. Undan tashqari bu relslar o'z induksiya magnit oqimlari bilan ham bog'langan. O'ta yuqori kuchlanish liniyalari tolalangan fazalari simlari ham ayni shunday sharoitda bo'ladi. Tolalangan fazali liniya parametrlarini hisoblanganidek, temir yo'l izi ikki relsini ekvivalent radiusi r' bo'lgan o'tkazgich bilan almashtirib, tolalangan fazaning ekvivalent radiusini topish formulasiga ko'ra quyidagiga ega bo'lamiz:

$$r_e = \sqrt[n]{r_{sim} \alpha_{12} \dots \alpha_{1p}}. \quad (10.1)$$

Bunda n —tolalangan fazadagi o'tkazgichlarning soni, r —o'tkazgich radiusi; $\alpha_{12} \dots \alpha_{1n}$ — tolalangan faza o'tkazgichlari orasidagi masofalar. (10.1) formulagaga ko'ra ikki relsni bitta o'tkazgichga almashtirib quyidagini hosil qilamiz:

$$r_{e1} = \sqrt{r_e d_1}, \quad (10.2)$$

bunda d_1 —temir yo'l izlari relslari orasidagi masofa.

Bir izli temir yo'l uchun relslar – yer tizimining to'la qarshiligi:

$$\underline{Z}_{r-z1} = 0,5 R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_e + 0,5 x'). \quad (10.3)$$

Agar o'zaro elektrik bog'langan ikkita parallel izlar bo'lgan chog'da almashtiruvchi o'tkazgichning ekvivalent radiusi:

$$r_{e2} = \sqrt{r_{e1} d_2} = \sqrt[4]{r_e d_1 d_2^2}, \quad (10.4)$$

bunda d_2 – ikki temir yo‘l izlari orasidagi masofa.
Ikki izli temir yo‘l uchun relslar – yer tizimining to‘la qarshiligi:

$$\underline{Z}_{r-z2} = 0,25R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_e + 0,25x^*) \cdot (10.5)$$

ISR liniyasining to‘liq faza qarshiligi $\underline{Z}_f$ ni aniqlaylik. O‘tkazgich – yer konturidagi tok I_f rels – yer konturida o‘zaro induksiya e.yu.k. E_M ni vujudga keltiradi. Bu e.yu.k. qiymatini hisoblash uchun ISR liniya simi – yer va rels – yer konturlari orasidagi o‘zaro induksiya to‘liq qarshiligi $\underline{Z}_{d-r}$ ni bilish lozim. Buning uchun ikkita o‘tkazgich– yer tizimi simlari o‘zaro induksiya to‘liq qarshiligidan foydalanamiz:

$$\underline{Z}_{om} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D \cdot$$

Shu formulaga ko‘ra:

$$\underline{Z}_{d-r} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D_{d-r} \quad (10.6)$$

bunda D^{d-r} – ISR liniya simlari va ekvivalent rels orasidagi o‘rtacha masofa. ISR liniyasi a va d fazalari simlaridan temir yo‘l izlariga joylashtirilishi lozim bo‘lgan ekvivalent relslargacha bo‘lgan masofalar biri – biridan juda kam farq qiladi (10.2 - rasm). Shuning uchun unchalik katta bo‘lmagan xatolik bilan bu masofalarni bir xil deb hisoblash bo‘ladi:

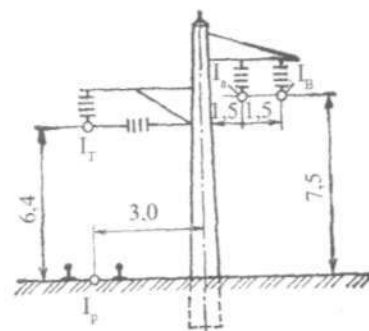
$$I_{ra} = -E_m / \underline{Z}_{r-z} = I_a \underline{Z}_{d-r} / \underline{Z}_{r-z} \cdot$$

Temir yo‘l izlari relslaridagi toklar vujudga keltirgan o‘zaro induksiya e.yu.k. ni hisobga olgan holda ISR liniyasi faza simidagi kuchlanish pasayishni topamiz:

$$\Delta U_a = I_a \underline{Z}_{r-z} - I_{ra} \underline{Z}_{d-r} = I_a (\underline{Z}_{pr-z} - \underline{Z}_{d-r}^2 / \underline{Z}_{r-z}) \cdot$$

Shunga ko‘ra ISR liniyasi fazasining to‘la qarshiligi tokning yer bo‘ylab qaytishini hisobga olgan holda quyidagiga teng:

$$\underline{Z}_f = \underline{Z}_{pr-z} - \underline{Z}_{d-r}^2 / \underline{Z}_{r-z} \quad (10.7)$$



10.2 – rasm. “Ikki sim – rels” liniyasi

Relslar - yer konturida hosil bo‘luvchi o‘zaro induksiya e.yu.k.: $E_m = -I_a D_{d-r}$. Bu e.yu.k. relslarda hosil qilgan tok.

Bu tenglikdagi relslar- yer konturining to‘la qarshiligi $\underline{Z}_{r-z}$ (10.3) yoki (10.5) formula bo‘yicha aniqlanadi. Sim – yer tizimining to‘la qarshiligini esa quyidagi formula bilan topish mumkin:

$$\underline{Z}_{0pr-z} = R_r + 0,05 + j(0,145 \lg D_e / r_{pr} + 0,016).$$

Tok faqatgina ekvivalent chuqurligi D_e bo‘lgan yer bo‘ylab qaytmasdan qisman relslar bo‘ylab ham qaytgani uchun tok sirtmog‘ining kengligi kamayadi. Shuning uchun yerdagi to‘la qarshiligi $\underline{Z}_f$ ning induktiv tashkil etuvchisi yer – sim tizimining induktiv qarshiligiga nisbatan kam bo‘ladi. Tokning rels bo‘yicha qisman qaytishini hisobga olgan holda ISR liniyasi ikki fazasi o‘zaro induksiya to‘la qarshiligi $\underline{Z}_{f-f}$ ni aniqlash uchun bitta (masalan, a) faza simidagi kuchlanish pasayishini boshqa (masalan, b) fazada tok bo‘lgan holda topamiz:

$$\Delta U_m = I_b \underline{Z}_{d-d} - I_{br} \underline{Z}_{d-r} = I_b (\underline{Z}_{d-d} - \underline{Z}_{d-r}^2 / \underline{Z}_{r-z}),$$

bunda $\underline{Z}_{d-d}$ - ISR yer simlarining ikki konturi o‘zaro induksiya

to'la qarshiligi bo'lib, quyidagi formulaga binoan aniqlanadi:

$$\underline{Z}_{om} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D.$$

Tokning relslari bo'ylab va qisman yer bo'yicha qaytishini hisobga olgan holda ISR liniyasi fazalari orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshilik:

$$\underline{Z}_{f-f} = \underline{Z}_{d-d} - \underline{Z}_{d-r}^2 / \underline{Z}_{r-r}. \quad (10.8)$$

Tortuvchi tok ISR liniyalarida o'zaro induksiya e.yu.k.ni vujudga keltiradi. Bu e.yu.k. ISR liniya simlarida kuchlanish isrofini o'zgartirib, sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi, natijada uch fazali kuchlanish tizimida nosimmetriklik vujudga keladi. Tortuvchi yuklama toki ISR liniya simlaridagi tok kabi relslar va qisman yer orqali qaytadi.

Shuning uchun kontakt simi va ISR liniya fazasi orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshiligi tokning rels bo'yicha va qisman yer bo'ylab qaytishini hisobga olgan holda (10.8) formulaga ko'ra ifodalanadi:

$$\underline{Z}_{t-f} = \underline{Z}_{t-d} - \underline{Z}_{p-r} \cdot \underline{Z}_{d-r} / \underline{Z}_{r-r}. \quad (10.9)$$

Bunda $\underline{Z}_{t-d}$ - kontakt simi - yer va ISR simi - yer konturlari orasidagi o'z induksiya to'la qarshiligi:

$$\underline{Z}_{t-d} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D_{t-d}, \quad (10.10)$$

D_{d-d} - kontakt simi va ISR liniya simlari orasidagi o'rtacha masofa. Kontakt sim - yer va rels - yer konturlari orasidagi o'zaro induksiya to'la qarshiligi.

$$\underline{Z}_{t-r} = 0,05 + j0,145 \lg D_e / D_{t-r}. \quad (10.11)$$

Bunda D_{t-r} - kontakt simi va ekvivalent rels o'rtasidagi masofa.

10.3. „Ikki sim-rels“ liniyalarini elektr hisoblash

O'zgaruvchan tok elektrovozlari bir fazali qilib bajarilganligi uchun elektr tortish yuklamasi nosimmetrik bo'lib, bu esa tortuvchi nim stansiya transformatorlarida va uni ta'minlovchi yuqori kuchlanishli tarmoqda turlicha kuchlanish isrofini vujudga keltiradi. Shuning uchun ISR liniyasi boshidayoq tortuvchi nimstansiyaning 25 kV li shinalaridagi kuchlanish nosimmetrik bo'ladi. ISR liniyalaridagi yuklama simmetrik, chunki bir fazali elektr energiya iste'molchilari ulangan holda ham fazalardagi quvvatlar bir tekis taqsimlanishi choralari ko'riladi. Ammo bu yuklama ISR liniyasining fazalarida bir xil bo'lmagan kuchlanish pasayishlarini keltirib chiqaradi.

Faraz qilaylik, uzunligi l_d bo'lgan ISR liniyasi uning boshlanishidan mos holda l_k masofalarda joylashgan bir nechta uch fazali tortuvchi bo'lmagan yuklamalarni ta'minlaydi. ISR liniyasi mo'ljallangan yuklama toki qiymati:

$$I_{a(b)} = (\sum_k I_k I_k) / l_d.$$

Qaralayotgan bo'lakdagi tortuvchi yuklama toki qiymati:

$$I_t = (\sum_p I_{tp} I_{tp}) / l_d.$$

ISR liniya simi - yer (relslar hisobga olinganda) konturida kuchlanish pasayishi uchta qo'shiluvchidan iborat: birinchisi qaralayotgan konturda $I_{a(b)}$ tok hosil qilgan, ikkinchisi - tok $I_{b(a)}$ yuzaga keltirgan boshqa faza konturi bilan o'zaro induksiya hosil qilgan, uchinchisi - tortuvchi yuklama toki I_0 tufayli kontakt tarmoq - yer (rels) konturida hosil bo'lgan o'zaro induksiya keltirib chiqaradigan kuchlanish pasayishi.

Ma'lumki, odatda uchburchak ulangan tortuvchi transformatorning 35 kV li chulg'amining S_{tr} qisqichi yerga (relslarga) ulanadi. Bunga I turdagi nimstansiyalarda «c» faza, II - III turdagi nimstansiyalarda esa - «v» faza mos keladi. Nimstansiyalarning I (a), II (b), III (v) turlariga mos keluvchi toklar va kuchlanishlarning

vektor diagrammalari 10.3 - rasmda ko'rsatilgan.

ISR liniyalarining I turdagi nimstansiyalardan ta'minlanish shartlarini ko'raylik. ISR tizimida liniya kuchlanishlari pasayishi:

$$\Delta U_{as} = I_d (Z_f I_{ad} + Z_{f-f} I_{vd} + Z_{t-f} I_t), \quad (10.12)$$

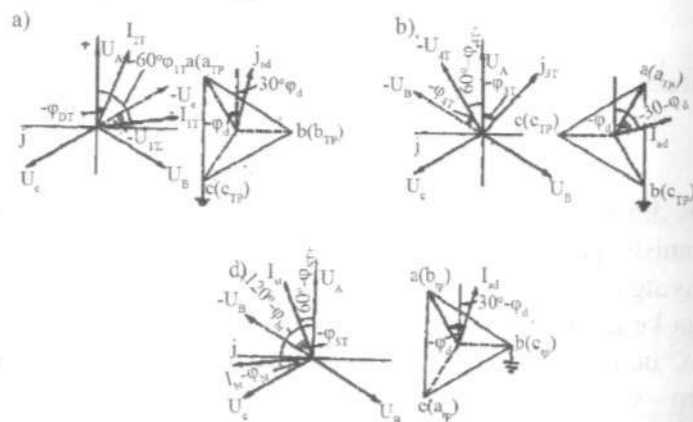
$$\Delta U_{vs} = I_d (Z_f I_{vd} + Z_{f-f} I_{ad} + Z_{t-f} I_t) \quad (10.13)$$

bunda 9.3-a rasmda binoan:

$$I_{ad} = I_d \cdot e^{j(30^\circ - \varphi_d)};$$

$$I_{vd} = a^2 I_{ad} = I_d \cdot e^{j(90^\circ - \varphi_d)};$$

$I_d \varphi_d$ - ISR liniyasidagi uch fazali yuklamaniig «a» fazasi toki moduli va siljish burchagi.



10.3 - rasm. Nimstansiyalarning I (a), II (b), III (d) turlariga mos keluvchi toklar va kuchlanishlarning vektor diagrammalari.

$\Delta U_{va} = \Delta U_{vs} - \Delta U_{as}$ - ekanligini hisobga olib, liniya kuchlanishlari pasayishlarining to'g'ri ketma-ketligini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta U_{pr} &= \frac{1}{3} (\Delta U_{as} + a \Delta U_{va} + a^2 \Delta U_{sv}) = \\ &= \frac{1}{3} [(1-a) \Delta U_{as} + (a-a^2) \cdot \Delta U_{vs}] = \frac{1}{3} [\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \Delta U_{as} + \sqrt{3} e^{j90^\circ} \Delta U_{vs}]. \end{aligned}$$

Bu formulaga (10.12) va (10.13) ifodalarni qo'yib, d

$I_b = I_a e^{-j120^\circ}$ - ekanligini hisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} \Delta U_{pr} &= \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} (Z_f \cdot I_{ad} + Z_{f-f} I_{vd} + Z_{t-f} I_t) + \\ &+ e^{-j30^\circ} (Z_f I_v + Z_{f-f} I_{ad} + Z_{t-f} I_t)] = \frac{I_d}{\sqrt{3}} [(e^{-j30^\circ} + e^{-j30^\circ}) Z_f I_{ad} + \\ &+ (e^{-j150^\circ} + e^{-j90^\circ}) \cdot Z_{f-f} I_{ad} + (e^{-j30^\circ} + e^{-j90^\circ}) Z_{t-f} I_t]; \\ \Delta U_{pr} &= \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} (2Z_f - Z_{f-f}) \cdot I_{ad} + e^{j30^\circ} Z_{t-f} I_t]. \end{aligned} \quad (10.14)$$

Liniya kuchlanishlari pasayishlarining teskari ketma-ketligi:

$$\begin{aligned} \Delta U_{tesk} &= \frac{1}{3} (\Delta U_{as} + a^2 \Delta U_{va} + a \Delta U_{sv}) = \frac{1}{3} [(1-a^2) \Delta U_{as} + \\ &+ (a^2 - a) \Delta U_{vs}] = \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} (Z_f I_{ad} + Z_{f-f} I_{vd} + Z_{t-f} I_t) + \\ &+ e^{-j90^\circ} (Z_f I_{vd} + Z_{f-f} I_{ad} + Z_{t-f} I_t)] = \frac{I_d}{\sqrt{3}} [(e^{-j30^\circ} + e^{-j150^\circ}) Z_f I_{ad} + \\ &+ (e^{-j90^\circ} + e^{-j90^\circ}) \cdot Z_{f-f} I_{ad} + (e^{-j30^\circ} + e^{-j90^\circ}) Z_{t-f} I_t]; \\ \Delta U_{tesk} &= \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{j90^\circ} (Z_f - 2Z_{f-f}) I_{ad} + e^{-j30^\circ} Z_{t-f} I_t] \end{aligned} \quad (10.15)$$

ISR liniyalarining II va III turdagi nimstansiyalardan ta'minlanish shartlarini ko'raylik. Bu holda 25 kV li transformatorlarning o'ramlaridagi «d» fazalari yerga ulanganligi uchun qidirilayotgan kattaliklar ham boshqacha qiymatlarni oladi. ISR liniyasidagi kuchlanish pasayishi «d» fazasining yerga ulanganligini hisobga olingan holda quyidagicha yoziladi:

$$\Delta U_{av} = I_d (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{sd} + \underline{Z}_{t-f} I_t),$$

$$\Delta U_{sv} = I_d (\underline{Z}_f I_{sv} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t).$$

Liniya kuchlanishlari pasayishlarining to'g'ri ketma - ketligi kuchlanishi:

$$\Delta U_{pr} = \frac{1}{3} (\Delta U_{av} + a \Delta U_{vs} + a^2 \Delta U_{sa}).$$

Agar $\Delta U_{sa} = -\Delta U_{vs} - a \Delta U_{av} = \Delta U_{sv} - \Delta U_{av}$ ekanligini hisobga olsak, u holda

$$\begin{aligned} \Delta U_{pr} &= \frac{1}{3} [(1-a^2) \Delta U_{av} + (-a+a^2) \Delta U_{sv}] = \frac{1}{3} [\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \Delta U_{av} + \\ &+ \sqrt{3} e^{-j90^\circ} \Delta U_{sv}] = \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} \Delta U_{av} + \sqrt{3} e^{-j90^\circ} \Delta U_{sv}] = \\ &= \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{j30^\circ} (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{sd} + \underline{Z}_{t-f} I_t) + e^{-j90^\circ} (\underline{Z}_f I_{sd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \\ &+ \underline{Z}_{t-f} I_t)] = \frac{I_d}{\sqrt{3}} [(2\underline{Z}_f - \underline{Z}_{f-f}) I_{ad} e^{j30^\circ} + \underline{Z}_{t-f} I_t e^{-j30^\circ}] \end{aligned} \quad (10.16)$$

Liniya kuchlanishlari pasayishlarining teskari ketma - ketlik kuchlanishi:

$$\begin{aligned} \Delta U_{hesk} &= \frac{1}{3} (\Delta U_{av} + a^2 \Delta U_{vs} + a \Delta U_{sa}) = \frac{1}{3} [(1-a) \Delta U_{va} + (-a+a^2) \Delta U_{sv}] \\ &= \frac{1}{3} [\sqrt{3} e^{-j30^\circ} \Delta U_{av} + \sqrt{3} e^{j90^\circ} \Delta U_{sv}] = \\ &= \frac{I_d}{\sqrt{3}} [e^{-j30^\circ} (\underline{Z}_f I_{ad} + \underline{Z}_{f-f} I_{sd} + \underline{Z}_{t-f} I_t) + e^{j90^\circ} (\underline{Z}_f I_{sd} + \underline{Z}_{f-f} I_{ad} + \underline{Z}_{t-f} I_t)] = \\ &= \frac{I_d}{\sqrt{3}} [(\underline{Z}_f - 2\underline{Z}_{f-f}) I_{ad} e^{-j90^\circ} + \underline{Z}_{t-f} I_t e^{j30^\circ}]. \end{aligned} \quad (10.17)$$

ISR liniyalarida shu liniyalar toklari va tortuvchi yuklama toklari tufayli liniya kuchlanishlari pasayishlarining simmetrik tashkil etuvchilari 10.2 - jadvalda keltirilgan. Transformatorning yerga ulangan fazasi Str va tortuvchi toklar raqamlanishi 10.3 - rasmda ko'rsatilgan va u tortish tarmog'i kuchlanishi 2x25 kV bo'lgan uchastkaning simli sxemasiga mos keladi.

(10.14)–(10.17) formulalarga kiruvchi $\underline{Z}_f$, $\underline{Z}_{f-f}$ va $\underline{Z}_{t-f}$ kattaliklar mos holda (10.7), (10.8) va (10.9) formulalarga binoan aniqlanadi. Shuni ta'kidlash lozimki, ikkita parallel iz bo'lgan holda (10.14) - (10.17) formulalarga kiruvchi oxirgi had ikkita qo'shiluvchidan iborat bo'ladi.

ISR liniyasi yuklamalari asinxron yuritgichlarining o'ramlari yeyilishini aniqlovchi ISR liniyasi oxiridagi tortuvchi yuklama liniya kuchlanishlarining nosimmetriklik koeffitsienti:

$$\alpha_i \approx \alpha_{ish} - \Delta U_{teks} / U_{nom}, \quad (10.18)$$

bunda α_{ish} - ISR liniyasini ta'minlovchi tortuvchi nimstansiya shinalaridagi liniya kuchlanishlari nosimmetriklik koeffitsienti; U_{nom} - ISR liniyasining nominal (25 kV) kuchlanishi.

To'g'ri va teskari ketma - ketliklarning liniya kuchlanishlari pasayishlarini bilgan holda, ISR liniyasi ohiridagi yuklamalar liniya kuchlanishlarining o'zgarishlarini aniqlash mumkin:

$$\Delta U_{as} = \Delta U_{pr} + \Delta U_{teks}$$

$$\Delta U_{as} = \Delta U_{pr} + \alpha^2 \Delta U_{teks} \quad \Delta U_{sv} = \Delta U_{pr} + \alpha \Delta U_{teks}$$

Shunday qilib, qidirilayotgan kattaliklar - ISR uch fazali tizimida liniya kuchlanishlari isroflarini aniqladik.

Nazorat sovellari

1. Tortuvchi bo'lmagan iste'molchilarni sanab bering
2. Tortuvchi bo'lmagan iste'molchilarni elektr energiya bilan ta'minlash qanday amalga oshiriladi?
3. „Ikki sim-rels“ tizimidagi liniya sxemasini tushuntiring.
4. „Ikki sim-rels“ tizimi qanday parametrlar bilan xarakterlandi?
5. „Ikki sim-rels“ liniyalarini elektr hisoblash qanday amalga oshiriladi?
6. Tortuvchi bo'lmagan iste'molchilarning elektr ta'minoti tizimida kuchlanish pasayish qanday yuzaga keladi

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ликин А.В. Электрические системы и сети. М. Енас, 2006,- 254с.
2. Караев Р.И., Волобровский С.Д. Электрические сети и энергосистемы. М.: Транспорт, 1988, 256 с.
3. Иделчик Л.И. Электрические сети и системы. М.: Высшая шк., 1988, 325с.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 2009. 330 с.
2. Karimov X.G. va boshq. Elektr tarmoqlari va tizimlari. O'quv qo'llanma. Toshkent, ToshDTU, 1996, 160 b.
3. Gayupov T. Sh. Elektr tarmoqlari va tizimlariga doir misol va masalalar. O'quv qo'llanma, Toshkent, ToshDTU, 2006, 160 b.

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
-------------	---

I. ELEKTR TIZIMI VA TARMOQLARI TO'G'RIKIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR.

1.1. Elektr tarmog'i va tizimlarining tuzilmasi. Asosiy tushuncha va ta'riflar.....	8
1.2. Elektr tizimi elementlarining nominal kuchlanishi. Kuchlanishni rostdash tushunchasi.....	14
1.3. Har xil kuchlanishli elektr tarmoqlarining betaraf nuqtasini ish holati.....	22
1.4. Iste'molchilar yuklamasi va yuklamalar grafigi.....	28
1.5. Elektr tarmoqlariga qo'yiladigan asosiy talablar.....	30
1.6. Elektr tarmog'ini hisoblashning asosiy turlari.....	35

II. ELEKTR UZATISH LINIYALARINING KONSTRUKTIV ELEMENTLARI

2.1. Havo elektr uzatish liniyalarining konstruktiv elementlari	38
2.2. Havo elektr uzatish liniyalarining o'tkazgichlari va troslari.....	39
2.3. Havo elektr uzatish liniyalarining tayanchlari.....	42
2.4. Havo elektr uzatish liniyalarining izolatorlari.....	47
2.5. Havo elektr uzatish liniyalarining armaturalari.....	49
2.6. Kabel liniyalarining tuzilishi.....	51

3. ELEKTR TIZIMI ELEMENTLARINING XARAKTERISTIKASI VA PARAMETRLARI

3.1. Elektr uzatish liniyalarining asosiy parametrlari va almashtirish sxemalari.....	56
3.2. Kabelli elektr uzatish liniyalarining parametrlari.....	61
3.3. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning parametrlari va almashtirish sxemalari.....	67

IV. ELEKTR TARMOQLARIDAN ENERGIYA UZATISH NAZARIYASINING ELEMENTLARI.

4.1. Elektr tarmog'i ish holatining tahlili.....	72
4.2. Elektr uzatish liniyalarida quvvat isrofi.....	73
4.3. Transformator va avtotransformatorlarda quvvat isrofi.....	77
4.4. Liniya va transformatorlarda elektr energiya isrofi.....	82
4.5. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama toki berilgandahisoblash.....	91
4.6. Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama quvvati berilganda hisoblash.....	94
4.7. Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va kuchlanish isrofi.....	98

V. OCHIQ, ODDIY VA MURAKKAB YOPIQ ELEKTR TARMOQLARINI HISOBLASH

5.1. $U_n \leq 35$ kV bo'lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar.....	102
5.2. Ochiq taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlash.....	105
5.3. Oddiy yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va kuchlanishning taqsimlanishi.....	110
5.4. Murakkab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash.....	119

VI. ELEKTR TARMOG'INING ISH HOLATLARI VA ULARNI BOSHQARISH

6.1. Elektr tarmoqlarda quvvat isrofining turlari va ularni kamaytirish tadbirlari.....	127
6.2. Reaktiv quvvat manbalari.....	129
6.3. Reaktiv quvvat balansi va uning buzilishi oqibatlar.....	132
6.4. Sistemada aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishini optimallashtirish.....	133

VII. ELEKTR ENERGIYANING SIFATI

7.1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari.....	136
7.2. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash.....	140

7.3. Elektr stansiyalarida kuchlanishni rostlash.....	142
7.4. Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash.....	144

VIII. ELEKTR TARMOQLARINI LOYIHALASH ELEMENTLARI

8.1. Texnik-iqtisodiy hisoblash asoslari.....	147
8.2. Asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar.....	150
8.3. Elektr tarmoq variantlarini solishtirish.....	153
8.4. Nominal kuchlanishni tanlash.....	156
8.5. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash.....	159
8.6. Liniya o'tkazgichining kesim yuzasini kuchlanishning ruxsatlangan isrofi bo'yicha tanlash.....	167
8.7. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini qizish darajasi bo'yicha tanlash.....	171

IX. ELEKTRLASHGAN TEMIR YO'LLAR TORTUVCHI YUKLAMALARNING ELEKTR TA'MINOTI

9.1. O'zgarmas va o'zgaruvchan toklarda elektr tortishni ta'minlash xususiyatlari.....	179
9.2. Yuqori kuchlanish bo'ylama liniyasining tortuvchi yuklamasi.....	182
9.3. Bo'ylama elektr ta'minoti liniyalarini elektr hisoblash.....	190
9.4. Kuchlanishi 25 kV o'zgaruvchan tok tortuvchi tarmoqlarning ish rejimlari.....	203

X. TEMIR YO'LNING TORTUVCHI BO'LMAGAN ISTE'MOLCHILARINI ELEKTR ENERGIYA BILAN TA'MINLASH UCHUN UZATUV LINIYALARI

10.1. Tortuvchi bo'lmagan istemolchilarning yuklamalari.....	208
10.2. «Ikki sim - rels» tizimi parametrlari.....	209
10.3. „Ikki sim-rels“ liniyalarini elektr hisoblash.....	215
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	220

15760 S

Abdurauf Malikovich Safarov
To'lg'in Shernazarovich G'oyibov
Absaid Xurramovich Sulliyev

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma

«TAFAKKUR BO'STONI»—Toshkent—2013

Muharrir **X.Po'latxo'jayev**
Rassom **B.O'rinova**
Sahifalovchi **Z. Shukurxo'jayev**
Musahhih **B.Tuyoqov**

Nashriyot litsenziyasi AI № 190, 10.05.2011-y

Bosishga 02.10.2013-yilda ruxsat etildi.

Qog'oz bichimi 60×84 1/16. Nashr tabog'i 14,5. Shartli bosma
taboq 14,0. Adadi 500

Buyurtma №58

«TAFAKKUR BO'STONI» nashriyoti.
Toshkent sh. Yunusobod tumani, 9–13.

«TAFAKKUR BO'STONI» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent sh. Chilonzor ko'chasi, 1-uy