

31.279  
G'59

T.SH. G'OYIBOV

# ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI



FBP 14

31.279  
G'59

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

O'RTA MAXSUS VA KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

T. Sh. G'OYIBOV

**ELEKTR TARMOQLARI VA  
TIZIMLARI**

*Kasb-hunar kollejlari uchun darslik*

273663

„VORIS-NASHRIYOT“  
TOSHKENT — 2010

QIROATKOLA

„FARHOD“ MS  
KUTUBXONASI

31.279  
G99

### **T a q r i z c h i l a r :**

Toshkent irrigatsiya va melioratsiya instituti „Gidromeliorativ tizimlarni elektr energiyasi bilan ta'minlash va ularning elektr jihozlaridan foydalanish“ kafedrasini mudiri, texnika fanlari nomzodi, dotsent **A. S. Berdishev**

Toshkent davlat texnika universiteti „Elektr ta'minoti“ kafedrasini mudiri, texnika fanlari nomzodi, dotsent  
**A. D. Taslimov**

Ushbu kitobda elektr uzatish liniyalarining konstruktiv tuzilishi, elektr tarmoq elementlarining sxemalari va parametrlari haqida ma'lumotlar berilgan; elektr tarmoqlarini hisoblash nazariyasi va havodagi elektr uzatish liniyalarini mexanik hisoblash asoslari keltirilgan; turli kuchlanishli elektr tarmoqlarini loyihalash, bu tarmoqlarning energetika tizimi tarkibidagi ish holatlari hamda ularda rostlash va boshqarish bilan bog'liq bo'lgan masalalar bayon etilgan.

Kitob kasb-hunar kollejlari uchun „3520200 Elektroenergetika“ ta'lim yo'nalishi negizidagi mutaxassisliklari talabalari uchun darslik hisoblanadi. Shuningdek, u oliy ta'lim muassasalarining elektr energetikasi sohasida mutaxassislashmagan ta'lim yo'nalishlari talabalari tomonidan ham o'quv qo'llanma sifatida foydalanilishi mumkin. Bundan tashqari, kitob elektr tarmoqlarini loyihalash va ishlatish sohalarida faoliyat ko'rsatuvchi muhandis-texnik xodimlar uchun ham foydali bo'ladi.

---

## KIRISH

Insoniyat jamiyati va uning yutuqlari, taraqqiyoti bevosita ishlab chiqarish darajasi va kishilar hayoti uchun zarur moddiy sharoitlarni yaratish bilan bog'liqdir. Ilmiy-texnikaviy va ijtimoiy taraqqiyot odatda iste'mol qilinuvchi energiyaning ortishi, energiyaning yangi — yanada samarali turlaridan foydalanishni o'zlashtirish bilan hamohangdir.

Hozirgi zamon mashinalarida iste'mol qilinuvchi energiya juda ko'p miqdorni tashkil etadi. Buni quyidagi taqqoslash asosida ifodalashimiz mumkin. Jahonning barcha ishga yaroqli aholisi bir yil davomida har sutkada 8 soat to'liq jismoniy kuch bilan ishlagan taqdirda ham hozirgi zamon issiqlik va gidroelektr stansiyalarida ishlab chiqariluvchi energiyaning yuzdan biri miqdoridagi energiyani ishlab chiqara olmaydi. Energiyani iste'mol qilish bundan keyin ham ishlab chiqarish darajasining o'sishini ta'minlagan holda oshib boradi. Yuqori darajadagi texnik taraqqiyot va u bugungi kunda crishgan yutuqlarni sifat jihatidan yangi turdagi energiyadan, xususan, elektr energiyasidan foydalanmasdan ta'minlab bo'lmas edi. Elektr energiyasi hozirgi davrda insoniyat taraqqiyotida keng foydalanilmoqda. U sanoatda va qishloq xo'jaligida turli mexanizmlarni harakatga keltirishda, bevosita texnologik jarayonlarda, transportda va madaniy-maishiy hayotda keng qo'llaniladi. Zamonaviy aloqa vositalari — telefon, telegraf, radio, televideniye kabilarning ishlashi ham elektr energiyasidan foydalanishga asoslangan. Elektr energiyasiz kibernetika, hisoblash texnikasi, kosmik texnika kabilarni rivojlantirish mumkin bo'lmas edi. Elektr energiyasining asosiy samarali xususiyati shundan iboratki, u uzoq masofaga oson uzatilishi va nisbatan sodda va kam isrof bilan boshqa turdagi energiyalarga o'zgartirilishi mumkin. Elektr energiyasi hozirgi davrda insonlar tomonidan eng ko'p foydalaniladigan energiya turidir.

Yuqoridagi sabablarga ko'ra elektr energetikasining taraqqiyotiga butun jahonda, shu jumladan bizning mamlakatimizda juda katta e'tibor qaratilgan.

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

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

O'zbekiston energetikasi taraqqiyotida Turkiston o'lkasini elektrlashtirish rejasining tuzilishi katta ahamiyat kasb etdi. 1923-yili Toshkent shahri chekkasidan o'tuvchi Bo'zsuv kanalida gidroelektr stansiyasi (GES) qurilishi boshlandi. 1926-yilli 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 rayon 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 GESining ishga tushirilishi bilan bir vaqtning o'zida Respublikada birinchi bo'lib undan Toshkent shahriga elektr energiyasini uzatuvchi 35 kV kuchlanishli ikki zanjirli liniya foydalanishga topshirildi.

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

Ikkinchi jahon urushi yillarida Toshkent shahri atrofini bog'lovchi 35 kV kuchlanishli halqasimon havo liniyasi qurib bitkazildi, shimoliy sanoat rayonini elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun katta quvvatli „Severnaya“ podstansiyasi qurildi.

1943-yili Sirdaryo daryosida qurila boshlagan 125 ming kW quvvatli Farhod 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., harorati 545°C) ishlovchi 300 ming kW quvvatli energetika bloki ishga tushirildi. Hozirgi paytda Sirdaryo DRES da 10 ta shunday quvvatli bloklar ishlamoqda.

Hozirgi paytga kelib o'rnatilgan uskunalarning quvvatlarining yig'indisi 11,0 mln. kW bo'lgan 37 issiqlik va suv elektr stansiyalarini o'z ichiga olgan O'zbekiston energetika tizimi asosini yirik elektr stansiyalari, shu jumladan, Sirdaryo (3,0 mln. kW), Toshkent (1,86 mln. kW), Yangi Angren (1,8 mln. kW) va Navoiy (1,25 mln. kW) issiqlik elektr stansiyalari tashkil etadi. Bu elektr stansiyalarida birlik quvvati 150—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 Tollimarjon 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 Hojickent GESlari asosan quvvat balansini rostlovchi stansiyalar sifatida faoliyat ko'rsatadi. qolgan GESlarning ish holatlari esa havzadan oqib o'tuvchi 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 asosiy 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, shundan 500 kV kuchlanishli liniyalar 1,8 ming km, 220 kV kuchlanishli liniyalar 4,6 ming km va 0,4—10 kV kuchlanishli liniyalar 170 ming km ni tashkil etadi.

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 qolinadi. Shuningdek, muayyan hududda elektr energiyasi 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 zahirasini kamaytirish.** Quvvatni alohida hududlardagi energetika tizimlarini tutashtiruvchi liniyalar orqali bir energetika tizimidan boshqasiga uzatish mumkinligi sababli alohida energetika tizimlaridagi zahira 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.

---

---

## 1. ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARINING TUZILMASI

### 1.1. Asosiy tushuncha va ta'riflar

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

**Elektr tarmoqlari** elektr tizimining bir qismi bo'lib, elektr energiyasini manbadan iste'molchilarga uzatish va ular orasida taqsimlash uchun xizmat qiladi. Ular elektr uzatish liniyalari, podstansiyalari 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 stansiyalaridan 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.

**Podstansiya (PS)** — elektr energiyasini o'zgartirish va taqsimlashga mo'ljallangan elektr obyekti bo'lib, u transformatorlar, taqsimlovchi uskunalar, boshqarish uskunalari va yordamchi qurilmalardan iboratdir.

PSlar kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi bo'lishi mumkin. Kuchaytiruvchi PSda elektr energiyasi past kuchlanishdan yuqori kuchlanishga o'zgartirilsa, pasaytiruvchi PSda buning aksi — u liniya orqali uzatilgan yuqori kuchlanishdan PSga ulangan taqsimlovchi tarmoqning past kuchlanishiga o'zgartiriladi. Elektr energiyasini qabul qilish va uning kuchlanishini o'zgartirmasdan taqsimlashga mo'ljallangan podstansiyalar 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 (mahalliy), ta'minlovchi (tuman) va tizimni hosil qiluvchi tarmoqlarga bo'linadi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari elektr iste'molchilarini ta'minlovchi tarmoqlarning podstansiyalari bilan tutashtirib, asosan 110 kV gacha nominal kuchlanishda ishlaydi.

Ta'minlovchi (tuman) elektr tarmoqlari taqsimlovchi elektr tarmoqlarni (ayrim hollarda, bevosita iste'molchilarni) elektr stansiyalari yoki tizimni hosil qiluvchi tarmoqlar bilan tutashtirib, asosan 110 kV dan 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 1 kV gacha 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.

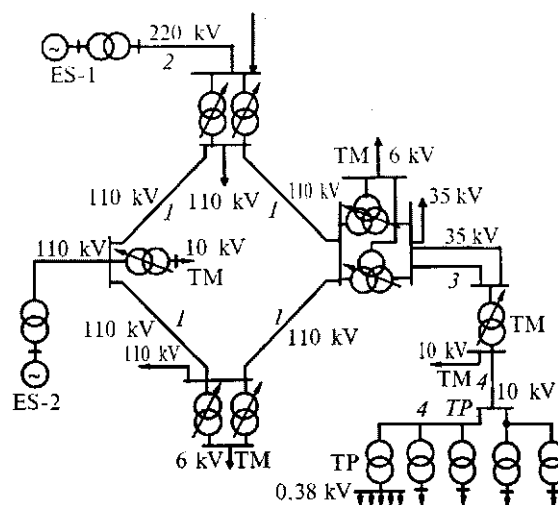
Konturga ega bo'lmagan va barcha istemolchilari faqat bir tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i *ochiq elektr tarmog'i* deb yuritiladi.

Konturga ega bo'lgan yoki konturga ega bo'lmasa-da 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 tizimi elektr tarmog'ining soddalashtirilgan prinsipial sxemasi keltirilgan.

Elektr energiyasi elektr stansiyalari (ES)dan yuklama markazlariga (1.1- rasm) bevosita ta'minlovchi (tuman) elektr tarmoqlarini tashkil etuvchi elektr uzatish liniyalari 1 va ta'minlovchi, qabul qiluvchi transformator podstansiyalari va ularni bog'lovchi elektr uzatish liniyalari 2 orqali uzatiladi. Elektr energiyasi bilan ta'minlashda ishonchlilikni oshirish maqsadida ko'pgina hollarda taqsimlovchi elektr tarmoqlari yopiq shaklda bo'ladi. Qabul qiluvchi podstansiyalar asosan kuchlanishni yuklama ostida rostlash (YOR) 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



1.1- rasm. Energetika tizimi elektr tarmog'ining prinsipial sxemasi.

punktlariga uzatilib, shu kuchlanishda elektr uskunalari orasida taqsimlanishi yoki transformator podstansiyalariga uzatilishi mumkin. Ko'rilayotgan holatda uzatilayotgan elektr energiyasi transformatorlarda past kuchlanishga o'zgartirilib, alohida iste'molchilar o'rtasida taqsimlanadi.

Elektr energiyasini TMDan TPga yoki uzunligi davomida uni taqsimlamasdan to'g'ridan to'g'ri podstansiyaga uzatuvchi elektr uzatish liniyalari 3 ta'minlovchi, uzunligi davomida bir necha transformator podstansiyalari yoki iste'molchi uskunalari ulangan elektr uzatish liniyalari 4 taqsimlovchi elektr uzatish liniyalari deb yuritiladi.

## 1.2. Turli kuchlanishli elektr tarmoqlari neytrallarining holatlari

Chulg'amlariga elektr tarmoqlari ulanuvchi uch fazali elektr uskunalarning transformatorlari neytrali yerga bevosita yoki tarmoqning sig'imiga moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali ulangan, yoki yerdan izolatsiyalangan bo'lishi mumkin.

Agar transformator chulg'amining neytrali yerga ulangan qurilmaga bevosita yoki kichik qarshilik orqali ulangan bo'lsa, bunday neytral yerga qat'iy ulangan, bu chulg'amga ulangan tarmoqlar esa yerga qat'iy ulangan neytralli tarmoqlar deb yuritiladi. Yerga ulangan qurilmaga ulanmagan yoki kuchlanish transformatori

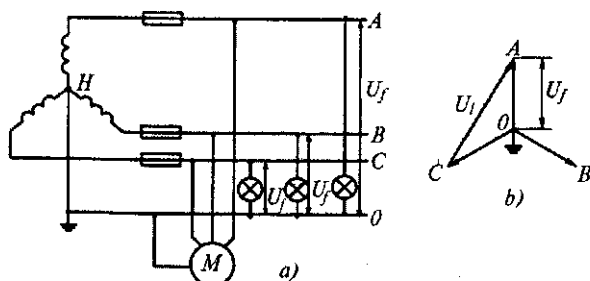
orqali ulangan neytral izolatsiyalangan neytral, neytrali bunday holatda ishlovchi tarmoqlar esa izolatsiyalangan neytralli tarmoqlar deb yuritiladi. Neytrali yerga sig'ım toklarini kompensatsiyalashga moslashtirilgan induktiv qarshilik orqali ulangan tarmoqlar kompensatsiyalangan neytralli tarmoqlar deb yuritiladi.

1000 V gacha kuchlanishli elektr tarmoqlarida neytralning holati asosan tarmoqqa xizmat ko'rsatishining xavsizligini ta'minlash, yuqori kuchlanish tarmoqlarida esa, bundan tashqari, elektr ta'minotining uzluksizligi, ishochliligi va elektr uskunalarning iqtisodiy ishlashini ta'minlash nuqtayi nazaridan belgilanadi.

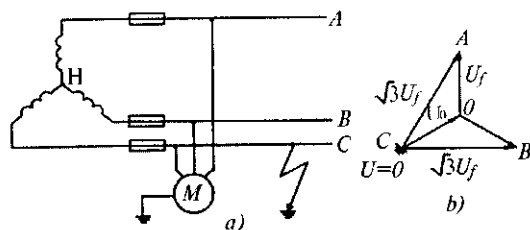
**1000 V gacha kuchlanishli elektr tarmoqlari.** Elektr uskunalarining tuzilish qoidalari (EUTQ)ga muvofiq 1000 V gacha kuchlanishli elektr uskunolari yerga qat'iy ulangan yoki yerdan izolatsiyalangan neytralli bo'lishi mumkin.

Keng doiradagi shaxslar duch keluvchi eng ko'p tarqalgan 380/220 yoki 220/127 V kuchlanishdagi to'rt o'tkazgichli uch fazali tok tarmoqlarida EUTQ neytralni qat'iy yerga ulashni talab etadi (1.2, *a*- rasm). Neytralning bunday holati tarmoqning kuchlanishini yerga nisbatan katta miqdorga ortib ketishini bartaraf etadi (1.2, *b*- rasm).

To'rt o'tkazgichli tarmoqqa ulanib, imoratlarning ichida yoki ochiq havoda joylashigan elektr uskunalarining korpuslari, taqsimlash shchitlarining metall qoplamalari, elektr apparatlarining yuritmalari va elektr uskunalarining boshqa qismlari uskunaning neytrali bilan metall bog'lanishda bo'lishi shart. Bunday bog'lanishlar havo liniyasining tayanchlarida faza o'tkazgichlari bilan yonmayon tortiluvchi nol o'tkazgich orqali amalga oshiriladi. Bunday holatda liniya har qanday fazasining korpus bilan tutashib qolishi



1.2-rasm. Yerga qat'iy ulangan neytralli to'rt o'tkazgichli uch fazali o'zgaruvchan tok elektr tarmog'i:  
*a*— sxemasi; *b*— kuchlanishlar vektor diagrammasi.



1.3- rasm. Izolatsiyalangan neytralli uch fazali o'zgaruvchan tok elektr tarmog'i: a— sxemasi; b— kuchlanishlar vektor diagrammasi.

yetarlicha katta tokli qisqa tutashuvga olib keladi, shikastlangan fazadagi saqlagich kuyadi va tarmoq to'liqsiz fazali holatda ishlashni davom ettiradi. Ish holatida bo'lgan qolgan ikkita fazada yerga nisbatan kuchlanishlar faza kuchlanishidan oshmaydi.

Izolatsiyalangan neytralli tarmoqlarda (1.3, a- rasm) fazaning yerga tutashuvi qisqa tutashuvni vujudga keltirmaydi va shikastlangan fazaning uzilishiga olib kelmaydi. Tarmoq to'liq fazali holatda ishlashni davom ettiradi, biroq bunda ikkita shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan kuchlanishlari liniya kuchlanishi darajasigacha oshadi (1.3, b- rasm). Bunday holat xodimlar uchun xavfli bo'lganligi sababli izolatsiyalangan neytralli barcha uskunalarda izolatsiya nazorati, tarmoq xodimining yerga tutashuvni aniqlash va tezda uni bartaraf etish, xavfsizlik talablari kuchaytirilgan holatlarda esa shikastlangan uchastkani tarmoqdan avtomatik uzish imkoniyatlari ta'minlangan bo'lishi shart.

**1000 V dan yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlari.** 1000 V dan yuqori kuchlanishli elektr uskunalari EUTQga muvofiq izolatsiyalangan yoki kompensatsiyalangan neytralli elektr tarmoqlarini o'z ichiga oluvchi tutashuv toki kichik ( $I_t \leq 500$  A) va yerga qat'iy ulangan neytralli tarmoqlarni o'z ichiga oluvchi tutashuv toki katta bo'lgan ( $I_t > 500$  A) uskunalarga bo'linadi.

Izolatsiyalangan neytralli elektr tarmoqlarida bir fazali tutashuv toki tarmoq fazalarining yerga nisbatan qisman sig'implari bilan belgilanib, tarmoqning kuchlanishi, tuzilishi va uzunligiga bog'liqdir. Kompensatsiyalangan neytralli tarmoqlarda yerga tutashuv toki yoy so'ndiruvchi g'altak moslangan minimal qiymatlargacha cheklanadi.

Yerga qat'iy ulangan neytralli tarmoqlarda yerga yoki uskunalarning yerga ulangan qismlariga tutashganda juda katta qisqa tutashuv toklari oqadi va shu sababli tarmoqning shikastlangan qismini

imkoni boricha qisqa vaqt davomida avtomatik uzish imkoniyatla ta'minlangan bo'lishi shart. Izolatsiyalangan yoki kompensatsiyalangan neytralli elektr tarmoqlari, aksincha, muhim afzallikka ega — ular amalda eng ko'p uchraydigan bir fazali qisqa tutashuvlarda tarmoqning shikastlangan qismini zudlik bilan uzishni talab etmaydi va faza yerga ulangan holatda iste'molchi zahira manbasiga o'tkazilmaguncha yoki u elektr tarmog'idan uzish uchun tayyorlanmaguncha bir necha soat davomida ishishi mumkin.

O'zbekiston Respublikasida hozirgi davrda 35 kV va undan past kuchlanishli elektr tarmoqlari izolatsiyalangan yoki kompensatsiyalangan neytralli, 110 kV va undan yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlari esa yerga qat'iy ulangan neytralli holatda ishlaydi.

### **1.3. Elektr uzatish liniyalarining konstruktiv elementlari**

#### **1.3.1. 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 energiyasini uzatish uchun xizmat qiladi. Tayanchlarning yuqori qismida HLni atmosfera o'ta kuchlanishlaridan himoyalash uchun troslar o'rnatiladi.

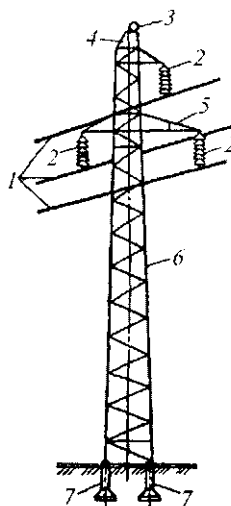
*Tayanchlar* o'tkazgichlar va troslarni yer va suv sathidan ma'lum balandlikda tutib turadi. Izolatorlar o'tkazgichlarni tayanchdan izolatsiyalaydi. Uzatish liniyasi armaturalari yordamida o'tkazgichlar izolatorlarga, izolatorlar esa tayanchlarga mahkamlanadi. Ayrim hollarda o'tkazgichlar izolatorlar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

Bir va ikki zanjirli HL amalda keng qo'llaniladi. Uch fazali HLning bitta zanjiri har xil fazalar o'tkazgichlaridan tashkil topadi. HLda ikkita zanjir bitta tayanchda joylashgan bo'lishi mumkin.

1.4- rasmda bir zanjirli HLning metall tayanchi tasvirlangan. HL konstruktiv qismlarining ishlashiga o'tkazgichlar va troslarning o'z og'irliklaridan, ularda hosil bo'luvchi muz qatlamlaridan, shamol bosimidan, shuningdek havo haroratining o'zgarishidan mexanik ta'sir ko'rsatiladi. Bundan tashqari, shamol ta'sirida o'tkazgichlarning titrashi (yuqori chastota va kichik amplitudada

1.4- rasm. Bir zanjirli HLning oraliq metall tayanchi: 1— o'tkazgichlar; 2— izolatorlar; 3— yashin qaytargich tros; 4— tros ustuni; 5— tayanchning tirsagi; 6— tayanch ustuni; 7— tayanch fundamenti.

tebranish) va silkinishi (kichik chastota va katta amplitudada tebranish) yuz berishi mumkin. Yuqorida ko'rsatilgan mexanik yuklar, titrashlar va silkinishlar o'tkazgichlarning uzilishiga, chalkashib qolishiga, tayanchlarning sinishiga, izolatsiya oraliqlarining kamayishi natijasida teshilishi yoki izolatsiya ustida yoy paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. HLning shikastlanuvchanligiga havoning ifloslanganligi ham ta'sir etadi.



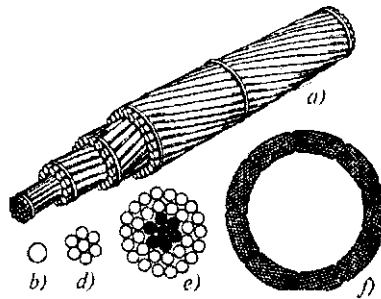
### 1.3.2. HLning o'tkazgichlari va trosarlari

HLda izolatsiyalanmagan, ya'ni izolatsion qobiqsiz o'tkazgichlar foydalaniladi. HLlarda aluminiy va po'lataluminiy o'tkazgichlardan foydalanish keng tarqalgan. Mis o'tkazgichlar hozirgi davrda maxsus texnik-iqtisodiy hisoblashlar bilan asoslanmasdan HLda foydalanilmaydi. HL o'tkazgichi sifatida po'lat simlardan foydalanish odatda tavsiya etilmaydi.

Atmosfera o'ta kuchlanishlaridan himoyalovchi trosarlari, qoidaga muvofiq, po'latdan tayyorlanadi. So'nggi yillarda trosarlari yuqori chastotali kanallarni tashkil etish uchun ham qo'llaniladi. Bunday hollarda ular po'lataluminiydan tayyorlanadi.

Izolatsiyalanmagan o'tkazgichlarning tuzilishi va umumiy ko'rinishi 1.5, a- rasmida keltirilgan. Bir simli o'tkazgich (1.5, b- rasm) bitta dumaloq simdan 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 (1.5, 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 o'tkazgichlarda — po'lataluminiy o'tkazgichlarda (1.5, 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'tkaz-



1.5-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.

gichlar (1.5, *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. HLLarda g'ovak o'tkazgichlar deyarli qo'llanilmaydi. Ular asosan 330 kV va undan yuqori kuchlanishdagi podstansiyalarning shinalarida qo'llaniladi. 330 kV va undan yuqori nominal kuchlanishdagi HLning har bir fazasi bir nechta o'tkazgichlarga *parchalanadi*.

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 va ularning tabiatda tarqalganlik darajasini hamda bundan kelib chiqib nisbiy narxlarini e'tiborga olib, HLLarida aluminiy va po'lataluminiy o'tkazgichlardan foydalaniladi.

Hozirgi paytda bir simli aluminiy o'tkazgichlarning mexanik mustahkamligi juda kichikligi sababli mutlaqo ishlab chiqarilmaydi. Ko'p simli *aluminiy o'tkazgichlar* faqat 35 kV gacha kuchlanishli HLLarda qo'llaniladi. Undan yuqori kuchlanishli HLLarda esa po'lataluminiy o'tkazgichlardan foydalaniladi. Hozirgi davrda Davlat Standarti (DSt)ga muvofiq A va AKII markali aluminiy o'tkazgichlar ishlab chiqariladi. A markali o'tkazgichlar 7 tadan 61 tagacha bir xil dimetrlil aluminiy simlardan tashkil topadi. AKII 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 korxonalarini yaqinidan o'tuvchi HLLarda qo'llaniladi.

*Po'lataluminiy o'tkazgichlar* HLLarda 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 DStga muvofiq AC, ACKC, ACKII, ACK markali po'lataluminiy o'tkazgichlar ishlab chiqariladi. AC 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 HLLarda foydalaniladi. ACKC, ACKII, ACK markali o'tkazgichlar dengiz, tuzli ko'llar qirg'oqlari va havosi ifloslangan sanoat tumanlaridagi HLLarda qo'llaniladi. ACKC va ACKII markali o'tkazgichlarda AC markali o'tkazgichlardan farqli holda po'lat o'zakning yoki butun o'tkazgichning simlari oralaridagi bo'shliqlar issiqlikka chidamli neytral moy bilan to'ldiriladi. ACK markali o'tkazgichda ACKC markali o'tkazgichdan farqli holda po'lat o'zak ikkita polietilen plyonka tasmalar bilan izolatsiyalanadi.

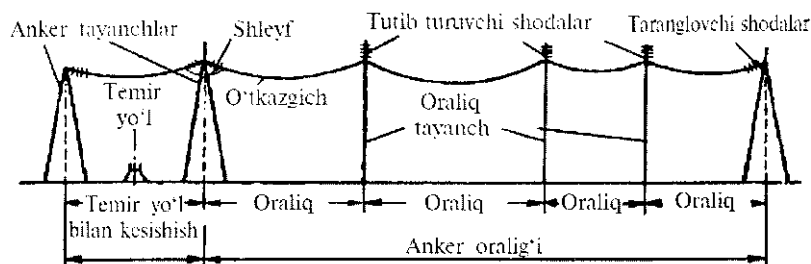
O'tkazgichlarning markalarini belgilashda ularning aluminiy va po'lat qismlarining ko'ndalang kesim yuzalari kiritiladi. Masalan, AC 120/19 (po'lataluminiy o'tkazgich bo'lib, ko'ndalang kesimining aluminiy qismi yuzasi 120 mm<sup>2</sup>, po'lat qismi yuzasi 19 mm<sup>2</sup>), ACKC 150/34.

### 1.3.3. HLLarning tayanchlari

HLning tayanchlari *anker* va *oraliq* tayanchlarga bo'linadi. Bu ikki asosiy guruh tayanchlar o'tkazgichlarni ularga osish usuli bo'yicha farqlanadi. Oraliq tayanchlarga o'tkazgichlar tutib turuvchi izolatorlar shodasi yordamida osiladi (1.6-rasm). Anker tipidagi tayanchlar o'tkazgichlarni taranglab turish uchun xizmat qiladi. Bunday tayanchlarda o'tkazgichlar taranglovchi shodalar yordamida osiladi. Oraliq tayanchlar oralig'idagi masofa oraliq, anker tayanchlari oralaridagi masofa esa anker oralig'i deb yuritiladi.

Anker tayanchlar HLning muhim nuqtalarida o'tkazgichlarni qat'iy mahkamlash uchun xizmat qiladi. Masalan, ular temiryo'l, 330—500 kV kuchlanishli HL, eni 15 metrdan kam bo'lmagan avtomobil yo'llari kabi muhandislik inshootlarini kesib o'tish



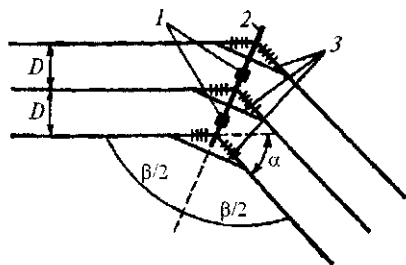


1.6-rasm. HLning anker va temiryo'l bilan kesishish oraliq'i.

joylarida, HLning tugallangan joylarida o'rnatiladi. HLning to'g'ri chiziqli qismida anker tayanch normal sharoitda uning ikki tomonidan o'tkazgichning tortib turuvchi kuchi bir xil bo'lgan hollarda oraliq tayanch bajaruvchi vazifani bajaradi. Biroq anker tayanchlari oraliqda o'tkazgichlar yoki troslar uzilgan taqdirda paydo bo'luvchi mexanik kuchlarga mo'ljallab o'rnatiladi. Anker tayanchlar oraliq tayanchlarga nisbatan ancha murakkab va mos ravishda qimmatdir, shu sababli ular har bir HLda imkoni boricha kam bo'lishi lozim.

Oraliq tayanchlar HLning to'g'ri chiziqli qismlarida o'rnatiladi. Ular odatda HLda tayanchlarning 80—90 % ni tashkil etadi.

Burchak tayanchlar HLning burilish joylarida o'rnatiladi. HLning *burilish burchagi*  $\alpha$  deb uning burilishida paydo bo'luvchi ichki  $\beta$  burchakni  $180^\circ$  ga to'ldiruvchi burchakka aytiladi (1.7-rasm). Burchak tayanchlari anker va oraliq tayanchi tipida bo'lishi mumkin. Bunday tayanchlarga HLning to'g'ri chiziqli uchastkalarida o'rnatiluvchi oraliq tayanchlariga ta'sir etuvchi yuklamalardan tashqari o'tkazgich va troslarning og'irligidan hosil bo'luvchi ko'ndalang yo'nalgan yuklamalar ham ta'sir etadi. Burilish burchagi  $20^\circ$  gacha bo'lgan ko'pgina hollarda burilish tayanchi sifatida oraliq tayanchlaridan foydalaniladi.

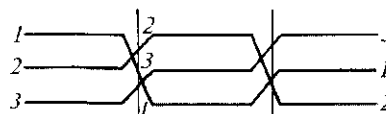


1.7-rasm. HLning burilish burchagi.

1— tayanch oyog'i; 2— tirsak;  
3— sirtmoq.

Bundan tashqari, HLda quyidagi tipdagi maxsus tayanchlardan ham foydalaniladi: tayanchlarda o'tkazgichlarni joylashuv tartibini o'zgartirish uchun xizmat qiluvchi — *transpozitsiyalovchi tayanchlar*, HLni tarmoqlash uchun xizmat qiluvchi — *tarmoqlovchi tayanch*

lar: HLning daryolar, daralar kabilar ustidan kesib o'tish uchun xizmat qiluvchi — o'tkazuvchi tayanchlar.



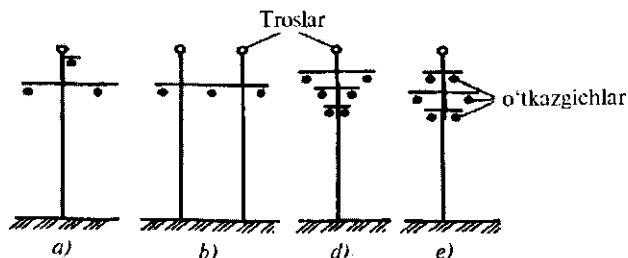
1.8-rasm. Bir zanjirli elektr uzatish liniyasi o'tkazgichlarini transpozitsiyalash sikli.

Transpozitsiya 110 kV dan yuqori kuchlanisdagi 100 km dan uzun HLda barcha uchala fazalarning sig'im va induktivliklarini bir xil qilish maqsadida qo'llaniladi. Bunda tayanchlarda o'tkazgichlarning o'zaro joylashuvi ketma-ket ravishda almashtiriladi (1.8-rasm).

Tayanchlarda o'tkazgichlar va trosning keng foydalaniluvchi joylashuv usullari 1.9-rasmida tasvirlangan. *Uchburchak ko'rinishida joylashuv* (1.9, a-rasm) 20 kV gacha hamda 35—330 kV kuchlanisdagi bir zanjirli metall va temirbeton tayanchli HLda foydalaniladi. *O'tkazgichlarning gorizontal joylashuvi* (1.9, b-rasm) 15—220 kV kuchlanisdagi yog'och tayanchli va 330 kV kuchlanisdagi HLda foydalaniladi. O'tkazgichlarning bu usulda joylashuvi tayanchlarni nisbatan pastroq qurish imkonini beradi va muz qatlamlari paydo bo'lganda hamda simlar silkinganda ularni chalkashish ehtimolini kamaytiradi.

Ikki zanjirli HLda o'tkazgichlarning *teskari archa* usulida joylashuvi montaj qilish sharoitlari bo'yicha qulaylikni ta'minlaydi (1.9, d-rasm), lekin bunda ikkita tros osishga to'g'ri keladi va tayanchlarning og'irligi ortadi. Ikki zanjirli HLda o'tkazgichlarning *bochka* usulida joylashuvi eng tejimli bo'lib, keng qo'llaniladi (1.9, e-rasm).

Mamlakitimizda yog'och tayanchlar 110 kV gacha bo'lgan kuchlanisdagi HLLarida foydalaniladi. Ularning afzalliklari — arzonlik va tayyorlashning soddaligi, kamchiligi — chirish xususiyatining mavjudligi (xususan yerga tegib turish joylarida).

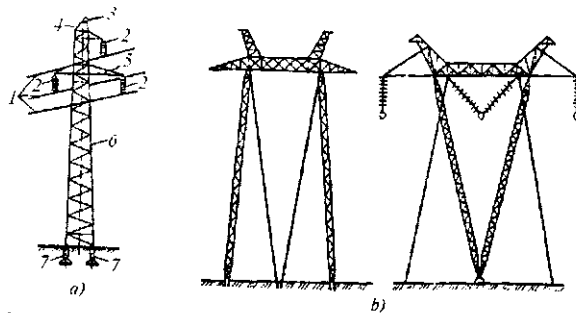


1.9-rasm. O'tkazgichlar va trosning tayanchlarda joylashuvi.

a — uchburchak uchlarida joylashuv; b — gorizontal joylashuv;  
d — teskari archa usulida joylashuv; e — bochka usulida joylashuv.

UzBEKISTON

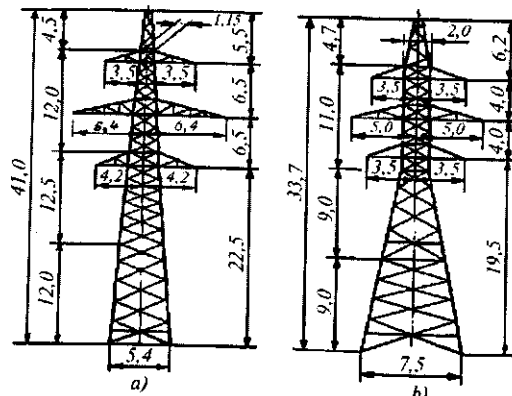
17



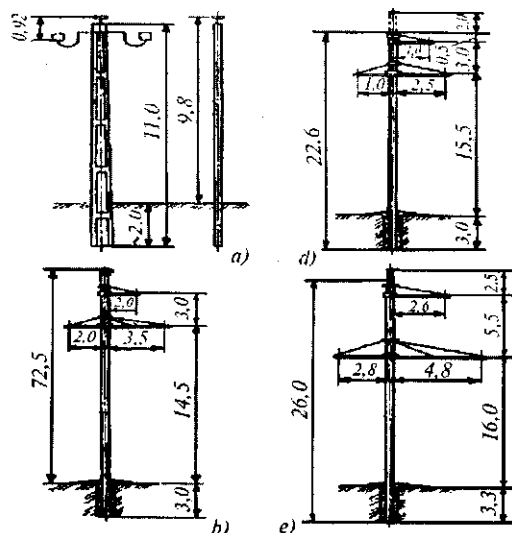
1.10-rasm. *a*— erkin joylashuvchi tayanch; *b*— tortmali tayanch.  
 1— o'tkazgichlar; 2— izolatorlar; 3— yashin qaytargich tros; 4— tros ustuni  
 5— tayanchning tirsagi; 6— tayanch ustuni; 7— tayanch fundamenti.

35 kV va undan yuqori kuchlanishdagi HLLarda foydalaniluvchi *metall tayanchlar* uchun ko'pgina miqdorda metall talab etiladi va ularni korroziyadan himoyalash uchun bo'yab turish lozim. Metall tayanchlar temirbeton fundamentlarga o'rnatiladi. Bunday tayanchlar konstruktiv tayyorlanishi bo'yicha — minorali yoki bir ustunli (1.10, *a*-rasm) va portal (1.10, *b*-rasm), fundamentga mahkamlanish usuli bo'yicha esa *erkin joylashuvchi* (1.10, *a*-rasm) va *tortmali* (1.10, *b*-rasm) tayanchlarga bo'linadi. Anker tipidagi metall tayanchlar oraliq tayanchlardan mustahkamligi va tirsaklarining uzunligi bilan farq qiladi. 1.11, *a*-rasmda 220 kV kuchlanishli HLLda foydalaniluvchi oraliq va 1.11, *b*-rasmda 110 kV kuchlanishli HLLda foydalaniluvchi anker tayanchlari tasvirlangan.

500 kV kuchlanishdagi HLLda odatda o'tkazgichlarning gorizontal joylashuvidan foydalaniladi. 500 kV kuchlanishli HLLning oraliq tayanchlari erkin joylashuvchi portal yoki tortmali bo'lishi mumkin (1.10, *b*-rasm).



1.11-rasm.



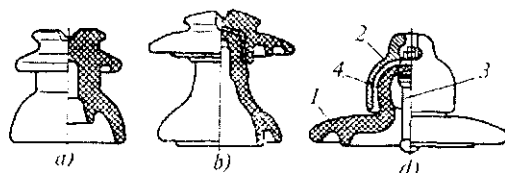
1.12-rasm. Erkin joylashuvchi oraliq temirbeton tayanchlar.  
 a— 6-10 kV shtirli izolatorlar bilan; b— 35 kV; d— 110 kV; e— 220 kV.

Temirbeton tayanchlar yog‘och tayanchlarga nisbatan mustahkam va uzoq chidamli bo‘lib, metall tayanchlarga nisbatan xizmat ko‘rsatish uchun soddadir. Shu sababli ular 500 kV gacha kuchlanishdagi HLLarida keng qo‘llaniladi. 1.12-rasmda turli kuchlanishli HLLarida foydalaniluvchi oraliq temirbeton tayanchlari tasvirlangan.

### 1.3.4. HLLarning izolatorlari

Izolatorlar HL hamda elektr stansiyalari va podstansiyalari taqsimlovchi qurilmalarini izolatsiyalash va mahkamlash uchun xizmat qiladi. Hozirgi davrda asosan chinni yoki toblangan shishadan yasalgan izolatorlardan foydalaniladi. Shu bilan bir qatorda HLLarda polimer izolatorlardan ham foydalanilmoqda. Tuzilishi bo‘yicha izolatorlar shtirli va osma izolatorlarga bo‘linadi.

Shtirli izolatorlar 35 kV gacha kuchlanishli HLLarida foydalaniladi. 6—10 kV va undan past nominal kuchlanishlarda bir elementli (1.13, a-rasm), 20—35 kV nominal kuchlanishlarda esa ikki elementli shtirli izolatorlardan foydalaniladi (1.13, b-rasm). Shtirli izolatorlarni shartli belgilanishidagi harflar va sonlar quyidagilarni bildiradi: III— shtirli;  $\Phi$ — chinnidan yasalgan (farforoviy); C— shishadan yasalgan (steklyanniy); son — nominal kuchlanish, kV; so‘nggi harf (A, B, B) — izolatorning tuzilish sinfi.



1.13-rasm. Shtirli va osma izolatorlar.

*a*— 6—10 kV uchun mo'ljallangan shtirli izolator; *b*— 20—35 kV uchun mo'ljallangan shtirli izolator; *d*— likopchasimon osma izolator.

Likopsimon osma izolatorlar 35 kV va undan yuqori kuchlanishli HLLarida keng qo'llaniladi. Osma izolatorlar (1.13, *d*-rasm) chinni yoki shishadan yasaluvchi izolatsiyalovchi qism *I*, metall qism — shapka *2* va sterjen *3* hamda izolatsiyalovchi qism bilan tutashtiruvchi sement tutashmasidan tashkil topgan. Bu tipdagi izolatorning shartli belgilanishidagi harf va sonlar quyidagilarni bildiradi: П — osma (podvesnoy); Ф (С) — chinni yoki shishadan tayyorlangan; Г — ifloslangan tumanlar uchun; son — izolator sinfi (elektromexanik shikastlovchi yuklama), kN; А, Б, В — izolatorning tuzilish sinfi.

*Osma izolatorlar* oraliq tayanchlarda tutib turuvchi (1.14, *a*-rasm) va anker tayanchlarda tortib turuvchi (1.14, *b*-rasm) shodalarga yig'ilgan ko'rinishda foydalaniladi. Shodadagi izolatorlar soni HLning nominal kuchlanishiga bog'liq holda aniqlanadi. Masalan, metall va temirbeton tayanchli HLLarining tutib turuvchi shodalarda 35 kV uchun 3 ta; 110 kV uchun — 6—8 ta; 220 kV uchun — 10—14 ta va h.k. osma izolatorlar o'rnatiladi.

Shtirli izolatorlar tayanchlarga ilgaklar yoki shtirlar yordamida mahkamlanadi. Yuqori darajadagi ishonchlilik talab etilgan hollarda anker tayanchlarda bitta emas, balki ikkita, hattoki uchta shtirli izolator o'rnatilishi mumkin.

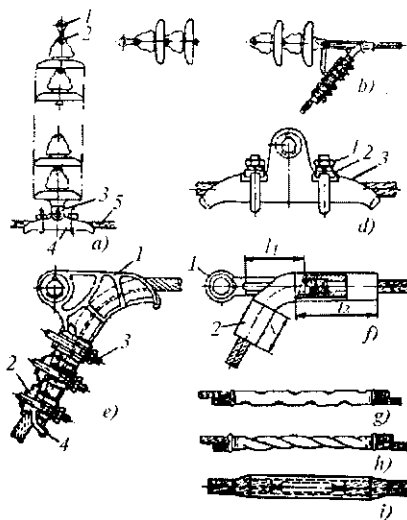
### 1.3.5. HLLarning armaturalari

HLLarda 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 shodalarni tayanchlarga va ularni o'zaro ketma-ket osish uchun xizmat qiluvchi ulovchi armaturalar; osilish oraliqlarida o'tkazgichlar va troslarni ulash uchun xizmat qiluvchi tutashtirgichlar.

*Ulovchi armatura* skoba, sirg'a va quloqchalardan tashkil topgan. Skoba shodalarni tirsaklarga yoki tirsaklarning mahkamlovchi detal-

**1.14- rasm. Tutib turuvchi va taranglab turuvchi izolyatorlar shodalari va armaturalar.**

*a* — qat'iy qisqichli tutib turuvchi izolyatorlar shodasi; *b* — bolt qisqichli taranglab turuvchi izolyatorlar shodasi; *d* — qat'iy tutib turuvchi qisqich; *e* — boltli taranglab turuvchi qisqich; *f* — presslanuvchi taranglab turuvchi qisqich; *g*, *h* — siqiluvchi va buriluvchi oval ulagichlar; *i* — presslanuvchi ulagich.



lariga tutashtirish uchun xizmat qiladi. Tutib turuvchi izolyatorlar shodasi (1.14, *a*-rasm) oraliq tayanch tirsagiga sirg'a 1 yordamida mahkamlanadi.

Sirg'a bir tomondan skoba yoki tirsak detaliga, ikkinchi tomondan yuqoridagi izolyator qalpoqchasi 2 ga tutashtiriladi. Pastki izolyatorga 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 tayanchlarda 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 (1.14, *d*-rasm) siqiluvchi bolt 1plashcha 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 mustahkamlikdagi qisqichlar hozirga davrda 35—500 kV kuchlanishli III-larida foydalaniluvchi asosiy qisqichlardir.

Cheklangan mustahkamlikdagi qisqichlar 500 kV kuchlanishli III-larida foydalaniladi. O'tkazgich uzilganda u qisqich orqali ikkinchi tomonga sirpanib o'tadi va natijada oraliq tayanchga ta'sir etuvchi ko'ndalang kuch kamayadi.

Anker tayanchlarda o'tkazgichlar *tortib turuvchi* qisqichlar yordamida butunlay mahkamlab qo'yiladi. Bunda bir osilish oralig'idagi o'tkazgich boshqa oraliqdagi o'tkazgichga sirtmoq yoki shleyf orqali ulanadi. *Tortib turuvchi* qisqichlarning bir nechta — 35—500 mm<sup>2</sup> ko'ndalang kesim yuzali o'tkazgichlarni tutashtirishda

qo'llaniluvchi — *boltli*, 300 mm<sup>2</sup> va undan katta kesim yuzali o'tkazgichlarni tutashtirishda qo'llaniluvchi — *presslanuvchi*, po'lat troslarni mahkamlash uchun qo'llaniluvchi — *tirsakli* turlari mavjud.

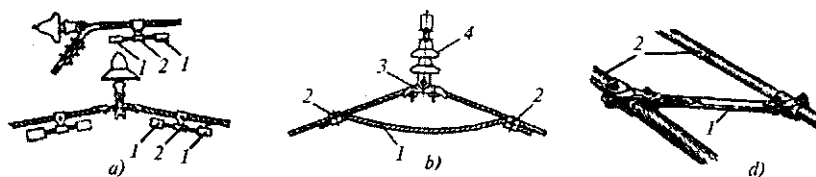
Boltli qisqichlar (1.14, *e*- rasm) korpus 1, plashcha 2, gayka bilan siquvchi boltlar 3 va aluminiydan yasaluvchi tiqin 4 lardan iborat. Presslanuvchi qisqichlar (1.14, *f*- rasm) po'lat anker 1 va aluminiy korpus 2 dan tashkil topgan. Po'lat ankerda o'tkazgichning  $l_1$  uzunlikdagi po'lat o'zagi 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. HLlarda ularni ulash uchun ulagichlar qo'llaniladi. Ular oval va presslanuvchi ulagichlarga bo'linadi.

*Oval ulagichlar* (1.14, *g*, *h*- rasmlar) 185 mm<sup>2</sup> va undan kichik kesim yuzali o'tkazgichlarni ulashda qo'llaniladi. Ularda o'tkazgichlarning uchlari yonma-yon qo'yiladi va so'ngra maxsus qoplama bilan o'ralib, siqiladi (1.14, *g*- rasm). Kesim yuzasi 95 mm<sup>2</sup> va undan kichik bo'lgan po'lataluminiy o'tkazgichlar ulagichlarda burash usulida mahkamlanadi (1.14, *h*- rasm).

*Presslanuvchi ulagichlar* 240 mm<sup>2</sup> va undan katta kesim yuzali o'tkazgichlar hamda troslarni ulashda qo'llaniladi. Bunday ulagich ikkita quvurchadan — ichki po'lat tomirni ulovchi po'lat va tashqi aluminiy tomirni ulovchi aluminiy quvurchalardan tashkil topgan (1.14, *i*- rasm).

HL o'tkazgichlarining qisqichlarga yaqin bo'lgan joylarida titrashni kamaytirish orqali o'tkazgich simlarining sinishini bartaraf etish maqsadida yukli titroq *so'ndirgichlar* yoki *dempferlovchi sirtmoqlar* osiladi. Titroq so'ndirgich (1.15, *a*-rasm) po'lat tros 2 yordamida tutashtirilgan ikkita cho'yan yuk 1 dan iboratdir. Titroq so'ndirgichning xususiy tebranishlar chastotasi o'tkazgichning tebranish chastotasidan bir necha marta kichik bo'lganligi sababli o'tkazgichning titrashi kamayadi. Kichik kesim yuzali aluminiy



1.15- rasm. HLning titroq so'ndirgichlari va rasporkalari.

va po'lat-aluminiy o'tkazgichlar uchun titrashdan himoya shu markadagi o'tkazgichdan yasaluvchi dempferlovchi sirtmoq 1 yordamida amalga oshiriladi (1.15, b- rasm). Sirtmoq osma izolatorlar shodasi 4 dagi tutib turuvchi qisqich 3 ning har ikkala tomoniga boltli qisqichlar 2 yordamida mahkamlanadi.

330 kV va undan yuqori nominal kuchlanishli HLLarning tuzalaridagi parchalargan alohida o'tkazgichlar 2 ni bir-biriga nisbatan belgilangan masofada tutib turish uchun rasporkalar 1 (1.15, d- rasm) qo'llaniladi.

#### 1.4. Kabellar va kabel liniyalarining tuzilishi

*Kabel* deb, germetik qobiq ichida joylashib, ustida, zaruriy hollarda, himoya qoplamasi mavjud bo'lgan bir yoki bir nechta izolatsiyalangan 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* bir yoki bir nechta bir-biridan va yerdan izolatsiyalangan tok o'tkazuvchi tomirlardan iborat bo'ladi. Izolatsiyaning ustida uni namlik, kislotalar va mexanik shikastlanishlardan muqolash uchun himoya qoplamasi va himoya qobig'iga ega bo'lgan po'lat tasma zirh yotqiziladi. Tok o'tkazuvchi tomirlar qoidaga ko'ra aluminiydan bir simli (16 mm<sup>2</sup> gacha kesim yuzali) yoki ko'p simli qilib tayyorlanadi. Mis tomirli kabellarning qo'llanilishi faqat maxsus hollarda, masalan, portlash xavfi mavjud bo'lgan xonalarda, gaz va chang bo'yicha xavfli shaxtalarda ko'zda tutiladi. 1 kV gacha kuchlanishdagi o'zgaruvchan tokda to'rt tomirli kabellar qo'llanilib, to'rtinchi — nol tomirning ko'ndalang kesim yuzasi asosiylarinikiga nisbatan kichikroq bo'ladi. 35 kV gacha kuchlanishli o'zgaruvchan tok kabellari uch tomirli, 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabellar esa bir tomirli qilib ishlab chiqariladi. O'zgarmas tokda bir va ikki tomirli kabellar qo'llaniladi.

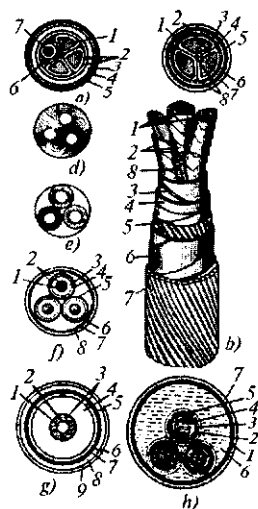
Kabel izolatsiyasi maxsus mineral moy shimdirilgan kabel qog'ozidan tayyorlanib, tok o'tkazuvchi tomirlarga tasmalar ko'rinishida o'raladi. Kabellar vertikal va qiya joylarda yotqizilganda shimdirilivchi moddaning kabel bo'ylab oqishi sodir bo'lishi mumkin. Shu sababli bunday trassalarda kamaytirilgan miqdordagi va oqmaydigan modda shimdirilgan izolatsiyali kabellardan foydalaniladi. Bulardan tashqari rezina va polietilen izolatsiyali kabellar ham tayyorlanadi.



Izolatsiyaning ustida yotqiziluvchi himoya qobig'i namlik va havodan saqlash uchun xizmat qilib, qo'rg'oshin, aluminiy yoki polivinilxlorididan yasalishi mumkin. Aluminiy qobiqli kabellardan keng foydalanish tavsiya etiladi. Qo'rg'oshin qobiqli kabellarni suv ostida, ko'mir va ishqorli shaxtalarda, o'ta xavfli korroziy xavfi mavjud bo'lgan muhitlarda foydalanish ko'zda tutiladi. Qolgan hollarda qo'rg'oshin qobiqli kabellardan foylanish uchun uni texnik jihatdan asoslash lozim.

Kabelning qobiqlarini mexanik shikastlanishlardan himoyalash uchun ularning ustidan po'lat tasma yoki simlar ko'rinishidagi zirh o'raladi. Aluminiy qobiq va po'lat zirh, o'z navbatida, korroziya, kimyoviy ta'sir va yerdagi daydi toklardan himoyalaniشى lozim. Buning uchun qobiq va zirhning o'rtasida hamda zirhning ustida ichki va tashqi himoya qoplamalari yotqiziladi. Ichki himoya qoplamasi (yoki zirh ostidagi yostiqcha) — bu shimdirilgan iqtisodiy gazlama to'qimasi yoki kabel sulfat qog'ozidan yasalgan jutilgan qatlamdir. Bu qog'ozning ustida yana ikki qavat polivinilxlorid tasma o'raladi. Tashqi himoya qoplamasi ham korroziyaga chidamli modda shimdirilgan jutdan iboratdir. Yong'in nuqtayi nazaridan xavfli bo'lgan tunnel va boshqa joylarda yotqizish uchun yonmaydigan tashqi qobiqli maxsus kabellar qo'llaniladi.

10 kV gacha kuchlanishli kabellar 1.16, a, b- rasmlarda tasvirlangan. 1.16, a- rasmda 1 kV gacha kuchlanishli to'rt tomirli kabel tasvirlangan bo'lib, unda 1— tok o'tkazuvchi faza tomirlari; 2— qog'ozdan yasalgan faza va belbog' izolatsiyasi, 3— aluminiy yoki



qo'rg'oshin himoya qobig'i; 4— po'lat zirh; 5— himoya qoplamasi; 6— qog'oz to'ldirgich; 7— nol tomir. 1.16, b- rasmda 1—10 kV li qog'oz izolatsiyali uch tomirli kabel tasvirlangan bo'lib, unda 1— mis yoki aluminiy tok o'tkazuvchi tomir; 2— faza izolatsiyasi; 3— umumiy belbog'

1.16- rasm. Kuch kabellari: a— 1 kV gacha kuchlanishi to'rt tomirli; b— 1—10 kV li shimdirilgan qog'oz izolatsiyali uch tomirli; d, e— belbog' izolatsiyali va ekranlangan yoki qo'rg'oshinlangan tomirli kabelda elektr maydoni; f— 20—35 kV li; g— 110—220 kV li past bosimli moy to'ldirilgan; h— 220 kV li yuqori bosimli moy to'ldirilgan.

izolatsiya; 4— qo'rg'oshin yoki aluminiy qobiq; 5— zirh ostidagi yostiqcha; 6— qo'rg'oshin zirh; 7— himoya qoplamalari; 8— to'ldirgich.

Belbog' izolatsiyali kabellarda elektr maydoni kuchlaniganligining kuch chiziqlari qog'oz qatlamlariga nisbatan turlicha og'ish burchak ostida yo'nalib (1.16, *d*- rasm), ularda normal (ya'ni kabel qog'ozini sirtiga nisbatan perpendikular) va tangensial (ya'ni kabel qog'ozini sirtiga nisbatan urinma) tashkil etuvchilar mavjud bo'ladi. Bu kabelning xossasini sezilarli darajada yomonlashtiradi. Chunki, izolatsiyaning urinma bo'ylab elektr mustahkamligi perpendikular yo'nalishdagisiga nisbatan 8—10 marta kichikdir. Aynan shu kamchilikka ko'ra umumiy metall qobiqqa ega bo'lgan belbog' izolatsiyali kabellar 10 kV dan yuqori kuchlanishda qo'llanilmaydi.

20—35 kV *kuchlanishli uch tomirli kabellar* alohida qo'rg'oshinlangan yoki ekranlangan tomirlardan tashkil topgan (1.16, *e*, *f*- rasmlar). Birinchi holatda (1.16, *e*- rasm) har bir faza tomiri 3 uting qog'ozdan yasalgan alohida faza izolatsiyasi ustida shovsiz qo'rg'oshin qobiq 4 yotqizilgan. Ekranlangan tomirli kabellarda har bir tomirning qog'oz izolatsiyasi ustida ko'plab teshikchalarga ega bo'lgan mis yoki metallashtirilgan qog'ozdan yasalgan tasma ko'rinishidagi ekran yotqizilgan. Qo'rg'oshin qobiq yoki ekran har bir fazaning izolatsiyasi atrofida ekvipotensial sirtini hosil qilib, unda faza izolatsiyasida elektr maydonining radial kuch chiziqlari mavjud bo'ladi (1.16, *e*- rasm). 1.16, *f*- rasmda tasvirlangan 20—35 kV kuchlanishli kabelda 1— doira shaklidagi ko'ndalang kesim yuzali tok o'tkazuvchi tomir; 2— yarim o'tkazuvchan ekranlar; 3— faza izolatsiyasi; 4— qo'rg'oshin qobiq; 5— yostiqcha; 6— shimdirilgan kabel to'qimasi; 7— po'lat zirh; 8— korroziyadan himoyalovchi qoplama — bitumli modda shimdirilgan kabel to'qimasi.

*Gaz to'ldirilgan kabellar* 10—110 kV kuchlanishlarda qo'llaniladi. Ular kam miqdordagi moy shimdirilgan izolatsiyali qo'rg'oshinlangan kabellardir. Kabel qog'ozning izolatsion xususiyatini sezilarli darajada oshiruvchi inert gazning (odatda, azot gazi) kichik miqdordagi ortiqcha bosimi ostida bo'ladi. Bosimning o'zgarishligi chiqib ketuvchi gazning o'rnini uzluksiz tartibda to'ldirib turish hisobiga ta'minlanadi.

110 va 220 kV kuchlanishli o'zgaruvchan tok kabellari *moy bilan to'ldirilgan* ko'rinishda tayyorlanadi. Moy shimdirilgan izolatsiyali 110 va 220 kV kuchlanishli moy to'ldirilgan kabelning tuzilishi 1.16, *g*- rasmda tasvirlangan bo'lib, unda 1— moy o'tkazuvchi kanal; 2— g'ovak tok o'tkazuvchi tomir; 3— yarim

o'tkazuvchan qog'ozdan yasalgan uch-to'rtta tasmadan iborat bo'lgan ekran; 4— izolatsiya; 5— metall qobiq; 6— polivinilxlorid tasmalardan iborat bo'lgan yostiqcha; 7— kuchaytiruvchi mi tasmalar; 8— zirh; 9— himoya qobig'i.

Moy to'ldirilgan kabellar bosimi 0,06—0,3 MPa bo'lgan past va 1,1—1,6 MPa bo'lgan yuqori bosimli kabellarga bo'linadi. Yuqori bosimli kabellardan 220—500 kV kuchlanishda foydalanish maqsadga muvofiq. 220 kV kuchlanish uchun bunday kabellarning ko'rinishi 1.16, *h*- rasmda tasvirlangan.

Kabellarning markalari ularning tuzilishini xarakterlovchi so'zlarning bosh harflaridan tashkil topgan. Birinchi harf A kabelning aluminiy tomirli ekanligini, uning yo'qligi esa mis tomirli ekanligini bildiradi. Kabellarning qobiqlari quyidagi harflar bilan belgilanishi mumkin: A— aluminiy; C— qo'rg'oshin; B— polivinilxlorid; H— rezina, nairit; П— polietilen; O— tomirlari alohida qo'rg'oshinlangan. Kabelning himoya zirhi quyidagi harflar bilan belgilanadi: Б— po'lat tasmalar; П— tekis ruxlangan po'lat simlar; K— dumaloq ruxlangan po'lat simlar. Kabelda zirh va himoya qatlamining yo'qligi Г harfi bilan belgilanadi. Moy to'ldirilgan past bosimli kabellar ularning markalari oldida MH, yuqori bosimlilari esa MBД harflarini qo'yish bilan belgilanadi.

Masalan, 1.16, *a*, *b*- rasmda tasvirlangan mis tomirli qo'rg'oshin qobiqli kabellarga СБ, xuddi shunday aluminiy tomirli aluminiy qobiqli kabellarga ААБ markasi mos keladi. 1.16, *f*- rasmda tasvirlangan mis tomirli kabel ОСБ ko'rinishida markalanadi.

Kabelning markasi yonida odatda uning tok o'tkazuvchi tomirlarining soni, ko'ndalang kesim yuzasi ko'rsatiladi. Masalan, СБ 3x95 kabelning qo'rg'oshin qobiqli, po'lat tasmalar bilan zirhlangan, har birining kesim yuzasi 95 mm<sup>2</sup> bo'lgan uch tomirli ekanligini bildiradi.

**Kabel armaturasi** kabelning alohida bo'laklarini (qurilish uzunliklarini) va, shuningdek, kabellarning uchlarini apparaturalarga yoki taqsimlovchi qurilmalarning shinalariga ulash uchun xizmat qiladi. Kabel bo'laklarini ulovchi armatura — *ulovchi mufta*, kabelni ochiq havoda va binolarning ichida tugallash uchun armatura — *tugallovchi mufta* va *tugallovchi yasama* deb yuritiladi. Bunday mufta va yasamalarning asosiy vazifasi kabellarni ulanish va tugash joylarida germetiklashdir.

Ulovchi mufta 1.17, *a*- rasmda tasvirlangan. Kabelning izolatsiyadan tozalangan tomirlari 1 maxsus gilza 6 ichid

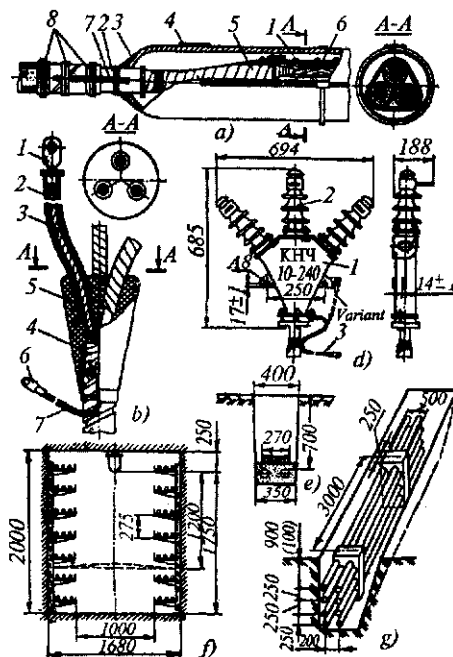
kavsharlash yoki payvandlash orqali bir-biriga ulanadi va kabel qo'rg'oz tasmalari bilan (rulonli tiqin) izolatsiyalanadi. Ulangan tomonlarning ustiga qo'rg'oshin muftaning korpusi 3 kiyg'iziladi. Korpusning uchlari kabelning qurg'oshin (yoki alyuminiy) qobiqlari 2 ga kavsharlanadi. Mufta maxsus quyuvchi teshikchasi 4 orqali kabel moyiga to'ldiriladi. Shundan so'ng teshikcha kavsharlanadi. 1.17, a- rasmda 7— yerga ulash o'tkazgichi, 8— bandajlar. Kabel yerning tagida yotqizilganda muftaning qo'rg'oshin qobig'i mexanik shikastlanishlardan cho'yan yoki shlabplastikdan yasalgan qobiqlar yordamida himoyalaniadi.

1.17, b- rasmda montaj qilishda kabelning quyiluvchi moddasi talab etilmaydigan KB $\Theta$  tipidagi quruq tugallovchi yasama tasvirlangan. Kabelning tomirlari 3 ni germetiklash tomirlarga kiyg'iziluvchi uch qavatli plastmassa quvurchalar 2 yordamida amalga oshiriladi. 1.17, b- rasmda 1— ulanuvchi uch; 4— kabelning metall qobig'i; 5— epoksid qotishmali korpus; 6— yerga ulovchi o'tkazgichning ulanuvchi uchi; 7— yerga ulovchi o'tkazgich.

1.17, d- rasmda tashqi uskunalarda kabellarni transformatorlar va taqsimlovchi qurilmalarga ulashda qo'llaniluvchi izolatorlari vertikal joylashgan KH $\Upsilon$  10—240 tipidagi tugallovchi mufta tasvirlangan. Bu rasmda 1— metall korpus; 2— chinni izolator; 3— yerga ulovchi o'tkazgich.

**Kabellarni yotqizish xonalarining ichida va undan tashqarida amalga oshiriladi. Xonalaridan tashqarida odatda**

1.17 rasmi. Kabel armaturasi va kabelni yotqizish usullari: a— 6—110 kV kabellar uchun qo'rg'oshinli ulovchi mufta; b— tomirlarida plastmassa quvurchalarga ega bo'lgan KB $\Theta$  tipidagi tugallovchi yasama; d— 6—10 kV kabellar uchun tashqi uskunaning KH $\Upsilon$  tipidagi uch fazali tugallovchi muftasi; e— kabellarni yerdagi tranшеyalarda yotqizish; d— o'tish yo'lliga ega bo'lgan kabel tunneli; g— kabel bloki.



kabellar transheyalarda yotqiziladi (1.17, e- rasm). Transheyani tubiga tuproq yoki qumdan yumshoq qatlam yotqiziladi. Kabel yumshoq tuproq bilan ko'miladi va mexanik shikstlanishda himoyalash uchun g'isht yoki beton plitalar bilan yopiladi. Shundan so'ng kabel transheyasi tuproq bilan ko'miladi va qavatma-qavat zichlashtiriladi. Avtomobil va temiryo'llarini tagidan o'tishda kabellar asbestsement yoki beton quvurlarda yotqiziladi. Katta miqdordagi kabellarni yotqizishda kollektorlar, tunnellar, kanallar va bloklar qo'llaniladi. Kollektor kabel liniyalari suv va issiqlik o'tkazgichlarni birgalikda joylashtirish uchun xizmat qiladi. Tunnel faqat kabel liniyalarini yotqizish uchun xizmat qiladi (1.17, f- rasm). Tunnellar va kollektorlar dumaloq va to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'lishi mumkin. Bitta tunnelda 20—50 kabel bo'lishi mumkin. Kabellar soni bundan kam bo'lganda kabel kanallari qo'llaniladi. Katta shaharlar va yirik korxonalarda ba'zan kabellar bloklarda yotqiziladi (1.17, g- rasm). Bloklar, odatda tutashgan joylari beton bilan yopilgan asbestsement quvurlardir.

### *Nazorat savollari*

1. Elektr tizimi nima? Unga nimalar kiradi?
2. Elektr tizimining uzatuvchi va o'zgartiruvchi elementlariga nimalar kiradi?
3. Elektr podstansiyasi nima? U qanday uskunalarni o'z ichiga oladi?
4. Elektr tarmoqlari qanday ko'rsatkichlar bo'yicha turlarga ajratiladi? Uning turlarini sanab o'ting.
5. Elektr tarmog'ining neytrali deganda nimani tushunasiz? U qanday holatlarda bo'lishi mumkin?
6. Turli kuchlanishli tarmoqlarda neytralning qanday holatda bo'lishi va uning sabablarini tushuntiring.
7. Havodagi elektr uzatish liniyasining konstruktiv elementlariga nimalar kiradi?
8. Havodagi elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlari va toslari qanday metallardan tayyorlanadi? Ular qanday tuzilishlarga ega bo'ladi?
9. Havodagi elektr uzatish liniyasining izolatorlari qanday materialdan yasaladi? Ular qanday tuzilishlarga ega bo'ladi va qanday makalanadi?
10. Havodagi elektr uzatish liniyasining tayanchlari haqida ma'lumot bering.
11. Havodagi elektr uzatish liniyasining armaturalari haqida ma'lumot bering.
12. Kabel nima? Kabel liniyasi-chi?
13. Kabellar va kabel liniyalarida ularni yotqizish usullari haqida ma'lumot bering.

---

## 2. TAQSIMLOVCHI ELEKTR TARMOQLARI

### 2.1. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarining parametrlari

*Taqsimlovchi elektr tarmoqlari* ta'minlovchi tarmoq podstantsiyasini bevosita elektr iste'molchilari yoki ularning podstansiyalari bilan tutashdirib, elektr energiyani taqsimlash uchun xizmat qiladi. Ular, asosan, 35 kV va undan past nominal kuchlanishli bo'lib, ayrim hollarda 110 kV kuchlanishli liniyalarni ham o'z ichiga olishi mumkin. Bunday tarmoqlar (nisbatan eski adabiyotlarda) mahalliy tarmoqlar deb ham yuritiladi.

Har qanday elektr uzatish liniyasi umumiy holda uzunligi davomida bir xilda taqsimlangan cheksiz sondagi kichik aktiv va reaktiv qarshiliklar va o'tkazuvchanliklardan iboratdir. Ularni aniq hisobga olish faqat uzun liniyalarni hisoblashda zarur. Amalda uzun bo'lmagan liniyalarni hisoblashlarda taqsimlangan parametrlarni jamlangan parametrlar bilan almashtirishga asoslangan soddalashtirilgan usullardan foydalaniladi. Taqsimlovchi liniyalarni hisoblashda, bundan tashqari, quyidagi soddalashtirishlar qabul qilinadi:

a) liniyalarning o'tkazuvchanliklari hisobga olinmaydi, chunki ularning uzunliklari cheklangan va kuchlanishlari nisbatan kichik bo'lganligi sababli o'tkazuvchanlikning hisoblash natijalariga ta'siri sezilarsiz bo'ladi;

b) kabel liniyalarining induktiv qarshiliklari juda kichikligi sababli hisobga olinmaydi;

d) transformatorlarning o'zagida isrof bo'luvchi quvvatlar juda kichikligi sababli hisobga olinmaydi;

e) tarmoqning turli nuqtalari va iste'molchilaridagi kuchlanishlarni aniqlamasdan, faqat kuchlanishning isrofini hisoblash va uni ruxsat etilgan qiymati bilan taqqoslash bilan cheklaniladi;

f) tarmoq shoxobchalaridagi quvvat oqimlarini hisoblashda ulardagi isroflar hisobga olinmaydi, ya'ni har bir shoxobchada oquvchi quvvat u orqali ta'minlanuvchi yuklamalar quvvatlarining yig'indisiga teng deb olinadi;

g) tarmoq shoxobchalaridagi quvvat va kuchlanish isroflari nominal kuchlanish bo'yicha hisoblanadi.



2.1- rasm. Taqsimlovchi elektr tarmog‘i liniyasining almashtirish sxemasi.

Shunday qilib, taqsimlovchi elektr tarmog‘i liniyasini almashtirish sxemasi 2.1- rasmda keltirilganidek ketma-ket ulangan aktiv  $R$  va reaktiv  $X$  qarshiliklardan iborat ko‘rinishda tasvirlanishi mumkin.

## 2.2. Liniyalarning aktiv qarshiliklari

Elektrotexnikadan ma‘lumki, o‘tkazgichning o‘zgarmas va o‘zgaruvchan tokka ko‘rsatuvchi qarshiliklari turlichadir. O‘zgarmas tokka qarshilik omik va o‘zgaruvchan tokka qarshilik aktiv qarshilik deb ham yuritiladi.

Qiymati bo‘yicha aktiv qarshilik omik qarshilikka nisbatan katta bo‘lib, buning sababi o‘tkazgichda oquvchi tokning uni kesimini markaziy qismidan sirtiga tomon qayta taqsimlanishidan iborat bo‘lgan yuza effektining sodir bo‘lishidir. Bunday effekt o‘tkazgichning ichki qismidagi magnit maydoni hosil qiluvchi qarshi tomonga yo‘nalgan EYuK ta‘sirida yuzaga keladi. Yuza effektining ta‘siri, ayniqsa, yuqori chastotali toklar va magnit singdiruvchanligi katta bo‘lgan po‘lat o‘tkazgichlarda sezilarli bo‘ladi.

Rangli metallardan yasalgan o‘tkazgichlar uchun chastotasida yuza effekti sezilarsiz darajada bo‘lib, amaliy hisoblashlarda ularning aktiv qarshiliklari omik qarshiliklariga teng deb olinadi.

Shuningdek, o‘tkazgichning aktiv qarshiligiga muhit harorati o‘zgarishining ta‘siri ham e‘tiborga olinmaydi va o‘rtacha 20 °C haroratdagi qarshilik o‘zgarmas deb qabul qilinadi.

O‘tkazgichning Om birligidagi aktiv qarshiligi quyidagicha topiladi:

$$R = r_0 l. \quad (2.1)$$

Bu yerda  $r_0$  — o‘tkazgich 1 km uzunligining hisobiy aktiv qarshiligi,  $\Omega/\text{km}$ ;  $l$  — o‘tkazgichning uzunligi, km. Rangli metallardan (masalan, aluminiy yoki misdan) yasalgan o‘tkazgichlar uchun quyidagicha topiladi:

$$r_0 = \frac{\rho}{F}. \quad (2.2)$$

Bu yerda  $\rho$  — solishtirma hisobiy qarshilik,  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ ;  $F$  — o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi,  $\text{mm}^2$ .

Bir simli va ko'p simli aluminiy va po'lat o'tkazgichlar uchun  $\rho$  ning qiymati quyidagicha:

O'tkazgich	$\rho$ , $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$
Mis	18,0
Aluminiy	28,8

Yuqoridagilar bilan bir qatorda har qanday tuzilishdagi, xususan, ko'p simli o'tkazgichlarning kesim yuzalari ularning markalarida ko'rsatilgan nominal qiymatlaridan farq qilishini hisobga olib,  $r_0$  ning turli markadagi o'tkazgichlar uchun qo'llanmalarda beriluvchi yanada aniqroq qiymatlaridan foydalanish tavsiya etiladi.

Po'lat o'tkazgichlarning aktiv qarshiliklari  $r_0$  ularning omik qarshiliklariga nisbatan ancha katta. Buning sababi ularda kuchli yuza effekti, gisterezisga energiya isrofi va po'latdagi uyurma toklarning ta'siridir:

$$r_0 = r_{0.o'zgarmas} + r_{0.qo'shimcha}$$

Bu yerda:  $r_{0.o'zgarmas}$  — o'tkazgichning 1 km uzunligini o'zgarmas tokka qarshiligi;  $r_{0.qo'shimcha} = r_{0.yuz.eff.} + r_{0.gist.} + r_{0.uyurma}$ . — yuza effekti, gisterezisga energiya isrofi va uyurma toklari ta'sirida hosil bo'luvchi qo'shimcha qarshilik.

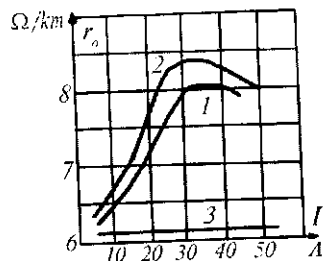
Ko'rsatilgan isroflar va mos holda qo'shimcha qarshilik o'tkazgich kesimidagi magnit oqimi  $\Phi$ , o'tkazgichning magnit singdiruvchanligi  $\mu$  va magnit maydon kuchlanganligi  $H$  ga bog'liqdir:

$$\Phi = BF = \mu HF$$

Bu yerda  $B$  — induksiya;  $F$  — o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi.

Magnit maydoni kuchlanganligi o'tkazgichdagi tok qiymatiga proporsional, magnit induksiyasi esa tokning qiymati va po'latning to'yinish darajasiga bog'liq bo'lganligi uchun o'tkazgichdagi kichik yuklamalarda magnit oqimi va mos holda o'tkazgichning qo'shimcha qarshiligi taxminan tokka proporsional bo'ladi. O'tkazgichda tokning ortib borishi bilan magnit to'yinish holati yuz beradi ( $B = \text{const}$ ) va buning natijasida uning qarshiligi o'zgarmay qoladi. Tok yanada oshib borganda po'latning magnit singdiruvchanligining kamayishi natijasida qarshilik kamaya boshlaydi. 2.2- rasmda misol tariqasida





2.2- rasm. Po'lat o'tkazgichlar qarshiliklarining tokka bog'liq holda o'zgarishi.

po'lat o'tkazgichning qarshiligi  $r_0$  ning o'zgaruvchan tok  $I$  ning qiymatiga bog'liq holda o'zgarishi tasvirlangan. Undagi 1— egri chiziq ko'p simli, 2— egri chiziq esa bir simli o'tkazgichga taalluqli bo'lib, 3— o'tkazgichning o'zgarmas tokdagi qarshiligidir.

Amaliy hisoblashlarda turlicha kesim yuzali va markadagi o'tkazgichlarning yuklama toki turlicha bo'lgan holatlarda o'lchash natijasida aniqlangan qiymatlardan foydalaniladi. Ularning qiymatlari qo'llanmalarda keltiriladi.

### 2.3. Liniyalarning induktiv qarshiliklari

O'zgaruvchan tok liniyadan oqayotganida simlar atrofida hosil bo'lgan magnit maydoni simda teskari yo'nalgan o'zinduksiya EYuKni hosil qiladi. O'zinduksiya EYuKning tokka ko'rsatuvchi qarshiligi *reaktiv induktiv qarshilik* deb yuritiladi. Yonma-yon joylashgan uch fazali liniyalarning o'tkazgichlari ko'rilayotgan o'tkazgichdagi tokka nisbatan teskari o'tkazgich bo'lib, unda ko'rilayotgan tokning yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan EYuKni yuzaga keltiradi. Bu o'z navbatida o'zinduksiya EYuKni va shu tufayli reaktiv qarshilikning qiymatini kamaytiradi. Shu sababli liniyaning faza o'tkazgichlari bir-biridan qanchalik uzoq joylashsa, qo'shni o'tkazgichlarning magnit oqimi sababli bo'ladigan o'zaro ta'siri ham shunchalik kamayadi va liniyaning induktiv qarshiligi oshib boradi.

Induktiv qarshilikning qiymatiga, bundan tashqari, o'tkazgichning diametri, o'tkazgichning magnit singdiruvchanligi va o'zgaruvchan tok chastotasi ham ta'sir qiladi. 1 km uzunlikdagi liniyaning induktiv qarshiligi quyidagicha topiladi,  $\Omega/\text{km}$ :

$$x_0 = 2\pi Lf = 0,144 \lg\left(\frac{D_{or}}{r}\right) + 12500\mu. \quad (2.3)$$

Bu yerda  $L$  — induktivlik, H;  $f$  — chastota, Hz;  $D_{or}$  — faza o'tkazgichlari orasidagi o'rtacha geometrik masofa, m;  $r$  — o'tkazgichning radiusi ( $D_{or}$  va  $r$  ning qiymati bir xil o'lchamda bo'lis kerak);  $\mu$  — magnit singdruvchanlik.

Rangli metallardan (aluminium va mis) tayyorlangan o'tkazgichlar uchun magnit singdiruvchanlik o'zgarmas va juda kichik

bo'lgani sababli uni havoning magnit singdiruvchanligiga tenglashtirish mumkin, ya'ni xalqaro o'lchov birligi SI ga binoan

$$\mu_x = \mu_a = \mu_m \approx 0,4\pi \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ H / m.} \quad (2.4)$$

Agarda (2.3) ga  $\mu$  ning (2.4) dagi rangli metallar uchun ifodasini qo'ysak, quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{or}}{r} + 0,0157. \quad (2.5)$$

$D_{or}$  ning qiymati faza o'tkazgichlari kuchlanishining oshishi bilan oshib boradi. Masalan, 750 kV kuchlanishdagi liniyalarda tayanchlar 30 m dan balandroq bo'lib (ya'ni taxminan 9–10 qavatli uyning balandligidir), faza o'tkazgichlari orasidagi masofa 10–20 m bo'ladi. Uch fazali bir zanjirli havo liniyasida o'tkazgichlar orasidagi o'rtacha masofa quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}}. \quad (2.6)$$

Bu yerda  $D_{12}$ ,  $D_{23}$ ,  $D_{31}$  — ayrim fazalarning o'tkazgichlari orasidagi masofa (2.3, a- rasm). O'tkazgichlar teng tomonli uchburchakning uchlariga joylashsa (2.3, b- rasm), u holda

$$D_{or} = D_{12} = D_{23} = D_{31} = D.$$

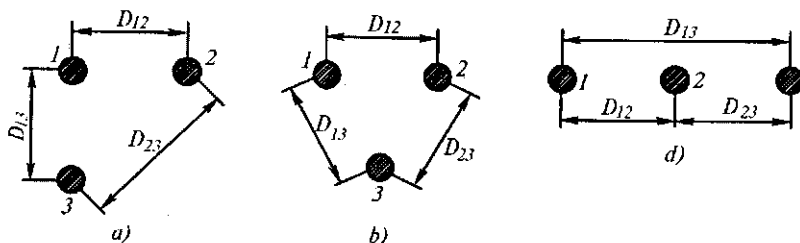
Agar o'tkazgichlar gorizontall joylashsa (2.3, d- rasm), unda

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = D\sqrt[3]{2}.$$

Havo liniyasining induktiv qarshiligini ikkita qarshilikning, ya'ni  $x'_0$  — tashqi qarshiliknin va  $x''_0$  — ichki qarshilikning yig'indisidan iborat deb tasavvur qilish mumkin:

$$x_0 = x'_0 + x''_0. \quad (2.7)$$

Tashqi induktiv qarshilik o'tkazgichlar atrofidagi magnit maydonining o'zaro ta'siri sababli yuzaga keladi va o'tkazgichlar orasidagi  $D$  masofaga bog'liq bo'ladi.



2.3- rasm. O'tkazgichlarning HL tayanchlarida uchburchaklarning uchlarida (a, b) va gorizontall (d) joylashishi.

Havo liniyalarida o'tkazgichlar orasidagi masofa anchagina katta bo'lgani uchun  $x'_0$  ham nisbatan katta qiymati  $0,4 \Omega/\text{km}$  atrofida bo'ladi:

$$x'_0 = 0,144 \lg \frac{D_{o'r}}{r}. \quad (2.8)$$

Ichki induktiv qarshilik o'tkazgichning ichidagi magnit maydoni sababli yuzaga kelib,  $\mu$  ga bog'liq bo'ladi.

$$x''_0 = 12500 \mu. \quad (2.9)$$

Rangli metallardan tayyorlangan o'tkazgichlar uchun  $x''_0 = 0,016 \Omega/\text{km}$ , bu  $x'_0$  ga nisbatan ancha kichik. Shuning uchun  $x''_0$  ayrim hollarda hisobga olinmaydi. Taxminiy hisoblashlarda havo liniyasining induktiv qarshiligi  $0,36-0,44 \Omega/\text{km}$  ga teng qilib olinadi.

Kabel liniyalarida faza o'tkazgichlari orasidagi masofa havo liniyalaridagiga nisbatan ancha kichik bo'lganligi sababli ularning induktiv qarshiliklari ham kichik bo'ladi. Shu sababli ko'pgina hollarda kabel liniyalarining induktiv qarshiliklarini (ayniqsa, tomirlarining ko'ndalang kesim yuzalari katta bo'lmagan  $R_{\text{kab}} \gg X_{\text{kab}}$  kabellarda) hisobga olmaslik mumkin.

(2.3) formuladan ko'rinadiki, induktiv qarshilik  $X$  ni va shu tufayli reaktiv quvvat isrofini ( $\Delta Q = 3I^2X$ ) kamaytirish uchun masofa  $D_{o'r}$  ni kamaytirish yoki radius  $r$  ni kattalashtirish kerak.  $D_{o'r}$  ning qiymati liniyaning kuchlanishiga bog'liq, uni kamaytirish havoning teshilish havfini yuzaga keltirishi mumkin. Shunday qilib,  $X$  ni kamaytirish uchun radius  $r$  ni kattalashtirish, ya'ni o'tkazgichning kesim yuzasini kattalashtirib, metall sarfini oshirish kerak. Bu albatta, iqtisodiy nuqtayi nazardan foydali emas.

$D_{o'r}$  va  $r$  ning qiymati logarifm belgisi ostiga kiradi,  $x''_0$  esa o'zgarmasdir. Demak, rangli metallardan tayyorlangan o'tkazgichlar uchun qarshilik kesim yuzasi  $F$  ga bog'liq holda o'zgaradi.

Shunday qilib, induktiv qarshilikni kamaytirish uchun radiusni kattalashtirish kerak. Uni to'g'idan-to'g'ri kattalashtirib bo'lmaydi, chunki bunda rangli metallar sarfi ko'payadi. Shu sababli  $r$  ni qo'shimcha metall sarfisiz kattalashtirish uchun faza o'tkazgichlarining har biri bir necha o'tkazgichlarga parchalanadi (bo'linadi). Masalan,  $150 \text{ mm}^2$  li faza o'tkazgichini uchta o'tkazgichga parchalaganimizda, bu fazada bir o'tkazgich emas, balki har birining kesim yuzasi  $50 \text{ mm}^2$  dan bo'lgan 3 ta o'tkazgich paydo bo'ladi. Shuningdek, masalan, kesim yuzasi  $300 \text{ mm}^2$  bo'lgan o'tkazgichni ikkiga parchalaganimizda

lazada ikkita 150 mm<sup>2</sup> kesim yuzali o'tkazgich paydo bo'ladi. Agar lazadagi o'tkazgichni har birining haqiqiy radiusi  $r_x$  va oralaridagi masofa  $a_1, a_2, a_3, \dots$  ( $a=300 \div 600$  mm) bo'lgan  $n$  ta o'tkazgich bilan almashtirsak, u holda bu o'tkazgichlarning qandaydir ekvivalent radiusi quyidagicha topiladi:

$$r_{\text{ekv}} = \sqrt[n]{a_{\text{o'r}}^{n-1} \cdot r_x}. \quad (2.10)$$

Bu yerda  $a_{\text{o'r}}$  — parchalangan o'tkazgichlar oralaridagi o'rtacha geometrik masofa:

$$a_{\text{o'r}} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_i}. \quad (2.11)$$

Agar  $n=3$  bo'lsa, u holda  $a_{\text{o'r}} = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}$ .

Faza ikki, uch, to'rt va undan ko'p o'tkazgichlarga parchalanib, ular bir-biri bilan ma'lum masofada tutib turuvchi moslama — rusporkalar yordamida tutashtiriladi.

Faza o'tkazgichlari  $n$  taga parchalangan havo liniyasining 1 km uzunligining aktiv va induktiv qarshiliklari quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$r_0 = \frac{\rho}{nF} = \frac{1}{n\gamma F}, \quad (2.12)$$

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{\text{o'r}}}{r_{\text{ekv}}} + 0,0157 / n. \quad (2.13)$$

Bu yerda  $F$  — parchalangan o'tkazgichlarning har birining haqiqiy kesim yuzasi.

Amaliyotda o'tkazgichlarni parchalash 330 kV va undan yuqori nominal kuchlanishli havo liniyalarida qo'llaniladi.

### ***Nazorat savollari***

1. Taqsimlovchi elektr tarmoqlari qanday vazifani bajaradi?
2. Nima sababdan taqsimlovchi elektr tarmoqlari mahalliy elektr tarmoqlari deb ham yuritiladi?
3. Liniyaning omik va o'zgaruvchan tokka aktiv qarshiliklari oralardagi farq nimalar bilan belgilanadi?
4. Liniyaning aktiv qarshiligi nimalarga bog'liq va qanday aniqlanadi?
5. Liniyaning induktiv qarshiligi nima? U nimalarga bog'liq va qanday aniqlanadi?
6. Parchalangan o'tkazgichli liniyalarning aktiv va induktiv qarshiliklari qanday aniqlanadi?

---

### 3. ELEKTR TARMOQLARINI TEXNIK-IQTISODIY JIHATDAN HISOBLASH

#### 3.1. Asosiy tushunchalar

Elektr tarmoqlarini hisoblashning asosiy shartlaridan biri ularning *iqtisodiyligini* aniqlashdan iboratdir. Eng yaxshi qarorni qabul qilish uchun bir qator variantlar texnik-iqtisodiy jihatdan hisoblanib, texnik va iqtisodiy parametrlar bo'yicha solishtiriladi.

Eng muhim texnik ko'rsatkichlarga quyidagilar kiradi:

a) tarmoq ishining ishonchliligi (tutashuv sxemasi va iste'molchilarni ta'minlashning zahiralanganligi, jihozlar va ko'tarib turuvchi qurilmalarning shikastlanish chastotasi bo'yicha);

b) inshootning ishlash davrining uzoqligi (masalan, sxemaning ayrim elementlarida o'z aksini topuvchi konstruktiv qarorlar, yog'och yoki temirbeton tayanchlar, kabellarni yotqizish usullari va sh.k.lar);

d) ishlatishning qulayligi (ta'mirlash bazalari, kirib borish yo'llari, aloqa kabilar bilan ta'minlanganligi);

e) avtomatlashtirilganlik darajasi;

f) qurilish va montaj ishlarini bajarishda zamonaviy texnika vositalaridan foydalanish imkoniyatlari.

Inshootning iqtisodiyligi uni qurishga sarflanuvchi *boshlang'ich xarajatlar* (kapital mablag'lar) va isrof bo'luvchi elektr energiyasining narxi, ta'mirlash, amortizatsiya va xizmat ko'rsatish xarajatlarning yig'indisidan iborat bo'lgan *ishlatish jarayonidagi mablag'lar* bilan xarakterlanadi. Bundan tashqari, elektr energiyasini uzatishning tannarxi ham xarakterli ko'rsatkich hisoblanadi.

Elektr tarmoqlarini qurishda boshlang'ich (kapital) xarajatlar asosan liniyaning u yoki bu uchastkasi uchun tanlangan o'tkazgichlarining kesim yuzalari va qurilish qismining narxiga bog'liq bo'lib, ishlatish jarayonidagi xarajatlar esa salmoqli darajada elektr energiyani tarmoq orqali uzatishda yuz beruvchi isroflar bilan belgilanadi. Bu isroflar qanchalik kam bo'lsa, uzatilayotgan elektr energiyaning narxi shunchalik past bo'ladi.

Havo liniyalarining o'tkazgichlari va kabellarning kesim yuzalarini tanlashda elektr energiyasi isrofining maksimal darajada kam

bo'lishini ta'minlash bilan bir qatorda rangli metall sarfi va elektr tarmog'ini qurish uchun xarajatlarning minimal bo'lishiga erishish lozim.

Ushbu bo'limda yuqorida qayd etilgan masalalar — elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isroflari, elektr energiyani uzatishning tannarxini hisoblash, elektr ta'minotining ishonchligi va o'tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzalarini tanlash masalalarini ko'rib chiqiladi. Olinuvchi xulosalar taqsimlovchi (mahalliy) elektr tarmoqlari bilan bir qatorda ta'minlovchi (rayon) elektr tarmoqlari uchun ham amal qiladi.

### 3.2. Liniyalarda quvvat va energiya isroflari

Elektr energiyasini stansiyalardan iste'molchilarga uzatish jarayonida o'tkazgichlarning qizishi, elektromagnit maydonning hosil bo'lishi va boshqa effektlarga quvvat va energiyaning bir qismi isrof bo'ladi. Bunday isroflar havo va kabel liniyalarida, kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi podstansiyalarning transformator va avtotransformatorlarida yuz beradi.

Uch fazali elektr tarmog'ining  $R$  qarshilikka ega bo'lgan uchastkasida aktiv quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P = 3I^2 R. \quad (3.1)$$

Bu yerda  $I$  — yuklama toki.

Bu tokning qiymati quyidagi to'la quvvatning uzatilishi bilan belgilanadi:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (3.2)$$

Bu yerda  $P$  — iste'molchilarda mexanik, issiqlik yoki yorug'lik energiyasiga aylantriluvchi aktiv quvvat;  $Q$  — elektr motorlari, transformatorlar va liniyalarda elektromagnit maydonlarni hosil qilishga sarflanuvchi reaktiv quvvat.

Quvvat isrofining (3.1) formulasidagi tokning o'rniga uning quvvat va kuchlanish orqali ifodasi  $I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$  ni qo'ysak, quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$\Delta P = 3 \left( \frac{S}{\sqrt{3}U} \right)^2 R = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R. \quad (3.3)$$

Bu yerda  $U$  — liniya kuchlanishi.

(3.3) formulaga muvofiq, liniyadagi reaktiv quvvat isrofining formulasini yozish mumkin:

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X. \quad (3.4)$$

Elektr tarmog'ining har qanday elementida, jumladan, liniyada aktiv elektr energiyasi isrofi yuklamaning xarakteri va ko'rilayotgan vaqt jarayonida uning o'zgarishiga bog'liq. O'zgarmas yuklama bilan ishlab,  $\Delta P$  aktiv quvvat isrofiga ega bo'lgan liniyada  $t$  vaqt davomida isrof bo'luvchi energiya quyidagicha aniqlanadi:

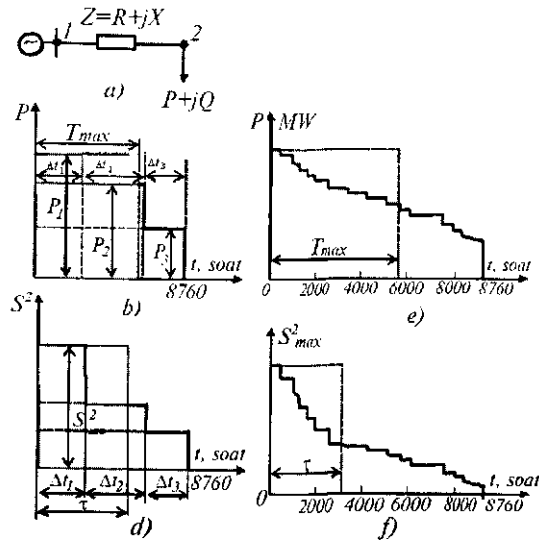
$$\Delta W = \Delta Pt. \quad (3.5)$$

Agar yuklama yil davomida o'zgarib tursa, u holda liniyadagi elektr energiyasi isrofini bir nechta usullar yordamida hisoblash mumkin. Mavjud barcha usullarni foydalaniluvchi matematik modelga bog'liq ravishda ikkita katta guruhga bo'lish mumkin. Bular — aniq va ehtimoliy-statistik usullardir.

Elektr energiyasi isrofini hisoblashning eng aniq usuli — bu shoxobchalarning *yuklama grafiklari* bo'yicha aniqlashdir. Bunda hisoblash yuklama grafigining har bir darajasi uchun quvvat isroflarini aniqlash va ularning yig'indisini topishni ko'zda tutadi. Bu usul ba'zan *grafik interpolatsiyalash usuli* deb yuritiladi.

Yuklama grafiklari *sutkalik* va *yillik yuklama grafiklariga* bo'linadi. Sutkalik grafiklar yuklama quvvatlarini sutka davomida, yillik grafiklar esa yil davomida o'zgarishini ifodalaydi. Yillik grafik bahorgi-yozgi va kuzgi-qishki davrlar uchun xarakterli sutkalik grafiklar asosida quriladi. Yillik energiya isrofini hisoblashda davomiylik bo'yicha yuklama grafiklaridan foydalaniladi. Bunday grafikni hosil qilish quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Grafikning boshlang'ich ordinatasi maksimal yuklamaga teng qilib qabul qilinadi. Sutkalik grafiklar bo'yicha turli tipdagi sutkalar (shanba, yakshanba, dushanba, ish kuni) sonini hisobga olib yuklama quvvatining har bir qiymati uchun yil davomidagi soatlar soni aniqlanadi. Avvalo, maksimal yuklama o'rinli bo'lgan vaqt, so'ngra yuklama quvvatining boshqa qiymatlari uchun (kamayib borish tartibida) vaqt oraliqlari aniqlanadi.

Yillik *yuklama grafigi* bo'yicha yillik energiya isrofini aniqlash mumkin. Bunda har bir holat uchun quvvat va energiya isroflari aniqlanadi. So'ngra, bu isroflar qo'shish orqali yillik elektr energiyasi isrofi aniqlanadi.



3.1-rasm. Elektr energiya isrofini yuklama grafigi va maksimal isroflar vaqti bo'yicha topish: a— liniyaning almashtirish sxemasi; b, d — uch pog'onali va ko'p pog'onali yuklama grafiglari; e, f — uch pag'onali va ko'p pog'onali  $S^2$  grafiglari.

Misol tariqasida uch pog'onali yuklama grafigini (3.1, b- rasm) olamiz. Yuklama  $P_1$  bo'lgan holat uchun 3.1, a- rasmdagi liniyada quvvat isrofi quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta P_1 = \frac{S_1^2}{U_1^2} R. \quad (3.6)$$

Elektr energiya isrofini ushbu holat uchun quvvat isrofini shu holatning davomiylik vaqtiga ko'paytirish orqali topamiz:

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 \Delta t_1. \quad (3.7)$$

Qolgan holatlar uchun ham elektr energiyasi isrofi shu tartibda topiladi. Yuklama  $P_2$  bo'lgan holat uchun

$$\Delta P_2 = \frac{S_2^2}{U_2^2} R; \quad (3.8)$$

$$\Delta W_2 = \Delta P_2 \Delta t_2, \quad (3.9)$$

yuklama  $P_3$  bo'lgan holat uchun

$$\Delta P_3 = \frac{S_3^2}{U_3^2} R, \quad (3.10)$$



$$\Delta W_3 = \Delta P_3 \Delta t_3. \quad (3.11)$$

Yuqoridagilardan kelib chiqib,  $N$  ta pog'onaga ega bo'lgan ko'p pog'onali yuklama grafigining  $i$ -pog'onasi uchun quvvat va yil davomidagi energiya isroflari quyidagi formulalar bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} R, \quad i = 1, \dots, N; \quad (3.12)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i. \quad (3.13)$$

Bu yerda  $\Delta t_i$  — yuklama grafigining  $i$ - pog'onasi davomiyligi.

*Isroflarni yuklama grafigi bo'yicha aniqlash* usulining afzaligi katta aniqligidir. Ammo barcha uchastkalarining yuklamalari haqida ma'lumotning yetarlimasligi ushbu usulning qo'llanilishini cheklaydi.

Isroflarni aniqlashning eng sodda usullaridan biri *maksimal isroflar vaqti* bo'yicha topishga asoslangan. Barcha holatlar ichidan quvvat isrofi maksimal bo'lgan holat aniqlanadi. Bu holatni hisoblab, maksimal quvvat isrofi  $\Delta P_{\max}$  topiladi. Yil davomida energiya isrofini bu quvvat isrofini maksimal isroflar vaqti  $\tau$  ga ko'paytirib topiladi:

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \tau. \quad (3.14)$$

Maksimal isroflar vaqti shunday vaqtiki, agar bu vaqt davomida maksimal yuklama bilan ishlanganda isrof bo'luvchi energiya yil davomida yuklama grafigi bo'yicha ishlanganda isrof bo'luvchi energiyaga teng bo'ladi, ya'ni

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \Delta P_{\max} \tau, \quad (3.15)$$

bu yerda  $N$  — yuklama grafigining pog'onalari soni.

Elektr energiyasi isrofi va iste'molchi tomonidan qabul qilinuvchi elektr energiyasi orasidagi bog'lanishni quyidagi tartibda hosil qilish mumkin.

Iste'molchi tomonidan qabul qilinuvchi energiya:

$$W = P_1 \Delta t_1 + P_2 \Delta t_2 + \dots + P_N \Delta t_N = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i = P_{\max} T_{\max}. \quad (3.16)$$

Bu yerda  $P_{\max}$  — yuklama qabul qiluvchi maksimal quvvat.

usul bir qator noqulayliklarga ega bo'lib, u faqat yuklama grafigi mavjud bo'lgan hollardagina qo'llanilishi mumkin. Shu sababli bu usul-dan foydalanish unchalik keng tarqalmagan.

$\tau$  uchun yuqorida keltirilgan ta'rifga muvofiq,

$$S_{\max}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i. \quad (3.21)$$

Bundan maksimal isroflar vaqti uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t}{S_{\max}^2}.$$

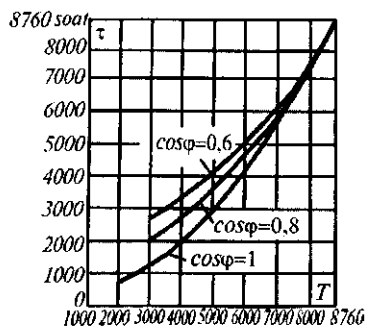
Pik qo'rinishidagi grafiklar uchun  $\tau$  ning qiymati quyidagi empirik formuladan topiladi:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{\max}}{10000})^2 \cdot 8760. \quad (3.22)$$

(3.22) formulani yil, ya'ni  $T = 8760$  soat uchun foydalanish mumkin. Bunga nisbatan kichik vaqt davomi uchun hisoblash aniqligini oshirish maqsadida (3.22) o'rniga quyidagi ifodadan foydalanish maqsadga muvofiq:

$$\tau = 2T_{\max} - T + \frac{T - T_{\max}}{1 + \frac{T_{\max}}{T} - \frac{2P_{\min}}{P_{\max}}} \left(1 - \frac{P_{\max}}{P_{\min}}\right)^2. \quad (3.22a)$$

Yuklama grafiklari bir qator turli xarakterda bo'lgan holatlar uchun hisoblashlar asosida  $\tau = f(T_{\text{ekat}}, \cos \varphi)$  bog'lanishni qurish mumkin va undan foydalanib,  $T_{\max}$  va  $\cos \varphi$  larning ma'lum bo'lgan qiymatlari bo'yicha  $\tau$  ni aniqlash mumkin (3.2- rasm).



3.2- rasm.  $\tau = f(T)$  bog'lanishlari.

### 3.3. Transformatorlarda quvvat va energiya isroflari

Transformatorlarda isroflar umumiy holatda liniyalardagidan farqli o'laroq ikkita tashkil etuvchidan — chulg'amlardagi va o'zakdagi isroflar yig'indisidan iborat bo'ladi. Transformatorning chug'ami asosan misdan, o'zagi esa po'latdan yasalganligi sababli isrofning bu tashkil etuvchilari mos ravishda *transformatorning misida va po'latida isrof bo'luvchi quvvatlar* deb ham yuritiladi.

Liniya uchun yuqoridagilardan kelib chiqib,  $\Delta t_i$  vaqt davomida yuklama o'zgarmas bo'lgan holatda transformatorning quvvat va energiya isroflari quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta P = \Delta P_k \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{nom}}} \right)^2 + \Delta P_c; \quad (3.23)$$

$$\Delta W = \left[ \Delta P_k \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{nom}}} \right)^2 + \Delta P_c \right] \Delta t_i. \quad (3.24)$$

Bu yerda  $\Delta P_k$ ,  $\Delta P_c$  — mos ravishda transformatorning misi va po'latida isrof bo'luvchi quvvatlar;  $S_{2i}$  — transformatorning ikkilamchi tomonida yuklama grafigining  $i$ - pog'onasiga mos keluvchi yuklama;  $S_{\text{nom}}$  — transformatorning nominal quvvati.

$k$  ta transformator parallel ishlaganda  $N$  ta pog'onali yuklama grafigining  $i$ - pog'onasida isrof bo'luvchi quvvat va yillik energiya isrofi mos ravishda quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

$$\Delta P_i = \frac{1}{k} \Delta P_k \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{nom}}} \right)^2 + k \Delta P_c; \quad (3.25)$$

$$\Delta W_i = \left[ \frac{1}{k} \Delta P_k \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{nom}}} \right)^2 + k \Delta P_c \right] \Delta t_i. \quad (3.26)$$

Yillik yuklama grafigi  $N$  ta pog'onadan iborat bo'lganda yil davomida transformatorlarda isrof bo'luvchi energiya quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta W = \Delta P_k \sum_{i=1}^N \left( \frac{S_{2i}}{S_{\text{nom}}} \right)^2 \Delta t_i + 8760 \cdot \Delta P_c. \quad (3.27)$$

Transformator chulg'amlarining umumiy qarshiligi  $R_T$  dan foydalanilganda (3.27) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta W = \frac{R_T}{U^2} \sum_{i=1}^N S_{2i}^2 \Delta t_i + 8760 \cdot \Delta P_c. \quad (3.27a)$$

Bu formulalardan transformatorning o'zagida isrof bo'luvchi quvvatning yuklamaga bog'liq emasligini ko'ramiz. Bu tasdiq 220 kVdan oshmagan nominal kuchlanishdagi tarmoqlardagi transformatorlarning normal ish sharoitlari uchun o'rinalidir. Shuningdek, taqsimlovchi elektr tarmoqlarini hisoblashda transformatorlardagi isrofnig bu tashkil etuvchisi juda kichikligi sababli, odatda, hisobga olinmaydi. Bunday holatda (3.23)—(3.27a) formulalardagi ikkinchi tashkil etuvchilar nolga aylanib, transformatorlardagi isroflar liniyalardagi isroflar bilan bir xil tartibda hisoblanadi.

### 3.4. Elektr tarmog'ining asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari

Elektr tarmog'ining eng muhim texnik-iqtisodiy ko'rsatkichi — bu kapital mablag'lar, ya'ni elektr tarmog'ini qurish uchun sarf bo'luvchi xarajatlardir. Elektr tarmoq uchun kapital mablag' quyidagicha topiladi:

$$K = K_L + K_{ps}. \quad (3.28)$$

Bu yerda  $K_L$  — liniyalarni qurish uchun umumiy kapital mablag';  $K_{ps}$  — podstansiyalarni qurish uchun umumiy kapital mablag'.

Liniyalarni qurish uchun kapital mablag'lar  $K_L$  o'rganish ishlari va trassalarni tayyorlash, tayanchlar, o'tkazgichlar, izolatorlar va shu kabi jihozlarni olish, ularni tashish, montaj qilish va boshqa ishlar uchun xarajatlardan tashkil topgan. Podstansiyalarni qurish uchun kapital mablag'lar  $K_{ps}$  joyini tayyorlash, transformator, uzgich va shu kabi podstansiyada o'rnatiluvchi barcha jihozlarni olish, montaj qilish va boshqa ishlar uchun xarajatlardan tashkil topgan.

Kapital mablag'lar alohida jihozlar narxlarining umumlashtirilgan qiymatlari yoki smetalar bo'yicha hisoblanishi mumkin.

Ikkinchi muhim texnik-iqtisodiy ko'rsatkich bo'lib bir yil davomida energetik jihozlar va tarmoqni ishlatish uchun lozim bo'lgan xarajatlar (qo'shimcha xarajatlar) hisoblanib, u quyidagicha topiladi:

$$X = X_L + X_{PS} + X_{\Delta W} = \frac{\alpha_{a.L} + \alpha_{T.L} + \alpha_{X.L}}{100} \cdot K_L + \frac{\alpha_{a.PS} + \alpha_{T.PS} + \alpha_{X.PS}}{100} \cdot K_{PS} + X_{\Delta W}. \quad (3.29)$$

Bu yerda  $X_L$ ,  $X_{PS}$  — liniya va podstansiyalar uchun bir yil davomida ishlatish xarajatlari;  $X_{\Delta W}$  — bir yil davomida tarmoqda isrof bo'luvchi elektr energiyaning narxi;  $\alpha_{a.L}$ ,  $\alpha_{a.PS}$ ,  $\alpha_{T.L}$ ,  $\alpha_{T.PS}$ ,  $\alpha_{X.L}$ ,  $\alpha_{X.PS}$  — liniya va podstansiya uchun amortizatsiya, joriy ta'mir va xizmat ko'rsatish yillik chegirmalarining nisbiy birlikdagi qiymatlari (1/yil) bo'lib, ularning qiymatlari qo'llanmalarda beriladi.

Agar liniya va podstansiyalar uchun amortizatsiya, ta'mir va xizmat ko'rsatishga sarf bo'luvchi ishlatish xarajatlarini birlashtirsak, u holda elektr tarmog'i uchun ishlatish xarajatlari ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$X = X_a + X_T + X_x + X_{\Delta W}. \quad (3.30)$$

Bu yerda,  $X_a$  — amortizatsiya chegirmalari;  $X_T$  — tarmoqda joriy ta'mirni amalga oshirish uchun chegirmalar;  $X_x$  — tarmoqqa xizmat ko'rsatishga chegirmalar;  $X_{\Delta W}$  — isrof bo'luvchi elektr energiyaning narxi.

Amortizatsiya chegirmalari kapital ta'mirni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan xarajatlar va ishdan chiqqan yoki eskirgan jihozlarni almashtirish uchun to'planuvchi mablag'lardan tashkil topadi. Jihozning xizmat ko'rsatish davri qancha qisqa bo'lsa, amortizatsiya chegirmasi shunchalik ko'p bo'ladi. Joriy ta'mir chegirmalari jihozni ishlaydigan holatda tutib turish uchun foydalaniladi. Joriy ta'mir mobaynida izolatorlar almashtiriladi, tayanch va podstansiya jihozlarining sirtlari bo'yaladi, katta bo'lmagan buzilishlar tuzatiladi va h.k. Ishdan chiqishning oldini o'tkazilib turiladi. Bu tadbirlar ham joriy ta'mir chegirmalari hisobidan moliyalanadi. Xizmat ko'rsatish chegirmalari bevosita xodimlarning maoshlari, transport va aloqa vositalari, xodimlarning yashash uylari va h.k. uchun sarflanadi.

Amortizatsiya va joriy ta'mir chegirmalari quyidagicha hisoblanadi:

$$X_a = \alpha_a K, \quad (3.31)$$

$$X_T = \alpha_T K, \quad (3.32)$$

bu yerda  $\alpha_a, \alpha_r$  — nisbiy birlikdagi amortizatsiya va joriy ta'mir chegirmalari, 1/yil.

Bir yil davomida isrof bo'luvchi elektr energiyasining narxi quyidagicha hisoblanadi:

$$X_{\Delta W} = \beta \Delta W, \quad (3.32)$$

bu yerda  $W$  — bir yil davomidagi elektr energiyasi isrofi, kW·soat;  $\beta$  — isrof bo'lgan 1 kW·soat elektr energiyaning narxi.

Texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga, shuningdek, elektr energiyasini uzatishning tannarxi ham kiradi. U bir yil davomida tarmoqni ishlatishga sarf bo'luvchi xarajatning iste'molchilarga uzatilgan 1 kW·soat elektr energiyasiga to'g'ri keluvchi o'rtacha qiymati bo'lib, quyidagicha topiladi:

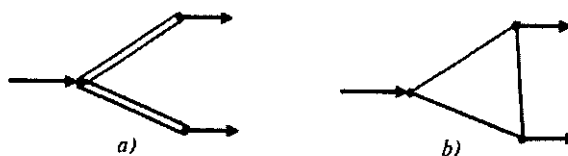
$$S = X/W. \quad (3.33)$$

Bu yerda  $W$  — bir yil davomida iste'molchilarga tarmoq orqali uzatilgan elektr energiyasi.

### 3.5. Elektr tarmoq variantlarini texnik-iqtisodiy jihatdan taqqoslash

Texnik-iqtisodiy jihatdan faqat texnik talablar bo'yicha ruxsat etilgan, ya'ni iste'molchilari talab etilgan sifatdagi va miqdordagi elektr energiyani berilgan ishonchlilikda oladigan variantlar taqqoslanadi.

Texnik-iqtisodiy jihatdan taqqoslashning birinchi bosqichida texnik talablarni qanoatlantiruvchi variantlar tanlanadi. Ikkinchi bosqichida esa texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar bo'yicha ularning eng optimali tanlanadi. Faraz qilaylik, 3.3- rasmda tasvirlangan variantlarni taqqoslash talab etiladi. Eng sodda yo'l — bu variantlar uchun kapital mablag' va qo'shimcha xarajatlarni aniqlash va so'ngra ularni taqqoslash. Agar  $K_1 > K_2$  va  $X_1 > X_2$  bo'lsa, u holda ikkinchi variant tanlanadi.



3.3-rasm. Elektr tarmoq sxemasining variantlari:  
a — radial; b — yopiq.

Variantlarni taqqoslash uchun qiyinroq bo'lgan  $K_1 < K_2$ ,  $X_1 > X_2$  (yoki teskari) holatlar tez-tez uchrab turadi. Bunday holatda kapital mablag'ning qoplanish davri, ya'ni ortiqcha kapital mablag'ning yillik ishlatishdagi xarajatlarning iqtisod qilinishi hisobiga qoplanish davri aniqlanadi:

$$T_o = \frac{K_2 - K_1}{X_1 - X_2}. \quad (3.34)$$

(3.34) formula bo'yicha aniqlangan qoplanish davri meyoriy qoplash davri  $T_n$  bilan solishtiriladi.

Agar  $T_o = T_n$  bo'lsa, u holda bu variantlar iqtisodiy jihatdan teng hisoblanadi.

Agar  $T_o < T_n$  bo'lsa, u holda kapital mablag' miqdori katta va yillik ishlatishdagi xarajatlar kichik bo'lgan variant iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanib, qabul qilinadi. Agar  $T_o > T_n$  bo'lsa, u holda kapital mablag' miqdori kichik va yillik ishlatishdagi xarajatlar katta bo'lgan variant iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanib, qabul qilinadi.

Amaliy hisoblashlarda ko'pincha ikki — uchta variantni taqqoslash yetarli bo'lmaydi. Ko'p variantlarning qoplanish davrini taqqoslash esa hisoblashlarni juda murakkablashib ketishiga olib keladi. Shu sababli tarmoq sxemasi variantlarini *kapital mablag'larining nisbiy iqtisodiy samaradorligini* hisoblash asosida taqqoslash usulidan foydalanish tavsiya etiladi. Bu usulga muvofiq eng afzal variantni aniqlashning iqtisodiy mezoni bo'lib quyidagi formula bo'yicha topiluvchi *keltirilgan xarajatlar* minimumligi hisoblanadi:

$$Z = p_n K + X. \quad (3.35)$$

Bu yerda  $K$  — kapital mablag'lar;  $X$  — yillik ishlatishdagi xarajatlar,  $X$  ko'rilayotgan vaqt davomida o'zgarmas deb qaraladi;  $p_n$  — kapital mablag'lar nisbiy samaradorligining meyoriy koeffitsiyenti,  $p_n = 0,12$  1/yil.

Keltirilgan xarajatlar eng kichik bo'lgan variant eng afzal, ya'ni iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq variant hisoblanadi. Bu variant uchun quyidagilar o'rinlidir:

$$\min_i Z_i = \min_i (p_n K_i + X_i). \quad (3.36)$$

Bu yerda  $i$  — variant nomeri.

Agar qurilish bir necha yil davom etsa va yillik ishlatish xarajatlari har yil uchun turlicha bo'lsa, u holda birinchi yilga keltirilgan xarajatlar quyidagicha aniqlanadi:

$$Z = \sum_{t=1}^T \frac{p_n K_t + \delta X_t}{(1 + p_{n,k})^{t-1}}. \quad (3.37)$$

Bu yerda  $T$  — tarmoqni qurish davri bo‘lib, bu davrdan so‘ng kapital mablag‘ ishlatilmaydi, foydalanishdagi xarajatlar esa yillar bo‘yicha o‘zgarmaydi va  $X_t$  ga teng bo‘ladi;  $K_t$ ,  $X_t$  — hisoblanayotgan davrning  $t$  - yili uchun kapital mablag‘lar va yillik ishlatishdagi xarajatlar;  $p_{n,k} = 0,08$  — har xil davrdagi xarajatlarni keltirish meyoriy koeffitsiyenti;  $\delta X_t = X_t - X_{t-1}$  — bu  $t$ - yil uchun ishlatishdagi xarajatlarning  $(t-1)$  — yildagiga nisbatan o‘zgarishi.

Agar solishtirilayotgan variantlar elektr bilan ta‘minlashda ishonchlilik darajasi bo‘yicha katta farq qilsa, keltirilgan xarajatlar tarkibiga elektr energiyasini yetkazib berolmaslikdan ko‘riladigan zarar kiritilishi zarur.

Kichik elektr tarmoqlari yoki alohida obyektlarni taqqoslashda keltirilgan xarajatlar orasidagi farq 5 % dan kichik bo‘lganda ular iqtisodiy jihatdan teng deb hisoblanadi. Bunda albatta taqqoslanayotgan variantlar uchun bir xil bo‘lgan elementlar hisobga olinmasligi lozim. Iqtisodiy jihatdan teng bo‘lgan variantlar orasidan birini tanlash ularning iqtisodiy ekvivalent sifatida tasvirlab, keltirilgan xarajatlar tarkibiga kiritib bo‘lmaydigan xossalarni muhandislik jihatidan baholash asosida amalga oshiriladi. Bunda tarmoqning taraqqiyot istiqbollari, ishlatishdagi qulaylik, materiallarning taqchilligi, qo‘llanilayotgan jihozlarning amalliyliigi va boshqa faktorlar hisobga olinadi.

### **3.6. Elektr tarmog‘i variantini ishonchlilik darajasini hisobga olib tanlash**

Elektr tarmog‘i taraqqiyotining solishtiriluvchi barcha variantlari iste‘molchilarga bir xil darajada elektr energiyasi yetkazib berilishni ta‘minlashi kerak. Har bir variantda belgilangan vazifalarni foydalanish ko‘rsatkichlarini me‘yoriy hujjatlarda keltirilgan darajada saqlanishini ko‘zda tutuvchi ishonchlilikni ta‘minlash lozim. Elektr bilan ta‘minlashda ishonchlilikka qo‘yiladigan talablar „Elektr uskunalarining tuzilish qoidalari“ (EUTQ) bo‘yicha elektr qabul qilgichlarning toifalariga muvofiq belgilanadi. EUTQga muvofiq barcha elektr qabul qilgichlar talab etiluvchi ishonchlilik darajasi bo‘yicha uch toifaga bo‘linadi.



I toifaga elektr bilan ta'minlashning buzilishi kishilar hayoti uchun xavf, xalq xo'jaligida katta zarar ko'rilishiga, yoy so'ndiruvchi asosiy jihozlarning ishdan chiqishiga, mahsulotni yalpi yaroqsiz bo'lishiga, murakkab texnologik jarayonlarning izdan chiqishiga, kommunal xo'jalikning o'ta muhim elementlarini faoliyat ko'rsatishini buzilishiga olib keladigan elektr qabul qilgichlar kiradi. Bunday elektr qabul qilgichlar elektr energiya bilan o'zaro rezervlangan ikkita mustaqil manbadan ta'minlanishi shart. Bunday mustaqil manbalar bo'lib, jumladan, bitta podstantsiyaning ikkita manbadan ta'minlanuvchi ikkita shinalar sistemasi yoki seksiyasi hisoblanishi mumkin. I toifa iste'molchilarini elektr bilan ta'minlashdagi uzilish rezerv ta'minotni avtomatik kiritish vaqti davomida ruxsat etiladi.

II toifa elektr qabul qilgichlarga uzilib qolishi yalpi mahsulot ishlab chiqarishning susayishiga, ishchilar, mexanizmlar va sanoat transportlarini ishsiz turib qolishiga, shahar va qishloqlar aholisining normal faoliyatining buzilishiga olib keladigan elektr qabul qilgichlar kiradi. Bunday elektr qabul qilgichlarni ikkita o'zaro rezervlanuvchi mustaqil manbalardan ta'minlash tavsiya etiladi. Bunda elektr bilan ta'minlanishdagi uzilish rezerv manbani navbatchi personal yoki ko'chma brigada tomonidan ulashga ketguncha vaqt davomida ruxsat etiladi. II toifa elektr qabul qilgichlarni bitta elektr uzatish yo'li, shuningdek, bitta transformator orqali ham, agar ular ishdan chiqqan taqdirda uni ikki soatdan ortiq bo'lmagan vaqt davomida bartaraf etish imkoni mavjud bo'lganda, ta'minlashga ruxsat etiladi.

III toifa elektr qabul qilgichlariga qolgan barcha elektr qabul qilgichlar kiradi. Bunday elektr qabul qilgichlarni bitta manbadan elektr bilan ta'minlash uzilish yuz berganda uni bartaraf etish, ya'ni ishdan chiqqan elementni ta'mirlash yoki almashtirish uchun lozim bo'lgan vaqt bir sutkadan oshmaslik sharti bilan amalga oshirilishi mumkin.

I toifa iste'molchilari uchun elektr bilan ta'minlashdagi uzilish ko'riladigan zarar iqtisodiy ekvivalent sifatida ifodalash mumkin bo'lmagan asoratlar bilan bog'liqdir. I va II toifa iste'molchilarini ta'minlovchi elektr tarmoq sxemasining ishonchlilik darajasini baholovchi mezon sifatida ishonchlilikning quyidagi texnik ko'rsatkichlari qabul qilingan: ishdan chiqish oqimi parametri (yillik o'rtacha ishdan chiqishlar soni)  $\omega$ , ish.ch./yil; elektr bilan ta'minlashning qayta tiklanish o'rtacha vaqti  $T_r$ , yil/ish.ch.; yil davomida ishdan chiqmaslik ehtimolligi  $p$ , nisb. birl.

Ishonchlilik nazariyasida quyidagi tushunchalardan foydalaniladi: ishlash qobiliyati — sistemaning belgilangan funksiyani talab etilgan rejim parametrlari ta'minlangan holda bajara olish qobiliyati; ishdan chiqish — ish qobiliyatining buzilishi; ishdan chiqmaslik — sistemaning ishlash qobiliyatini belgilangan vaqt oralig'ida majburiy uzilishlarsiz saqlab qolish xossasi.

II toifa iste'molchilarida elektr bilan ta'minlashdagi uzilishdan ko'riladigan zarar iqtisodiy ekvivalent ko'rinishida ifodalanishi mumkin bo'lgan asoratlarga olib keladi. Bunda elektr bilan ta'minlashdagi uzilishdan kutiladigan yillik o'rtacha xalq xo'jalik zarari  $U$  (ming so'm/yil) keltirilgan xarajat ifodasiga kiririladi:

$$Z = p_n K + X + U. \quad (3.38)$$

Avariya (majburiy) natijasida elektr bilan ta'minlashning buzilishidan ko'riladigan yillik va o'rtacha zarar quyidagicha topiladi:

$$U_m = \omega T_m P_{\max} \varepsilon_{yu} U_{om}. \quad (3.39)$$

Bu yerda  $P_{\max}$  — normal holatdagi maksimal yuklama, kW;  $\varepsilon_{yu}$  — iste'molchi yuklamasining chegaraviy koeffitsiyenti;  $U_{om}$  — elektr bilan ta'minlashning majburiy uzilishidan ko'riladigan o'rtacha yillik solishtirma zarar, ming so'm/(kW.yil).

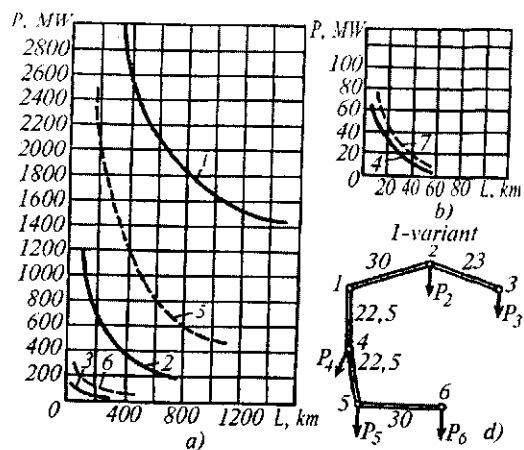
$\omega$  va  $T_m$  larning qiymatlari qo'llanmalardan olinadi.

$\varepsilon_{yu}$  — olingan ishdan chiqishda uzilib qoladigan yuklamaning normal holatdagi umumiy maksimal yuklamaga nisbati. Elektr bilan ta'minlash to'liq uzilganda  $\varepsilon_{yu} = 1$ , to'liq rezervlangan taqdirda ishdan chiqish yuz bersa, yuklama talab etuvchi quvvatni olaveradi va bunda  $\varepsilon_{yu} = 0$ .

$U_{om}$  yuklamaning tarkibi va  $\varepsilon_{yu}$  ga bog'liq ravishda tipik bog'lanishlardan aniqlanadi.

### 3.7. 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 sarflanuvchi metall kamayadi, liniyalarda uzatilayotgan quvvat oshadi, lekin tarmoq qurilishi uchun sarflanadigan kapital xarajatlar ortadi.



3.4-rasm. Turli nominal kuchlanishli elektr tarmoqlarining qo'llanilish sohalari: a— uzunligi 60 km, uzatiluvchi quvvat 100 MW dan katta bo'lgan liniyalar uchun; b— uzunligi 60 kmgacha va uzatiluvchi quvvat 100 MW dan kam bo'lgan liniyalar uchun; d— elektr tarmog'i sxemasining varianti. 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.

Past nominal kuchlanishli tarmoq kam kapital xarajatlar talab qiladi, lekin quvvat va elektr energiya isrofi oshishi sababli katta ishlatish xarajatlariga olib keladi, tarmoqning 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 quyida keltirilgan bir necha omillarga bog'liq: yuklama quvvati; ta'minlash markazi va yuklama orasidagi masofa; yuklamalarning joylashuvi; elektr tarmog'ining tuzilishi; kuchlanishni rostdash usullari va boshqalar.

Nominal kuchlanishning maqsadga muvofiq bo'lgan 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 uning 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;

3.4-rasmda turli nominal kuchlanishli elektr tarmoqlari nominal kuchlanishlarining liniya uzunligi va u orqali oquvchi aktiv quvvat bo'yicha aniqlovchi tipik egri chiziqlar tasvirlangan.

Tipik egri chiziqlar turli nominal kuchlanishli elektr tarmoqlarni qo'llashning iqtisodiy jihatdan maqsadga 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 empirik 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:

$$U_{nom} = 4,34\sqrt{l + 16P}. \quad (3.40)$$

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.Zaleskiy formulasida bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$U_{nom} = \sqrt{P(100 + 15l)}. \quad (3.41)$$

G.A. Illarionov quyidagi empirik formulani taklif qilgan:

$$U_{nom} = \frac{1000}{\sqrt{500/l + 2500/P}}. \quad (3.42)$$

Oxirgi formula 35 kV dan 1150 kV gacha bo'lgan barcha nominal kuchlanishlar shkalasi uchun qoniqarli natijani beradi.

Elektr tarmog'i variantlari yoki uning alohida uchastkalar har xil nominal kuchlanishga ega bo'lishi mumkin. Odatda, avval 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 taqqoslanadi.

Turli nominal kuchlanishda tarmoqning variantlari uchun xarajatlarni solishtirish natijasida butun tarmoqning yoki uning alohida qismlarining nominal kuchlanishini asosli tanlash mumkin.

### 3.8. 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 energiyasining isrofi bilan bog'liqdir. Faqat 10 kV va undan past kuchlanishli tarmoqlarning o'zidagi elektr energiyasi 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 yuzasiga 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 tarmoqlaridagi 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:

$$K = a + bF. \quad (3.43)$$

Bu yerda  $a$ — narxning kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan 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 oluvchi koeffitsiyent (so'm/km.mm<sup>2</sup>).

1 km liniyadagi elektr energiyasi isrofining narxi quyidagi ifodadan topilishi mumkin:

$$C_{\Delta E} = 3I^2(P/F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}. \quad (3.44)$$

Bu yerda  $I$  — normal holatda liniyaning maksimal toki, A;  $\rho$  o'tkazgich materialining solishtirma qarshiligi;  $\tau$  — maksimal isroflar vaqti, soat;  $\beta$  — elektr energiyasi isrofining solishtirma narxi (so'm/kW·soat).

Yuqoridagi ifodalarni hisobga olgan holda 1 km liniya uchun keltirilgan xarajat quyidagiga teng bo'ladi:

$$Z = (E_k + p)(a + bF) + 3I^2(\rho / F) \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}. \quad (3.45)$$

Keltirilgan xarajatning eng kichik qiymati quyidagi shart bajarilgan holatda ta'minlanadi:

$$\frac{dZ}{dF} = (E_k + p)b - ZI^2(\rho / F)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0. \quad (3.46)$$

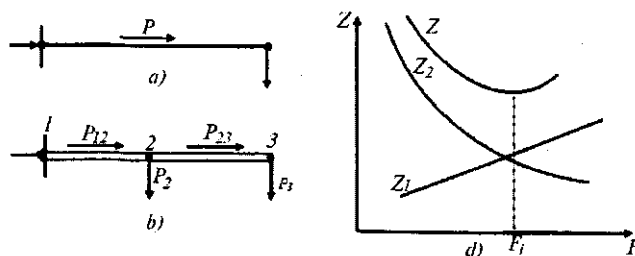
Bundan tokning iqtisodiy zichligi uchun ifodani hosil qilamiz:

$$j_H = I / F = \sqrt{(E_k + p)b / Z\rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}}. \quad (3.47)$$

Yuqorida aytib o'tilganidek, liniyani ishlatishdagi yillik xarajatlarning o'tkazgich kesim yuzasiga bog'liqlik egri chizig'i 3.5-rasmda ko'rsatilgan. Undan ko'rinib turibdiki, energiya isrofini qoplash xarajatlari  $C_{AE} = ZP(P/F) \cdot \tau \cdot \beta$  (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 chizikli bog'lanishdadir.

O'tkazgichning kesim yuzasi kattalashgani 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.

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 yetarligi o'xshaydi. Ammo iqtisodiy kesim yuzasining qiymatiga ta'sir etuvchi murakkab faktorlarning barchasini hisobga olish matematik jihatdan mumkin emas, shuning uchun EUTQ da har xil materiallardan



3.5-rasm. Keltirilgan xarajatlarning liniya o'tkazgichlari kesim yuzasiga bog'liqligi: a— bir zanjirli liniya; b— ikki zanjirli liniya; d— keltirilgan xarajatning tashkil etuvchilari.

tayyorlangan havo va kabel liniyalari uchun bir qator texnik-iqtisodiy hisoblarga asosan, hamda har xil maksimal yuklamadan foydalanish vaqti  $T_{\max}$  uchun iqtisodiy kesim yuzasini aniqlashda quyidagi ifodadan foydalanish tavsiya etiladi:

$$F = \frac{I_{\max}}{j_i} \quad (3.48)$$

Bu yerda  $I_{\max}$  — 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/mm<sup>2</sup>.

O'tkazgich materialining o'tkazuvchanligi qancha yuqori bo'lsa (misaluminiy), yoki liniya qancha qimmatroq bo'lsa, tokning zichligi shuncha kattadir va shunga bog'liq ravishda o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasi  $F_i$  shuncha kichikdir.

$j_i$  va  $F_i$  maksimal yuklamalardan foydalanish vaqti  $T_{\max}$  ga teskari proporsional ravishda bog'liqdir, ya'ni  $T_{\max}$  ni kattalashishi bilan u kamayadi,  $F$  esa kattalashadi, chunki  $T_{\max}$  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 mm<sup>2</sup> 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  $T_{\max}$  lar har xil bo'lgan tarmoqlarda iqtisodiy kesim yuzasi har bir uchastka uchun alohida aniqlanadi, lekin bunda uchastkalardagi har xil  $T_{\max}$  o'rniga butun tarmoq uchun uning o'rtacha qiymati  $T_{o'r,max}$  quyidagi ifodaga asoslanib qabul qilinishi ham mumkin:

$$T_{o'r,max} = \frac{E}{P_{\max}} = \frac{P_{1,max} \cdot T_{1,max} + P_{2,max} \cdot T_{2,max} + \dots + P_{n,max} \cdot T_{n,max}}{K_o(P_{1,max} + P_{2,max} + \dots + P_{n,max})} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i,max} \cdot T_{i,max}}{P_o \sum_{i=1}^n P_{i,max}} \quad (3.49)$$

Bu yerda  $K_0$  — yuklamalar maksimumi bir vaqtga to'g'ri kelishini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

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 koeffitsiyenti  $K_U$  kiritiladi, ya'ni uning o'rniga ekvivalent iqtisodiy zichlik  $j_{ie} = j_i K_U$  qabul qilinadi (bu yerda  $j_i$  — oxirida bitta yuklamaga ega bo'lgan va  $T_{\max} = T_{\text{o'r.max}}$  bo'lgan holdagi bitta liniya uchun mos tokning iqtisodiy zichligi).  $K_U$  koeffitsiyent quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K_U = \sqrt{\frac{I_2 L}{I_1 l_1 + I_2 l_2 + \dots + I_n l_n}} \quad (3.50)$$

Bu yerda  $I_1, I_2, \dots, I_n$  — 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 tarmoqlarida maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4000—5000 soatdan 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.

Tokning *normallangan iqtisodiy zichligi* bo'yicha o'tkazgichlarning kesim yuzasini tanlash usuli shundayin kamchilikka egaki, bu zichligi har xil turdagi liniyalar uchun amortizatsiyaga bo'lgan mablag' ajratish qayd qilingan deb aniqlanadi va o'tkazgichlarning solishtirma narxi kesim yuzasiga nisbatan to'g'ri chiziqli bog'lanishda deb hisoblanadi. Keltirilgan omillar ayrim hollarda o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasini tanlashda katta xatoliklarga olib keladi, bu ayniqsa bir turda bo'lmagan tarmoqlarda, xususan, ayrim uchastkalari har xil texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarga (o'tkazgich materialini shaklan ishlanishi, amortizatsiyaga ajratish va boshqalar)



ega bo'lganda bilinadi. Maksimal yuklamadan foydalanish vaqti katta oraliqda ham sezilarli xatolikni yuzaga keltiradi. Masalan uchinchi oraliq uchun (qo'llanma jadval bo'yicha)  $T_{\max} = 5000$  soat bo'lganda  $F_i$  ni aniqlashdagi xatolik 30 %;  $T_{\max} = 8760$  soat bo'lganda esa xatolik intervali o'rtacha vaqt qiymati uchun tanlangan kesim yuzasiga nisbatan 20 % ni tashkil etadi.

### 3.9. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini iqtisodiy intervallar usulida tanlash

O'tkazgichlar kesim yuzalarini tanlashning *iqtisodiy intervallar usuli* tokning iqtisodiy zichligi usulidagiga nisbatan aniqroq yechimni topish imkonini beradi. Bunda o'tkazgichlarning standart kesim yuzalari parametrlarning keltirilgan xarajatga ta'sir qiladigan uzluksizligi hisobga olinadi. O'tkazgichlarning ma'lum bir kesim yuzasi uchun shunday yuklamalar oralig'i iqtisodiy deyiladiki, shu oraliklardagi yuklamalarga mos birlik tokni (yoki quvvatni) birlik uzunlikka uzatish uchun bo'ladigan keltirilgan xarajat boshqa kesim yuzalaridagiga nisbatan eng kichik bo'ladi.

Uzunlik birligidagi aktiv qarshiligi  $r$  ( $\Omega$ ) bo'lgan  $F_m$  kesim yuzali 1 km liniyaga mos keltirilgan xarajat tok  $I$  ga bog'liq ravishda quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$Z_{(m)} = (E_k + p)K_{(m)} + ZI^2 r \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}. \quad (3.51)$$

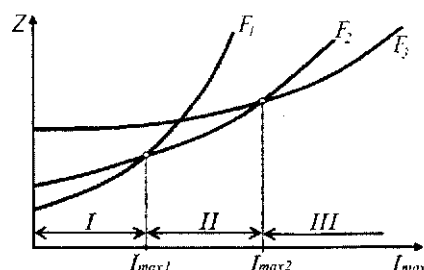
Ushbu kesim yuzasi  $F_m$  uchun iqtisodiy oraliqni hosil qiluvchi mumkin bo'lgan yuklamalar qiymatini kesim yuzalari  $F_{(n-1)}$  va  $F_n$ ,  $F_m$  va  $F_{(m+1)}$  larga mos keltirilgan xarajatlarni bir-biriga tenglashtirilib aniqlash mumkin.  $Z_m = Z_{(m-1)}$  shartiga asoslanib, kesim yuzasi uchun tokning minimal qiymati aniqlanadi:

$$I_{(m)k.min} = (E_k + p)(K_{(m)} + K_{(m-1)}) \cdot 10^3 / 3\tau\beta(r_{(m-1)} - r_{(m)}). \quad (3.52)$$

$Z_{(m)} = Z_{(m+1)}$  sharti bo'yicha xuddi shu kesim yuzasi uchun tokning maksimal qiymati aniqlanadi:

$$I_{(m)k.max} = \sqrt{(E_k + p)(K_{(m+1)} - K_{(m)}) \cdot 10^3 / 3\tau \cdot \beta(r_{(m)} - r_{(m+1)})}. \quad (3.53)$$

O'tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzasini (3.52) va (3.53) ga asosan, tuzilgan iqtisodiy interval jadvallari orqali, yoki (3.51) ifodaga asosan har xil kesim yuzalari uchun qurilgan keltirilgan xarajatning yuklama tokiga bog'lanish grafiklariga asosan (3.6-rasm)



3.6-rasm. Iqtisodiy intervallarni qurish.

eng katta tok  $I_{\max 1}$  ni aniqlaydi. Agar liniya toki  $I_{\max 1}$  dan kichik bo'lsa, u holda eng kichik xarajatlar  $F_1$  kesim yuzasiga to'g'ri keladi, ya'ni aynan shu kesim yuzani tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Agar tok  $I_{\max 1}$  va  $I_{\max 2}$  oralig'ida bo'lsa, ikkinchi kesim yuza  $F_2$ ,  $I_{\max 2}$  dan katta bo'lsa, uchinchi kesim yuza  $F_3$  iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'ladi.

Tokning iqtisodiy intervallaridan foydalanilganda liniyaning maksimal toki tushunchasini aniqlashtirish kerak. O'tkazgichlarning yuzalarini tokning quyidagi formula bo'yicha aniqlanuvchi hisobiy yuklamasi bo'yicha tanlash lozim:

$$I_h = I_{\max} \alpha_i \alpha_r \quad (3.54)$$

Bu yerda  $I_{\max}$  — foydalanishning beshinchi yilida liniyaning normal holatidagi maksimal tok. U ta'minlovchi va taqsimlovchi tarmoq liniyalari uchun elektr sistemasining maksimal yuklamali holatini hisoblash natijasida aniqlanadi;  $\alpha_i$  — yillar davomida liniyada yuklama o'zgarishini hisobga oluvchi koeffitsiyent;  $\alpha_m$  — liniya uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqti  $T_{\max}$  ning energetika tizimi uchun maksimal yuklkmadan foydalanish vaqtiga to'g'ri kelishini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

Yuqoridagi usullar bo'yicha topilgan (tokning iqtisodiy zichligi yoki iqtisodiy intervallar usuliga asosan) kesim yuzalari standart qiymatga yaxlitlanadi va tokning ruxsat etilgan qizdirish darajasi bo'yicha (HL uchun shikastlanishdan keyingi holati uchun), shuningdek, tojlanishga (110 kV va undan yuqori kuchlanishli HLLar uchun), mexanik mustahkamlikka (35 kV gacha bo'lgan HLLar uchun), ruxsat etilgan kuchlanish isrofiga (35 kV gacha bo'lgan uzun tarmoqlar) tekshiriladi.

aniqlash mumkin. 3.6-rasmda keltirilgan xarajatlarning maksimal tokka bog'lanishlari  $F_1$ ,  $F_2$  va  $F_3$  kesim yuzalari uchun ko'rsatilgan. Bunda  $F_3 > F_2 > F_1$ .

$F_1$  va  $F_2$  egri chiziqlarning kesishish nuqtasi yuzalar  $F_1$  va  $F_2$  bo'lgan variantlarda keltirilgan xarajatlar teng bo'ladigan

### 3.10. Liniya o'tkazgichining kesim yuzasini kuchlanishning ruxsat etilgan isrofi bo'yicha tanlash

Tarmoqning oxirgi punktlari uchun ruxsat etilgan kuchlanish isrofi elektr iste'molchilaridagi kuchlanish og'ishini normaga solingan qiymat orqali yoki nominal kuchlanishga nisbatan foiz hisobida aniqlanadi.

Elektr energiyasi sifatiga tegishli talablar bajarilishi uchun normal va avariya holatlarida  $\Delta U < \Delta U_{\text{rux}}$  shart qanoatlantirilishi lozim.

10—20 kV kuchlanishli shahar elektr liniyalari o'tkazgichlari va kabellarining kesim yuzasini tanlashda kuchlanish isrofi 5 % dan, 0,38 kV kuchlanishli tarmoqlarda esa (binoning ichida) 4—6 % dan oshmasligi lozim.

Qandaydir yuklamani ta'minlovchi liniyada ruxsat etilgan kuchlanish isrofi  $\Delta U_{\text{rux}}$  qiymati asosida o'tkazgichning eng kichik kesim yuzasini tanlashni ko'rib chiqamiz. Bunday liniyalarda kuchlanish isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n P_i \cdot R_i / U_n + \sum_{i=1}^n Q_i X_i / U_n. \quad (3.55)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish isrofi liniyaning aktiv va reaktiv quvvatlari va qarshiliklari bilan belgilanuvchi  $\Delta U_a$  va  $\Delta U_p$  dan tashkil topgan. Bunda aktiv qarshilik liniya o'tkazgichlarining kesim yuzasiga bog'liqdir (yuzaga teskari proporsional), induktiv qarshilikning unga bog'liqligi esa murakkab bo'lib (diametr  $D_{\text{ot}}$  logarifm belgisi ostida joylashgan), bu yuzani tanlash masalasini analitik ravishda yechishni qiyinlashtiradi. Ammo  $x_0$  ni kesimga bog'liq holda juda kam o'zgarishi tufayli (havo liniyalari uchun  $x_0=0,36-0,46 \Omega/\text{km}$ ; 6—10 kV li kabel liniyalari uchun  $x_0=0,06-0,09 \Omega/\text{km}$ ; 35 kVli kabel liniyalari uchun  $x_0=0,11-0,13 \Omega/\text{km}$ ) uning o'rtacha qiymatini olib, kuchlanish isrofining tarkibiy qismi  $\Delta U_p$  ni taxminiy aniqlash mumkin:

$$\Delta U_p = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot l_i \cdot x_0}{U_n}. \quad (3.56)$$

$\Delta U_{\text{rux}}$  dan  $\Delta U_p$  ni ayirib, ruxsat etilgan kuchlanish isrofining aktiv qarshilik  $r_0$  ga bog'liq bo'lgan tashkil etuvchisini aniqlash mumkin:

$$\Delta U_{a.rux} = \Delta U_{rux} - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot l_i \cdot x_0}{U_n} \quad (3.57)$$

(3.55) 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:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_i}{\gamma \cdot \Delta U_{a.rux} \cdot U_i} \quad (3.58)$$

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, kuchlanishni rostlash uskunalari mavjud bo'lsa, taqsimlovchi elektr tarmoqlarida ruxsatlangan kuchlanish isrofini normal hollarda 15 %, avariya dan keyingi hollarda esa 20 % deb hisobga olish mumkin.

**O'tkazgichning liniyaning butun uzunligi davomida o'zgarmas bo'lgan kesim yuzasini aniqlash.** Ko'pgina hollarda 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.

Bunday holatda, ya'ni qurilayotgan liniyaning uzunligi davomida  $F = \text{const}$  bo'lganda, o'tkazgichning kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha aniqlash juda soddalashadi:

$$\Delta U_{a.rux} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i l_i \cdot r_0}{U_n} = \frac{\rho}{FU_n} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (3.59)$$

Bundan qidirilayotgan yuza quyidagicha aniqlanadi:

$$F = \frac{\rho \sum_{i=1}^n P_i l_i}{\Delta U_{a.rux} \cdot U_n} \quad (3.60)$$

Olingan yuza standartgacha yaxlitlanadi, buning uchun ma'lumotnomadagi jadvaldan  $r_0$  va  $x_0$  aniqlanadi va keyin tekshiruv

hisobi orqali haqiqiy kuchlanish yo'qotilishi  $\Delta U$  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 kesim yuzasi yuklama tokining qizdirish darajasi bo'yicha tekshirilishi lozim.

### 3.11. Liniyaning tanlangan o'tkazgichlarini qizish shartlari bo'yicha tekshirish

O'tkazgichdan o'tayotgan tok unda tokning kvadrati, o'tkazgichning qarshiligi va bu tok oqib turgan vaqtga to'g'ri proporsional bo'lgan issiqlik energiyasining ajratib chiqaradi:  $W = 0,24I^2Rt$ . Bunda o'tkazgich u uchun ruxsat etilgan maksimal yuklama toki bilan belgilaunuvchi ma'lum haroratgacha qiziydi. Agar yuklama toki ta'sirida o'tkazgichning harorati ruxsat etilgan maksimal qiymatdan oshmasa, u holda mos yuklama toki o'tkazgich uchun ruxsat etilgan hisoblanadi.

O'tkazgichning qizish haroratiga bir qator faktorlar ta'sir etadi. Ularning asosiylari bo'lib tok ta'sirining davomiyligi va qaytariluvchanligi, atrof-muhitning harorati, o'tkazgichlarni tortilish yoki yotqizilish tartibi, o'tkazgichlarning materiali, izolatsiyaning markasi va xarakteristikasi hisoblanadi.

O'tkazgich yuklama toki ta'sirida qiziganda uning harorati birdaniga o'zining maksimal qiymatiga erishmaydi. Agar atrof-muhitning harorati  $\vartheta_0$ , o'tkazgichning harorati  $\vartheta$  bo'lsa, u holda haroratning farqi  $\vartheta - \vartheta_0$  hisobiga elektr tokining energiyasi issiqlik energiyasi ko'rinishida atrof-muhitga beriladi. Fizikadan ma'lumki, tok o'tganda o'tkazgich haroratining o'zgarish qonuni ko'rsatkichli funksiya orqali tasvirlanishi mumkin (3.7- rasm, 1- egri chiziq):

$$\vartheta - \vartheta_0 = (\vartheta_{\max} - \vartheta_0) \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right).$$

Bu yerda — o'tkazgichning tok ulanganidan so'ng  $t$  vaqt o'tganidan keyingi harorati;  $\vartheta_{\max}$  — o'tkazgichning ruxsat etilgan o'r-nashgan maksimal harorati;  $e$  — natural logarifmning asosi;  $T$  — qizish vaqti doimiysi. Shunday qilib, *muayyan sovitish sharoitida o'tkazgich orqali uzoq vaqt davomida o'tib turuvchi ma'lum tokka*

*o'kazgich haroratining atrof-muhit haroratiga nisbatan ma'lum qiymatga ortishi mos keladi.*

Yuklama toki ta'sirida qizish yuz berganda liniyaning normal ish sharoitlarini, jumladan, tutashuv kontaktlari va o'tkazgichlar izolatsiyasini ishonchli ishlashini ta'minlash uchun har bir o'tkazgich va kabelning qizish harorati ular uchun belgilangan maksimal chegaraviy qiymatdan oshib ketmasligi shart. Tokning maksimal chegaraviy haroratga mos keluvchi qiymati qizish bo'yicha maksimal ruxsat etilgan tok deb yuritiladi. Liniya tok bilan uzlukli yuklangan taqdirda maksimal ruxsat etilgan tok kattaroq bo'lishi mumkin. Yuklama toki uzilganidan so'ng o'tkazgich haroratining pasayish qonuni quyidagi bog'lanish ko'rinishida tasvirlanadi:

$$\vartheta - \vartheta_0 = (\vartheta_{\max} - \vartheta_0) e^{-\frac{t}{T}}.$$

Haroratning pasayish qonuni 3.7- rasmda 2- egri chiziq bilan tasvirlangan. Liniya  $\Delta t_0, \Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$  va h.k. vaqt intervallari davomida ulangan va  $\Delta t'_1, \Delta t'_2, \Delta t'_3$  va h.k. vaqt intervallari davomida uzilgan holatda bo'lib, uzlukli ish rejimida ishlaganda (3.7- rasmdagi 3- sinq chiziq) o'tkazgich haroratining ortib borishi 3.7- rasmdagi 4- egri chiziq bilan xarakterlanadi. Bu bog'lanishdan ko'rinadiki, ushbu holatda o'tkazgich haroratining ortishi ancha darajada kam bo'lib, mos holda maksimal ruxsat etilgan tok uzluksiz yuklamali holatdagiga nisbatan katta bo'ladi.

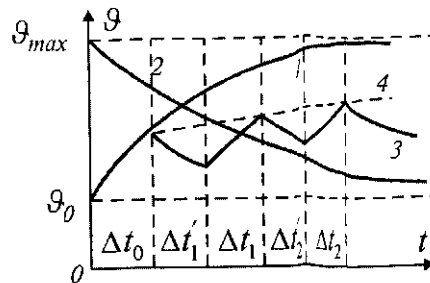
Atrof-muhitning ma'lum haroratida turli o'tkazgich va kabellar uchun maksimal ruxsat etilgan harorat qiymatlari 3.1- jadvalda keltirilgan.

O'tkazgich (yoki kabel) uchun tokning maksimal ruxsat etilgan qiymatini aniqlash uchun o'tkazgichda tokning oqishi ta'sirida vaqt birligi ichida ajraluvchi issiqlik miqdori  $P$  va shu vaqt davomida atrof muhitga uzatiluvchi issiqlik miqdori  $P'$  ni topamiz:

$$P = I^2 R, \quad P' = cs(\vartheta - \vartheta_0).$$

Bu yerda  $c$ — atrof-muhitga issiqlikni issiqlik o'tkazuvchanlik, nurlanish va konveksiya yo'llari bilan uzatilishini hisobga oluvchi koeffitsiyent,  $W/sm^2 \cdot K$ ;  $s$ — o'tkazgich sirtining yuzasi,  $sm^2$ . Bunda  $P$  va  $P'$  lar  $W$  birligida hosil bo'ladi.

Bu tok uchun chegaraviy barqaror harorat o'rnatilganda issiqlik muvozanati, ya'ni o'tkazgichda ajralayotgan issiqlik miqdorining



3.7- rasm. O'tkazgichlarning qizish va sovish egri chiziq-lari.

3.1- jadval

O'tkazgich yoki kabelning turi	Nominal kuchlanish, kV	Maksimal ruxsat etilgan harorat, °C	Atrof-muhit harorati, °C
Shinalar va ochiq o'tkazgichlar		+70	+25
Kabellar	3 kV gacha	+80	+15
	6 kV gacha	+65	+15
	10 kV gacha	+60	+15
	20 kV gacha	+55	+15
	35 kV gacha	+50	+15
Rezinaizolatsiyali oddiy kabel va o'tkazgichlar		+55	+15
Izolatsiyasi issiqlikka bardosh rezinadan yasalgan oddiy kabel va o'tkazgichlar		+65	+15

atrof-muhitga uzatilayotgan issiqlik miqdoriga tengligi  $P=P'$  ta'minlanadi. Bunga mos ravishda  $I^2 R = cs(\theta - \theta_0)$  va bundan

$I = \sqrt{\frac{cs}{R}(\theta - \theta_0)}$  kelib chiqadi.  $s = \pi dl$  va  $R = r_0 l$  ekanligini nazarda tutsak, oxirgi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$I = \sqrt{\frac{cd}{\pi r_0}(\theta - \theta_0)}. \quad (3.61)$$

Mazkur olingan o'tkazgich uchun maksimal ruxsat etilgan harorat  $\theta_{\text{mux}}$  ni bilgan holda u uchun qizish bo'yicha maksimal ruxsat etilgan tokni ham aniqlash mumkin:

$$I_{\text{mux}} = \sqrt{\frac{cd}{\pi r_0}(\theta_{\text{mux}} - \theta_0)}. \quad (3.63)$$

O'tkazgich va kabellarni qizish shartlari bo'yicha tanlash va tekshirishda qo'llanmalarda keltiriluvchi jadvalardan foydalaniladi. (3.61) va (3.62) formulalardan foydalanib, o'tkazgich uchun jadval ma'lumotlari  $I_{\text{rux}}$ ,  $\vartheta_0$  va  $\vartheta_{\text{rux}}$  lar bo'yicha muhitning har qanday haroratida maksimal ruxsat etilgan tokni aniqlash formulasini hosil qilishimiz mumkin:

$$I = I_{\text{rux}} \sqrt{\frac{\vartheta' - \vartheta_0}{\vartheta_{\text{rux}} - \vartheta_0}}. \quad (3.63)$$

Bu yerda  $\vartheta$ ,  $\vartheta_0$  — topilayotgan tok uchun harorat bo'yicha berilgan yangi shartlar.

Yuklama toki ma'lum bo'lganda (3.63) bo'yicha o'tkazgichning qizish haroratini aniqlash mumkin:

$$\vartheta' = \left( \frac{I}{I_{\text{rux}}} \right)^2 (\vartheta_{\text{rux}} - \vartheta_0) + \vartheta_0.$$

Yuqorida keltirilgan formulalar aktiv qarshiligi oqayotgan tok miqdoriga bog'liq bo'lgan po'lat o'tkazgichlar uchun o'rinli emas. Shunday qilib, o'tkazgichni qizish bo'yicha hisoblash shartini quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:  $I_u < I_{\text{rux}}$ . Bu yerda  $I_u$  — yuklamaning uzoq vaqt davomida o'tib turuvchi toki, A;  $I_{\text{rux}}$  — bu o'tkazgich uchun maksimal ruxsat etilgan tok, A.

### ***Nazorat savollari***

1. Elektr tarmoqlarini solishtirishda qanday texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar hisobga olinadi? Asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarni ta'riflang.
2. Elektr uzatish liniyasida quvvat va energiya isroflari qanday hisoblanadi?
3. Transformatorlardagi isroflar qanday tashkil etuvchilardan iborat va ular nimalarga bog'liq?
4. Elektr tarmoqlarini texnik-iqtisodiy jihatdan taqqoslash usullarini tushuntiring? Elektr tarmoqlarini taqqoslashda ishonchlilik ko'rsatkichi qanday hisobga olinadi?



---

## 4. OCHIQ ELEKTR TARMOQLARINI KUCLANISH ISROFI BO'YICHA HISOBLASH

### 4.1. Mahalliy elektr tarmoqlarining liniyalarida ruxsat etilgan kuchlanish isroflari

Mahalliy (taqsimlovchi) elektr tarmoqlarining ta'minlash manbalari bo'lib elektr stansiyalarining generator kuchlanishi shinalari yoki tuman podstansiyalarining ikkilamchi kuchlanish (6-10-35 kV) shinalari hisoblanadi. Elektr energiyasini iste'molchilarga uzatishda liniyalar va transformatorlarda kuchlanish isrofi sodir bo'ladi va shu sababli iste'molchilardagi kuchlanishlar doimo o'zgarib turadi.

Kuchlanishning nominal qiymatiga nisbatan farq qilishi kuchlanishning og'ishi va tebranishi bilan belgilanishi mumkin. *Kuchlanishning og'ishi* elektr tarmog'ining turli bo'g'inlaridagi yuklama, ta'minlash manbalarining holatlari, yuklamalar quvvatlarining sekin o'zgarish jarayoni bilan xarakterlanadi. Bunda yil va, hatto, sutka davomida tarmoqning ayrim nuqtalarida kuchlanishning qiymati o'zgaradi, nominal qiymatidan og'adi. *Kuchlanishning tebranishi* — jarayonning tez o'zgarishi (sekundiga 1 % dan kichik bo'lmagan tezlikda) bilan xarakterlanib, bu elektr tarmoq normal holatining to'satdan (masalan, yirik iste'molchilarning ulanishi, ularning o'zgaruvchan ish holatlari, elektr tarmoqlarida qisqa tutashuvlar va h.k.lar ta'sirida) buzilishi natijasida kuchlanishning qisqa muddatli o'zgarishidir.

Elektr iste'molchilarining normal ishlashini ta'minlash uchun ularga nominal kuchlanishlarga yaqin bo'lgan kuchlanish berish lozim. Agar berilayotgan kuchlanish nominal kuchlanishga nisbatan katta miqdorga farq qilsa, ular ishdan chiqishi mumkin. Masalan, cho'g'lanma lampalarda kuchlanishning 10 % ga pasayishi ular berayotgan yorug'lik oqimining taxminan 30 % kamayishiga olib kelsa, kuchlanishning 5 % ga ortishi uning xizmat ko'rsatish davrini taxminan ikki marta qisqartiradi. Lyumunessent lampalarda yorug'lik oqimi kuchlanishga unchalik kuchli bog'liq bo'lmasa-da (kuchlanishning 1 % ga pasayishi yorug'lik oqimini 1,25 % ga kamayishiga olib keladi), ularning yonishi kuchlanishning stabiligiga bog'liqdir.

Elektr motorlarida esa, aylantiruvchi moment kuchlanishning kvadrati to'g'ri proporsional bo'lib, kuchlanish pasayganda ularning quvvati tez kamayadi, qarshilik momenti o'zgarmas bo'lganda esa motorda tok bo'yicha yuklanish sodir bo'ladi. Bir vaqtning o'zida uning quvvat koeffitsiyenti kamayadi.

Kuchlanishning og'ishi va tebranishi nominal kuchlanishga nisbatan foizlarda ifodalanib, mos holda quyidagicha aniqlanadi:

$$m = \frac{U - U_n}{U_n} \cdot 100, \quad V_r = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_n} \cdot 100.$$

Davlat standartiga muvofiq kuchlanish og'ishining quyidagi ruxsat etilgan qiymatlari belgilangan:

a) elektr motorlari va ularni ishga tushirish apparatlari uchun: -5 % — +10 %;

b) ishlab chiqarish xonalari va jamoatchilik binolarida o'rnatiluvchi ishchi yoritish asboblari hamda tashqi yoritish proyektor qurilmalari uchun: -2,5 % — +5 %;

d) qolgan elektr iste'molchilari uchun: -5 % — +5 %.

Qisqa muddat davom etuvchi avariya dan keyingi holatlarda kuchlanishning yuqorida standartga muvofiq ko'rsatilganiga qo'shimcha ravishda 5 % gacha pasayishiga ruxsat etiladi.

Qishloq xo'jaligi elektr tarmoqlari va tortuvchi podstansiyalarning shinasidan ta'minlanuvchi elektr tarmoqlarida kuchlanishning kattaroq qiymatgacha og'ishiga ruxsat etiladi (masalan, tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlangan o'tkazgichli liniyalarga ega bo'lgan tarmoqlardagi istemolchilarda kuchlanishning +7,5 % — -10 % gacha og'ishi ta'minlanishi shart).

Yoritish lampalari va radioasboblarda kuchlanishning ruxsat etilgan tebranishi tebranish chastotasiga bog'liqdir. Ruxsat etilgan kuchlanish og'ishiga qo'shimcha tartibda ifodalangan kuchlanish tebranishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$V_r = 1 + \frac{6}{n}.$$

Bu yerda  $n$ — bir soatdagi tebranishlar soni.

Elektr iste'molchilariga ruxsat etilgan kuchlanishni berish uchun tarmoqlarda quyidagi tadbirlan amalga oshiriladi:

a) ta'minlovchi elektr tarmog'i va transformatorning chulg'amida kuchlanish isrofini hisobga oluvchi transformatsiyalash koeffitsiyentlariga ega bo'lgan transformatorlar qo'llaniladi; bundan tashqari, transformatorlarning yuqori kuchlanish chulg'amlari

transformatsiyalash koeffitsiyentlarini qandaydir oraliqda o'zgartiruvchi shoxobchalar bilan ta'minlanadi;

b) kuchlanishni yuklama ostida rostdash imkonini beruvchi moslamalarga ega bo'lgan transformatorlar va boshqa tarmoqdagi kuchlanish isrofini qoplovchi qurilmalar o'rnatiladi;

d) elektr tarmoqning sxemasi, nominal kuchlanish va liniyalarning o'tkazgichlarining kesim yuzalari ulardagi kuchlanish isrofi ruxsat etilganidan oshib ketmaydigan qilib tanlanadi.

Elektr tarmoqlarini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblashning vazifasi iste'molchilardagi kuchlanishlarning qiymatlarini yuqorida keltirilgan barcha faktorlar, liniyalarning yuklamalari va ta'minlash manbalarining kuchlanishlarini sutka davomida o'zgarishlarini hisobga olib aniqlashdan iboratdir.

*Kuchlanish isrofi* elektr tarmog'ining (liniyaning) olingan nuqtalaridagi kuchlanishlarining absolut qiymatlari orasidagi algebraik farqdir.

Liniya o'tkazgichlari kesim yuzalarini to'g'ri tanlashning mezonini turli holatlarda iste'molchilarda kuchlanishning ruxsat etilgan qiymatini ta'minlashdir.

Bunday hisoblashni amalga oshirish uchun ta'minlovchi elektr tarmog'i, transformatorlar va taqsimlovchi elektr tarmoqlarida kuchlanish isroflarini turli ish holatlari uchun (masalan, maksimal va minimal yuklamalarda) alohida aniqlash va so'ngra transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentlari va ularni rostdash chegaralarini tanlash orqali to'g'ri qaror qabul qilish lozim.

Amaliyot shuni ko'rsatadiki, mahalliy tarmoqlarni yuqoridagi barcha faktorlarni e'tiborga olib hisoblash katta mehnat talab qiluvchi murakkab va har doim ham (xususan, iste'molchilarning yuklama grafiklari turlicha xarakterda bo'lgan holatlarda) aniq yechib bo'lmaydigan masaladir. Shu sababli mahalliy tarmoqlarni soddalashtirilgan usulda — kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash keng qo'llaniladi.

Ushbu usulda hisoblashlarni amalga oshirishda kuchlanish og'ishining quyidagi ruxsat etilgan qiymatlari qo'llaniladi:

a) 220 va 380 V kuchlanishli elektr tarmoqlari uchun transformator podstansiyasi shinasidan oxirgi elektr iste'molchisigacha bo'lgan oraliqda — 5—6,5 %, undan xonadonning ichidagi yoki xonadonlarning guruhli tarmog'ida 1—2,5 %;

b) 6—35 kV kuchlanishli tarmoq uchun: normal holatlarda — 6—8 %; avariya holatlarida — 10—12 %;

d) 6—35 kV kuchlanishli qishloq elektr tarmoqlarida ularni arzonlashtirish maqsadida kuchlanish isrofi 10 % gacha ruxsat etiladi.

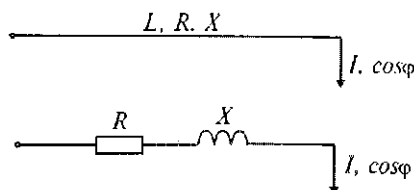
Liniyaning ta'minlash markaziga yaqin qismlarida kuchlanish nominalga nisbatan katta, ta'minlash markazidan uzoq bo'lgan qismida esa kichik bo'ladi. Bunday joylarda tarmoqqa ulangan transformatorlarning ikkilamchi tomonida talab etilgan kuchlanishni olish uchun ularning chulg'amlaridagi shohobchalar mos holda tanlanishi lozim. Kuchlanishning qiymati yuqori bo'lgan joylarda kattaroq transformatsiyalash koeffitsiyenti (+2,5 % yoki +5 %), past bo'lgan joylarda esa kichikroq transformatsiyalash koeffitsiyenti (–2,5% yoki – 5 %) o'rnatiladi.

Kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash usulini qo'llash bilan bog'liq bo'lgan xatoliklarni bartaraf etish maqsadida mumkin bo'lgan barcha hollarda hisoblashlarni o'rta (6—10 kV) va past (0,38 kV) kuchlanishli taqsimlovchi tarmoqlar uchun birgalikda olib borish tavsiya etiladi. Bunda tarmoq transformatorlarining qarshiliklarida kuchlanish isrofini 2,5—3 % qabul qilish mumkin. Bu miqdor yuklamasining quvvat koeffitsiyenti 0,92—0,87 bo'lgan transformatorning to'la yuklanganlik holatiga mos keladi.

#### 4.2. Oxiriga yuklama ulangan uch fazali tok liniyasini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash

Oxiriga simmetrik yuklama ulangan uch fazali tok liniyasining sxemasini ko'rib o'tamiz (4.1- rasm). Liniyaning uzunligi  $L$ , aktiv qarshiligi  $R$ , induktiv qarshiligi  $X$ . Yuklama liniya oxirida faza kuchlanishi  $U_r$  bo'lgan holatdagi tok  $I$  va quvvat koeffitsiyenti  $\cos\varphi$  yoki kompleks ko'rinishdagi uch fazali quvvat  $\dot{S} = P + jQ$  sifatida berilishi mumkin.

O'z navbatida, aktiv quvvat  $P$ , reaktiv quvvat  $Q$  va to'la quvvat  $S$  lar liniya kuchlanishi  $U$ , yuklama toki  $I$  va quvvat koeffitsiyenti  $\cos\varphi$  orqali quyidagicha ifodalanadi:



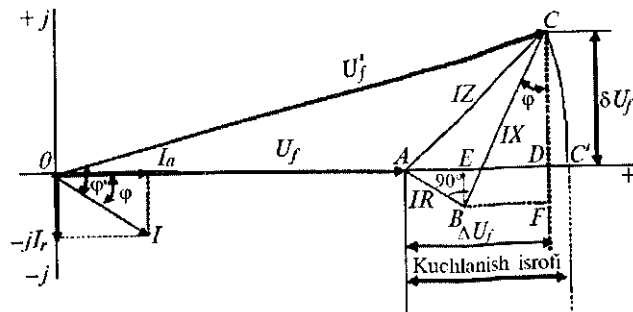
4.1- rasm. Oxiriga yuklama ulangan uch fazali tok liniyasining almashtirish sxemasi.

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi, \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi.$$

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

Bu yerda va bundan keyin kompleks to'la quvvatni  $\dot{S} = P + jQ$  ko'rinishda ifodalashda mavhum qismi oldidagi musbat ishora yuklamaning induktiv xarakterdagi reaktiv quvvatni iste'mol qilish holatiga to'g'ri keladi deb qabul qilamiz. To'la quvvatning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari oldidagi musbat ishoralar ularning yo'nalishlari generatordan iste'molchiga tomon bo'lib, bir xil ekanligini, yuklama induktiv harakterdagi reaktiv quvvatni iste'mol qilayotganini bildiradi. Reaktiv tashkil etuvchining oldiga manfiy ishoraning qo'yilishi reaktiv quvvatni aktiv quvvatga nisbatan qarama-qarshi tomonga yo'nalib, yuklama sig'im xarakteridagi reaktiv quvvatni iste'mol qilayotganini, ya'ni reaktiv quvvatni ishlab chiqarayotganini bildiradi.

Liniyani hisoblashni uning bitta fazasi uchun toklar va kuchlanishlar vektor diagrammasini ko'rib o'tishdan boshlaymiz (4.2- rasm). Faraz qilaylik, liniyaning oxiridagi yuklama toki  $I$ ,  $\cos \varphi$  va kuchlanishi  $U_f$  ma'lum bo'lib, uning boshlanishidagi kuchlanish  $U'_f$  va quvvat koeffitsiyenti  $\cos \varphi'$  ni topish talab etiladi. Koordinatalar sistemasining musbat haqiqiy sonlar o'qi bo'ylab liniya oxirida ma'lum bo'lgan kuchlanish  $U_f$  ( $OA$ ) ni qo'yamiz. Yuklama aktiv-induktiv xarakterda bo'lgan holatda tok vektori kuchlanish vektoridan berilgan  $\varphi$  burchakka ortda qolib, boshqa chorakda joylashadi. Tokni kompleks ko'rinishda tasvirlashda uning aktiv tashkil etuvchisi  $I_a$  haqiqiy sonlar o'qida musbat yo'nalishda,



4.2- rasm. Oxiriga yuklama ulangan liniyaning tok va kuchlanishi vektor diagrammasi.

reaktiv tashkil etuvchisi  $-jI_r$  esa mavhum sonlar o'qida manfiy yo'nalishda belgilanadi, ya'ni

$$\dot{I} = I_a - jI_r.$$

Shunday qilib, kuchlanish va tok vektorlarining qabul qilingan o'zaro joylashuvida kompleks tok mavhum qismining oldidagi minus ishora (kechikuvchi tok) reaktiv yuklama induktiv xarakterdakanligini, musbat ishora esa (ildamlovchi tok) sig'im xarakteridakanligini bildiradi.

Kompleks tokning tashkil etuvchilari uning absolut qiymati va kuchlanish vektoriga nisbatan burilish burchagi  $\varphi$  orqal quyidagicha ifodalanadi (4.2- rasm):

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

Liniyaning boshlanishidagi kuchlanishni aniqlash uchun  $U_r$  vektorining oxiriga tok vektoriga nisbatan parallel yo'nalishda aktiv qarshilikdagi kuchlanish pasayishi vektori  $IR$  ni, so'ngra esa tok vektoriga nisbatan  $90^\circ$  ga oldinga yo'nalgan induktiv qarshilikdagi kuchlanish pasayishi vektori  $IX$  ni qo'yamiz (4.2- rasmdagi  $ABC$  uchburchak). Hosil bo'lgan nuqta  $C$  ni koordinata boshi  $O$  bilan tutashtirib, liniya boshlanishidagi faza kuchlanishi vektori  $U_r'$  ni hosil qilamiz. Bu vektor tok vektoriga nisbatan  $\varphi'$  burchakka burilgan.

$AC$  vektori qiymat jihatidan  $IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$  ga teng bo'lib, ko'rilayotgan liniyaning bitta fazasida to'la kuchlanishning pasayishini ifodalaydi. Liniya kuchlanishning pasayishi quyidagi tashkil etuvchilarga ajratilishi mumkin:

a) bo'ylama tashkil etuvchi  $\Delta U_r = AD$  ( $U_r$  vektori bo'ylab yo'nalgan);

b) ko'ndalang tashkil etuvchi  $\delta U_r = DC$  ( $U_r$  vektoriga nisbatan perpendikular yo'nalgan).

Demak,

$$\dot{I}Z = \Delta U_r + j\delta U_r.$$

Bu tashkil etuvchilarni aniqlaymiz. Buning uchun  $AB=IR$  va  $BC=IX$  vektorlarni haqiqiy va mavhum sonlar o'qlari yo'nalishlarida proyeksiyalaymiz va natijasida quyidagi kesmalarni hosil qilamiz (4.2- rasm):

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

$$CF = IX \cos \varphi; \quad BE = DF = IR \sin \varphi.$$

Bulardan kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari uchun quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\Delta U_f = AD = AE + ED = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = I_a R + I_r X \quad (4.1)$$

$$\delta U_f = DC = CF - DF = IX \cos \varphi - IR \sin \varphi = I_a X - I_r R. \quad (4.2)$$

Bularga muvofiq, liniyaning boshlanishidagi kuchlanishning kompleks qiymati  $\dot{U}'_f$  va  $U'_f$  moduli quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{U}'_f = U_f + \Delta U_f + j\delta U_f = U_f + I_a R + I_r X + j(I_a X - I_r R), \quad (4.3)$$

$$U'_f = \sqrt{(U_f + I_a R + I_r X)^2 + (I_a X - I_r R)^2}. \quad (4.4)$$

Mahalliy elektr tarmoqlarini hisoblashda liniyaning boshlanishidagi kuchlanishni kuchlanish pasayishi bo'yicha emas, balki kuchlanish isrofi bo'yicha aniqlashdan iborat bo'lgan soddalashtirish kiritiladi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, kuchlanish isrofi liniyaning boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning absolut qiymatlarini algebraik ayirmasidir, ya'ni  $U' - U$ . Amalda u liniyaning boshlanishi va oxiriga ulangan voltmetrlar ko'rsatishlarining farqi sifatida aniqlanishi mumkin. Bu tushunchani liniyaning boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning geometrik ayirmasi hisoblanuvchi *kuchlanish pasayishi* bilan aralashtirmaslik lozim.

Kuchlanish isrofini vektor diagrammasi bo'yicha aniqlash uchun  $OC$  vektorini haqiqiy sonlar o'qi bilan ustma-ust tushuncha buramiz va natijada  $OC'$  kesmani hosil qilamiz. Albatta

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

kesma kuchlanish isrofini ifodalaydi. Biroq, mahalliy elektr tarmoqlarida  $U'_f$  va  $U_f$  vektorlar o'rtasidagi burchak juda kichik bo'lganligi sababli  $DC$  kesma ham juda qisqa bo'ladi. Bunday holatda yetarlicha aniqlik bilan *kuchlanish isrofi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga teng* deb hisoblash mumkin, ya'ni

$$AD \approx AC' \approx \Delta U_f = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi. \quad (4.5)$$

Qabul qilingan soddalashtirish natijasida yuzaga keluvchi xatolik  $\cos \varphi = 1$  bo'lgan eng yomon holatda 0,55 % dan oshmasdan,  $\cos \varphi < 1$  bo'lgan holatlarda esa bundan ham kichik bo'ladi.

Shunday qilib, elektr tarmoqlarini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash (4.1) formula bo'yicha kuchlanish isrofining bo'ylama tashkil etuvchisini aniqlash masalasiga keltiriladi.

(4.1) formulaga muvofiq liniya kuchlanishining isrofi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_r = \sqrt{3}I (R \cos \varphi + X \sin \varphi). \quad (4.6)$$

Liniya kuchlanishlari vektor diagrammasi ham 4.2- rasmda tasvirlangan faza kuchlanishlari vektor diagrammasi kabi ko'rinishda bo'ladi.

Elektr tarmoqlarini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblashda (4.5) va (4.6) formulalardan foydalanish yuklama toklari va trigonometrik funksiyalarni aniqlash bilan bog'liq bo'lgan ayrim qiyinchiliklarni tug'diradi. Shu sababli dastlabki ma'lumot sifatida yuklamaning kompleks shaklda ifodalangan to'la quvvati  $\dot{S} = P + jQ$  dan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

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

Bo'lganligi sababli (bu yerda  $U$  — liniya oxiridagi liniya kuchlanishi) bu ifodalarni (4.6) formulaga qo'yib, kuchlanish isrofini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta U = \sqrt{3} (IR \cos \varphi + IX \sin \varphi) = \sqrt{3} \left( \frac{P}{\sqrt{3}U} R + \frac{Q}{\sqrt{3}U} X \right)$$

yoki

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}. \quad (4.7)$$

Hisoblashlarda ko'pincha elektr iste'molchilari ulangan joydagi kuchlanishlar noma'lum bo'ladi. Bunday hollarda (4.7) formuladagi liniya oxiridagi kuchlanishning haqiqiy qiymati o'rnida nominal kuchlanishdan foydalanish ham yetarlicha aniqlikda hisoblash imkonini beradi:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_n}. \quad (4.8)$$

Bir jinsli elektr liniyalari uchun  $r_0/x_0 = \text{const}$  va  $R = r_0 l$ ,  $X = x_0 l$  ekanligini e'tiborga olib, (4.8) formulani quyidagi yanada soddaroq ko'rinishda tasvirlash mumkin:

$$\Delta U = \frac{Pr_0 + Qx_0}{U_n} l. \quad (4.9)$$



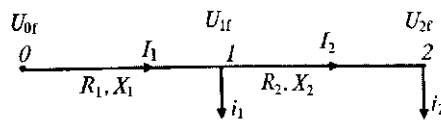
Kuchlanish isrofini foizlarda aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_n^2} \cdot 100. \quad (4.10)$$

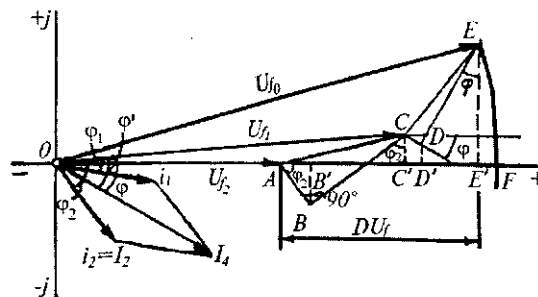
### 4.3. Bir nechta yuklamaga ega bo'lgan uch fazali tok liniyalarini hisoblash

Yuqoridagi paragrafda hosil qilingan xulosalarni bir nechta yuklamaga ega bo'lgan liniya uchun umumlashtiramiz. Buning uchun sxemasi barcha belgilashlar bilan 4.3- rasmda tasvirlangan ikkita yuklamali liniyani ko'rib o'tamiz va uning vektor diagrammasini quramiz (4.4- rasm).

Yuqorida ko'rib o'tilgan holatdagi singari asos sifatida liniyaning oxiridagi kuchlanish  $U_{f_2}$  ni qabul qilib, uni koordinata sistemasining haqiqiy sonlar o'qi bo'ylab yo'naltiramiz. Ikkinchi yuklamaning toki vektori  $i_2 = I_2$  ni bu kuchlanish vektoriga nisbatan  $\varphi_2$  burchakka kechiktirib joylashtiramiz. So'ngra  $I_2 R_2 = AB$  va  $I_2 X_2 = BC$  vektorlarini oldingi paragrafdagi singari joylashtirib, kuchlanish pasayishlari uchburchagi  $ABC$  ni quramiz. Natijada  $I$  nuqtadagi kuchlanishni ( $OC$  vektori =  $U_{f_1}$ ) hosil qilamiz. So'ngra birinchi yuklama tokining vektori  $i_1$  ni hosil bo'lgan kuchlanish vektori



4.3- rasm. Ikkita yuklamaga ega bo'lgan uch fazali tok liniyasining sxemasi.



4.4- rasm. Ikkita yuklamaga ega bo'lgan liniya kuchlanishi va toklarining vektor diagrammasi.

$U_f$  ga nisbatan  $\varphi_1$  burchakka kechiktirib o'rnatamiz va  $i_1$  va  $i_2=I_2$  toklarning geometrik yig'indisini aniqlaymiz. Ushbu toklarning geometrik yig'indisidan iborat bo'lgan tok  $I_1$  liniyaning birinchi uchastkasi orqali oqib, unda  $CDE$  uchburchak bilan belgilanuvchi kuchlanish pasayishini hosil qiladi. Bu to'g'ri burchakli uchburchakning katetlari  $CD=I_1R_1$  va  $DE=I_1X_1$  liniyaning ushbu uchastkasidagi aktiv va reaktiv qarshiliklarda kuchlanish pasayishi vektorlarini ifodalaydi.  $OE=U_{f_0}$  vektori liniyaning boshlanishidagi qidirilayotgan kuchlanishdir.

Kuchlanish pasayishlari vektorlarining haqiqiy sonlar o'qidagi proyeksiyasi  $AE'$  kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisini,  $AF$  kesma esa kuchlanish isrofini beradi.

Taqriban  $AE' \approx AF = \Delta U_f$  deb hisoblab, liniyaning boshlanishidan oxirigacha bo'lgan oraliqda faza kuchlanishining isrofini hosil qilamiz:

$$\Delta U_f = AB' + B'C' + C'D' + D'E' = I_2R_2 \cos \varphi_2 + I_2X_2 \sin \varphi_2 + I_1R_1 \cos \varphi + I_1X_1 \sin \varphi.$$

Bu yerda  $\varphi_2$  — tok  $i_2=I_2$  va kuchlanish  $U_{f_2}$  vektorlari orasidagi burchak;  $\varphi$  — tok  $I_1$  va kuchlanish  $U_{f_1}$  vektorlari orasidagi burchak.

$I \cos \varphi$  va  $I \sin \varphi$  larni mos holda tokning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari  $I_a$  va  $I_r$  lar orqali ifodalab, kuchlanish isrofi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta U_f = I_{a2}R_2 + I_{r2}X_2 + I_{a1}R_1 + I_{r1}X_1.$$

Liniya davomida  $n$  ta yuklama bo'lgan umumiy holat uchun bu formula quyidagi ko'rinishni oladi:

a) faza kuchlanishi isrofi uchun

$$\Delta U_f = \sum_1^n (I_{a1}R_i + I_{r1}X_i); \quad (4.11)$$

b) liniya kuchlanishi isrofi uchun

$$\Delta U = \sqrt{3} \sum_1^n (I_{a1}R_i + I_{r1}X_i). \quad (4.12)$$

Shuni nazarda tutish lozimki, ko'rib o'tilgan liniyaning birinchi uchastkasida (umumiy holatda esa oraliqdagi barcha uchastkalarda) aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarni aniqlash formulasida u yerdagi tokning  $U_{f_1}$  ga nisbatan burilish burchagi  $\varphi'$  dan foydalanish lozimligiga qaramasdan liniya oxiridagi kuchlanish  $U_{f_2}$  ga nisbatan

burilish burchagi  $\varphi$  dan foydalanilgan. Amalda  $\varphi \approx \varphi'$  deb qabul qilish mumkin. Chunki bu burchaklar o'rtasidagi farq juda kichik bo'lganligi sababli muzkur soddalashtirish hisoblash natijasiga sezilarli ta'sir etmaydi.

Yuqorida hosil qilingan (4.12) formulani yuklamalar quvvatlar bilan berilgan holat uchun ham yozish mumkin. Bunda ko'riyatgan liniyaning har bir uchastkasi uchun aktiv va reaktiv toklarning shu uchastka orqali o'tayotgan mos quvvatlar va kuchlanish orqali

ifodalari  $I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U}$  va  $I_r = \frac{Q}{\sqrt{3}U}$  larni qo'yib va liniyaning oxiridagi kuchlanish taxminan nominal kuchlanishga teng deb qabul qilib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta U = \sum_1^n \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{U_n} = \sum_1^n \frac{P_i r_0 + Q_i x_0}{U_n} l_i. \quad (4.13)$$

Elektr tarmog'ning har bir uchastkasi uchun aktiv va reaktiv quvvatlar  $P_i$  va  $Q_i$  larning qiymatlari u orqali ta'minlanayotgan barcha iste'molchilarning aktiv va reaktiv quvvatlarini qo'shish orqali topiladi.

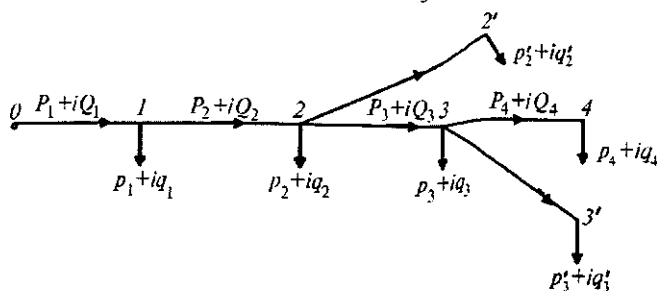
Shoxobchalangan uch fazali tok tarmog'ining turli nuqtalarigacha kuchlanish isrofini topish uchun ham (4.13) formuladan foydalanamiz. Bunda har qanday ikkita nuqta o'rtasidagi kuchlanish isrofini topish uchun ular orasidagi uchastkalardagi mos yuklamalar bo'yicha hisoblangan kuchlanish isroflari qo'shiladi.

Misol tariqasida sxemasi 4.5- rasmda tasvirlangan bir nechta yuklamaga ega bo'lgan shoxobchalangan elektr tarmog'ini ko'rib o'tamiz.

Tarmoq uchastkalaridagi quvvat oqimlari quyidagicha topiladi:

$$P_4 + jQ_4 = p_4 + jq_4;$$

$$P_3 + jQ_3 = (p_4 + p'_3 + p_3) + j(q_4 + p'_3 + q_3);$$



4.5- rasm. Shoxobchalangan elektr tarmoqning sxemasi.

$$P_2 + jQ_2 = (P_3 + p'_2 + p_2) + j(Q_3 + q'_2 + q_2);$$

$$P_1 + jQ_1 = (P_2 + p_1) + j(Q_2 + q_1).$$

Eng uzoqdagi nuqtagacha bo'lgan oraliqda kuchlanish isrofini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Delta U_{0-4} = \Delta U_{0-1} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4}.$$

2' nuqtagacha bo'lgan oraliqda kuchlanish isrofi ham shu tartibda aniqlanadi:

$$\Delta U_{0-2'} = \Delta U_{0-1} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-2'}.$$

Bu yerda  $\Delta U_{0-1}$ ,  $\Delta U_{1-2}$  — mos uchastkalarda (4.13) formula bo'yicha hisoblanuvchi kuchlanish isroflari.

Sodda ochiq elektr tarmoqlarini hisoblash tartibi bilan tanishamiz. Barcha yuklamalar kompleks quvvatlari bilan berilgan deb qaraymiz.

Yuqorida ko'rsatilgan usulda elektr tarmoqning uchastkalaridagi quvvat oqimlari topiladi. Har bir uchastkadagi ishchi toklar quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U_n}.$$

Maksimal yuklamadan foydalanish vaqtini bilgan holda yoki uni mos formula yordamida hisoblab, o'tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzalari topiladi va ular qizish shartlari bo'yicha tekshiriladi. So'ngra har bir uchastka uchun aktiv va induktiv qarshiliklar  $R = r_0 I$  va  $X = x_0 I$  formulalar bo'yicha hisoblanadi.

(4.13) formuladan foydalanib, elektr tarmog'ining eng uzoqdagi nuqtasi uchun kuchlanish isrofi topiladi. Agar bu isrof ruxsat etilgan miqdordan katta bo'lsa, u holda liniya o'tkazgichlarining kesim yuzasini oshirib, hisoblash takrorlanadi.

Uch fazali tarmoqlarni hisoblashning xususiy holatlarini ko'rib o'tamiz.

Faqat aktiv yuklamaga ega bo'lgan ( $\cos\varphi = 1$ ;  $Q = 0$ ) tarmoqlar (masalan, yoritish tarmog'i) uchun

$$\Delta U = \sqrt{3} \sum_1^n I_i R_i = \frac{\sum_1^n P_i R_i}{U_n}. \quad (4.14)$$

Agar liniyaning butun uzunligi davomida o'tkazgichining kesim yuzasi bir xil bo'lsa, u holda

$$\Delta U = \sqrt{3}r_0 \sum_1^n I_i l_i = r_0 \frac{\sum_1^n P_i l_i}{U_n} \quad (4.15)$$

yoki

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\rho}{F} \sum_1^n I_i l_i = \frac{\rho \sum_1^n P_i l_i}{FU_n}$$

Juda kichikligi sababli induktiv qarshiliklarini ( $X \approx 0$ ) e'tiborga olmasdan hisoblash mumkin bo'lgan elektr tarmoqlari (masalan, 10 kV gacha kuchlanishli kabel liniyalari; xonadonlarning ichkarisidagi o'tkazgichlar va h.k.) uchun

$$\Delta U = \sqrt{3} \sum_1^n I_{ai} R_i \quad \text{yoki} \quad \Delta U = \frac{\sum_1^n P_i R_i}{U_n} \quad (4.16)$$

Agar liniya butun uzunligi davomida bir xil kesim yuzali o'tkazgichga ( $r_0 = \text{const}$ ) va ularning bir xil joylashuviga ( $x_0 = \text{const}$ ) ega bo'lsa, u holda kuchlanish isrofini topish formulasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\Delta U = \sqrt{3} \left( r_0 \sum_1^n I_{ai} l_i + x_0 \sum_1^n I_{ri} l_i \right),$$

$$\Delta U = \frac{r_0 \sum_1^n P_i l_i + x_0 \sum_1^n Q_i l_i}{U_n} \quad (4.17)$$

### **Nazorat savollari**

1. Elektr tarmog'ida kuchlanish isrofi nima? U nimalarga bog'liq?
2. Ruxsat etilgan kuchlanish isrofi nima?
3. Kuchlanish og'ishi nima? Uning ruxsat etilgan diapazoni qanday?
4. Oxirida yuklama toki berilgan liniyani kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash tartibini tushuntiring.
5. Kuchlanish pasayishi va uning tashkil etuvchilariga ta'rif bering.
6. Tarmoq uchastkasida kuchlanish pasayishi, uning tashkil etuvchilari va kuchlanish isrofi o'rtasida qanday bog'liqlik mavjud? Buni vektor diagrammasi vositasida tushuntiring.
7. Bir nechta yuklamaga ega bo'lgan radial va shoxobchalangan elektr tarmoqlarini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash tartibini tushuntiring.

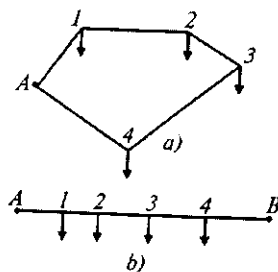
## 5. YOPIQ MAHALLIY ELEKTR TARMOQLARINI HISOBLASH

### 5.1. Asosiy ta'riflar va qo'llanilish sohasi

Yuqoridagi boblarda ko'rib o'tilgan ochiq (radial) elektr tarmoqlarining asosiy kamchiligi bo'lib, uchastkalardan biri ishdan chiqqanda elektr iste'molchilarining bir qismi elektr ta'minotisiz qolib ketishidir. Shu sababli *uzoq vaqt davomida elektr ta'minotisiz qolishi mumkin bo'lmagan iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ishonchli ta'minlash uchun yopiq tarmoqlar qo'llaniladi. Yopiq elektr tarmog'i* deb ikkitadan kam bo'lmagan tomondan ta'minlanuvchi iste'molchilarga ega bo'lgan elektr tarmog'iga aytiladi. Faqat ikki tomondan ta'minlanuvchi iste'molchilarga ega bo'lgan yopiq elektr tarmog'i *sodda yopiq elektr tarmog'i*, ikkitadan ortiq tomondan ta'minlanuvchi iste'molchilarga ega bo'lgan yopiq elektr tarmog'i *murakkab yopiq elektr tarmog'i* deb yuritiladi.

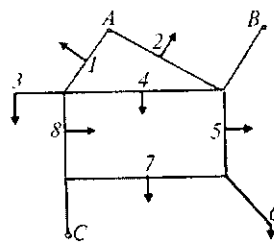
Halqa ko'rinishida bo'lib, bitta ta'minlash manbasiga ega bo'lgan sodda yopiq elektr tarmog'i *halqasimon elektr tarmog'i*, liniyani ikkita tomonidan ta'minlovchi manbalarga ega bo'lgan sodda yopiq elektr tarmog'i esa ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i deb yuritiladi.

5.1, *a*- rasmda bitta *A* ta'minlash manbasiga ega bo'lgan halqasimon elektr tarmog'i, 5.1, *b*- rasmda esa, ikkita *A* va *B* ta'minlash manbalariga ega bo'lgan ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i tasvirlangan.



5.1- rasm. Sodda yopiq elektr tarmoqlarining sxemalari: *a*— halqasimon tarmoq; *b*— ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq.

Bu yerda halqasimon elektr tarmoq'ini ta'minlash manbasida ochish orqali o'songina tartibda ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq ko'rinishiga keltirish mumkinligini ko'ramiz. 5.2- rasmda uchta ta'minlash manbasi *A*, *B*, *C* ga ega bo'lgan murakkab yopiq elektr tarmoqning sxemasi tasvirlangan. Bunday tarmoqni yuqoridagi usulda ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq ko'rinishiga keltirib bo'lmaydi.

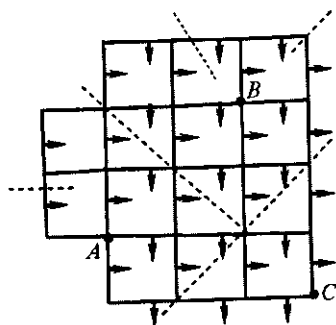


5.2- rasm. Murakkab yopiq elektr tarmog'ining sxemasi.

Mahalliy elektr tarmoqlarida asosan halqasimon yoki ikki tomondan ta'minlanuvchi, shuningdek, amalda halqasimon elektr tarmog'ining xususiy ko'rinishi hisoblanuvchi ikki zanjirli liniyalar ko'rinishidagi sodda yopiq elektr tarmoqlaridan foydalaniladi.

Mahalliy elektr tarmoqlarida murakkab yopiq elektr tarmoqlarni qo'llanilish sohasi „yopiq to'r“ deb yuritiluvchi past kuchlanishli tarmoq bilan cheklanadi. Bunday turdagi tarmoqlar katta shaharlarda kommunal yuklamalarni 400/220 kV kuchlanishda ta'minlash uchun qo'llaniladi. Bunday tarmoqning sxemasi shahar ko'chalarida joylashib, chorrahalarda tutashgan va bir nechta manbadan parallel ta'minlanuvchi liniyalardan iboratdir (5.3- rasm).

Amaliy hisoblashlarda yopiq to'r ta'minlash manbalaridan bir xil uzoqlikda bo'lgan nuqtalarda shartli ochilib (5.3- rasmdagi shtrixli liniyalar), ochiq tarmoqlar ko'rinishiga keltiriladi. So'ngra hosil bo'lgan ochiq tarmoqlar odatdagi, masalan, metall sarfining minimalligi yoki ruxsat etilgan kuchlanish isrofi usullarida hisoblanadi.



5.3- rasm. „Yopiq to'r“ sxemasi.

## 5.2. Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarni hisoblash

Sodda yopiq elektr tarmoqlarini hisoblashning umumiy holda bo'lgan ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarni hisoblash usuli bilan tanishamiz. Modomiki, halqasimon tarmoqlarni, yuqoridagi ko'rsatilganidek, osonlik bilan ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarga keltirish mumkin.

Uchta yuklama tuguniga ega bo'lgan bunday elektr tarmog'ning sxemasi 5.4- rasmda keltirilgan. Bu yerda  $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$  lar mos holda 1, 2, 3- tugunlardagi yuklamalar;  $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3, \hat{S}_4$  — liniyalarning A-1, 1-2, 2-3, 3-B uchastkalaridagi to'la quvvat oqimlari;  $Z_{A1}, Z_{12}, Z_{23}, Z_{3B}, l_1, l_2, l_3, l_4$  — liniya uchastkalarining to'la qarshiliklari va uzunliklari; A, B — ta'minlash manbalari;  $U_A, U_B$  — ta'minlash man'balarning kuchlanishlari.

Har bir uchastkada liniya kuchlanishining pasayishi quyidagicha aniqlanadi:

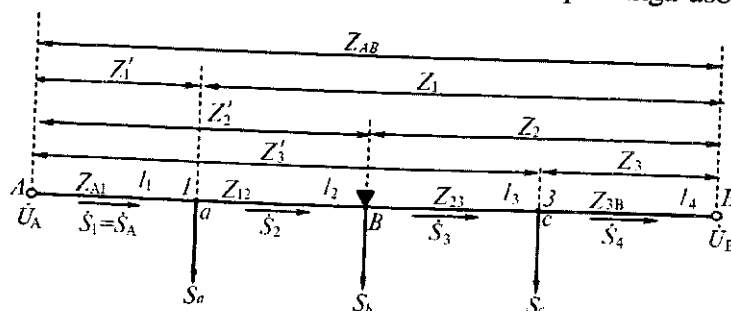
$$\Delta \hat{U}_i = \sqrt{3} I_i Z_i.$$

Bu yerda  $I_i, Z_i$  lar  $i$ - uchastkaning toki va to'la qarshiligi.

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

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

Liniyalardagi quvvatlar isrofini hisobga olmasdan, ya'ni har bir uchastka uzunligi davomida kuchlanishlar o'zgarmas deb faraz qilib  $\hat{U}_1 = \hat{U}_2 = \dots = U_n$  (taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchun mumkin bo'lgan holat), Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan A



5.4- rasm. Ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoqning sxemasi.



va  $B$  punktlar orasida kuchlanishning pasayishi uchun quyidagi tenglamani yozishimiz mumkin:

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B = \frac{\hat{S}_1 Z_{A1}}{U_n} + \frac{\hat{S}_2 Z_{12}}{U_n} + \frac{\hat{S}_3 Z_{23}}{U_n} + \frac{\hat{S}_4 Z_{3B}}{U_n}$$

yoki

$$\hat{S}_1 Z_{A1} + \hat{S}_2 Z_{12} + \hat{S}_3 Z_{23} + \hat{S}_4 Z_{3B} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{U}_n. \quad (5.1)$$

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

$$\hat{S}_2 = \hat{S}_1 - \hat{s}_a; \quad \hat{S}_3 = \hat{S}_1 - \hat{s}_a - \hat{s}_b; \quad \hat{S}_4 = \hat{S}_1 - \hat{s}_a - \hat{s}_b - \hat{s}_c. \quad (5.2)$$

Bu ifodalarni (5.1) tenglamaga qo'yamiz:

$$\begin{aligned} & \hat{S}_1 Z_{A1} + (\hat{S}_1 - \hat{s}_a) Z_{12} + (\hat{S}_1 - \hat{s}_a - \hat{s}_b) Z_{23} + \\ & + (\hat{S}_1 - \hat{s}_a - \hat{s}_b - \hat{s}_c) Z_{3B} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \cdot \dot{U}_n. \end{aligned}$$

yoki

$$\begin{aligned} & \hat{S}_1 (Z_{A1} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{3B}) - \hat{s}_a (Z_{12} + Z_{23} + Z_{3B}) - \\ & \hat{s}_b (Z_{23} + Z_{3B}) - \hat{s}_c Z_{3B} = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \cdot \dot{U}_n. \end{aligned}$$

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

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_A = \frac{\hat{s}_a (\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{3B}) + \hat{s}_b (\hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{3B}) + \hat{s}_c \hat{Z}_{3B} + (\hat{U}_A - \hat{U}_B) \cdot U_n}{\hat{Z}_{A1} + \hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{3B}}. \quad (5.3)$$

Quyidagicha belgilashlarni kiritamiz:

$$\dot{Z}'_1 = Z_{A1}; \quad \dot{Z}_1 = Z_{12} + Z_{23} + Z_{3A}; \quad \dot{Z}'_2 = Z_{A1} + Z_{12}; \quad \dot{Z}_2 = Z_{23} + Z_{3B};$$

$$\dot{Z}'_3 = Z_{A1} + Z_{12} + Z_{23}; \quad \dot{Z}_3 = Z_{3B}; \quad \dot{Z}_{AB} = Z_{A1} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{3A}.$$

(5.3) da ushbu belgilashlarni hisobga olamiz:

$$\dot{S}_A = \frac{\hat{s}_a \hat{Z}'_1 + \hat{s}_b \hat{Z}'_2 + \hat{s}_c \hat{Z}'_3}{\hat{Z}_{AB}} + \frac{\hat{U}_A - \hat{U}_B}{\hat{Z}_{AB}} \cdot U_n. \quad (5.4)$$

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

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{s}_i \hat{Z}'_i}{\hat{Z}_{AB}} + \frac{\hat{U}_A - \hat{U}_B}{\hat{Z}_{AB}} \cdot U_n. \quad (5.5)$$

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

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

$\dot{S}_i = \dot{S}_A$  aniqlanganidan so'ng (5.2) ifodalar yordamida uchastkalar bo'yicha taqsimlangan quvvat oqimlari topiladi. Shoxobchalardagi quvvatlarning musbat yo'nalishi sifatida shartli ravishda punktdan  $B$  ga tomon yo'nalish qabul qilingan (5.4- rasm). Bunday holatda  $B$  ta'minot manbasiga yaqin uchastkalardagi quvvat oqimlarining bir qismi manfiy ishora bilan hosil bo'ladi. Bu esa ularni teskari yo'nalishdaligini ko'rsatadi. Bunday holatda qandaydir tugunga quvvat ikki tomondan kirib keladi. Faraz qilaylik, ko'rilyotgan holat uchun bunday tugun 2- tugun bo'lsin. Bunday tugun *quvvat oqimining bo'linish nuqtasi* deb ataladi va maxsus belgi bilan ajratiladi (5.4- rasm). (5.4) 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 ( $\hat{U}_A = \hat{U}_B$ ) (5.5) formuladagi ikkinchi tashkil etuvchi nolga aylanadi va  $A$  punktdan chiquvchi quvvatni topish formulasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{s}_i \tilde{Z}_i}{\tilde{Z}_{AB}}. \quad (5.5a)$$

Shunday qilib, bitta ta'minlash manbasidan chiqadigan quvvatni aniqlash uchun yuklamalar momenti yig'indisini boshqa manbaga nisbatan aniqlash va uni to'liq qarshilik  $Z_{AB}$  ga bo'lish kerak.  $\hat{U}_A = \hat{U}_B$  bo'lganda yoki halqasimon sxemalarda 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:

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

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

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

Bu yerda

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

Bu ifodalarni (5.5a) formulaga qo'yamiz:

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

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

$$P_A = G_{AB} \sum_{i=1}^n (p_i R_i + q_i X_i) - B_{AB} \sum_{i=1}^n (q_i R_i - p_i X_i), \quad (5.6)$$

$$Q_A = G_{AB} \sum_{i=1}^n (q_i R_i - p_i X_i) + B_{AB} \sum_{i=1}^n (p_i R_i + q_i X_i). \quad (5.6a)$$

(5.6) va (5.6a) formulalar aktiv va reaktiv quvvatlarning taqsimlanishini yuklamani mutlaq haqiqiy va mavhum qiymatlari hamda qarshiliklari yordamida hisoblashga imkon beradi.  $U_A \neq U_B$  bo'lganda (5.6) va (5.6a) formulalar bo'yicha aniqlanuvchi quvvat taqsimlanishi qiymatlariga tenglashtiruvchi quvvatlarni 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 xususiy hollarni ko'rib o'tamiz.

1. Agar liniyaning butun uzunligi davomida tayanchlardagi 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  $X_i = mR_i$  va  $X_{AB} = mR_{AB}$  ekanligini hisobga olib, (5.5a) formulani quyidagicha o'zgartirish mumkin:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i + jq_i)(1 - jm) R_i}{(1 - jm) R_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i R_i}{R_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n q_i R_i}{R_{AB}}. \quad (5.7)$$

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

2. Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyaning barcha uchastkalarida o'tkazgichlarning o'zaro joylashuvi va kesim yuzalari bir xil, ya'ni  $r_i = \text{const}$  bo'lsa, u holda  $R_i = r_o L_i$  va  $R_{AB} = r_o L_{AB}$  ( $L_i$  — liniyaning mos yuklamadan  $B$  punktgacha bo'lgan oraliqdagi uchastkalari uzunliklarining yig'indisi;  $L_{AB}$  — liniyaning barcha uchastkalari uzunliklari yig'indisi) ekanligini e'tiborga olib, (5.7) ni quyidagi ko'rinishga keltirishimiz mumkin:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n p_i r_o L_i}{r_o L_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n q_i r_o L_i}{r_o L_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i L_i}{L_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n q_i L_i}{L_{AB}}$$

yoki

$$P_A = \frac{\sum_{i=1}^n p_i L_i}{L_{AB}}, \quad Q_A = \frac{\sum_{i=1}^n q_i L_i}{L_{AB}}.$$

Bunday holatda aktiv va reaktiv quvvat oqimlarini hisoblash aktiv va reaktiv quvvatlar bo'yicha alohida liniya uzunligi bo'yicha olib boriladi.

### ***Nazorat savollari***

1. Yopiq, sodda va murakkab yopiq elektr tarmoqlarini ta'riflang. Ularning afzalliklari nimadan iborat?
2. „Yopiq to'r“ sxemasi nima va u qanday joylarda qo'llaniladi?
3. Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyani hisoblash usulini tushuntiring.
4. Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarni hisoblashda qanday xususiy holatlar mavjud?

---

## 6. MAHALLIY ELEKTR TARMOQLARNI LOYIHALASH

### 6.1. Yuklamalarni aniqlash va ta'minlash manbalarini tanlash

Mahalliy ahamiyatga ega bo'lgan elektr tarmoqlarini loyihalash yuklamalarning joylashish o'rinlari aniqlash, ularning qiymatlarini hisoblash va ta'minlash manbasini tanlashdan boshlanadi.

Elektr tarmoqlarida iste'molchilarning yuklamalarini aniqlash yetarlicha murakkab, ba'zida esa ko'p sonli turli xarakterdagi faktorlarni e'tiborga olish bilan bog'liq bo'lgan noaniq masala hisoblanadi.

Bunday faktorlar jumlasiga quyidagilar kiradi:

1. Elektr energiyasi iste'molchilarining turi va ularning texnologik xarakteristikalari (og'ir, yengil sanoat; kommunal yuklama; yoritish; elektr transporti; neft va gaz qazib olish; tog'-kon va boshqalar).

2. Energetik jihozlanganlik (texnologik jarayonga elektr yuritmaning joriy etilganlik darajasi, texnologik jarayonni avtomatlashtirish; birlik mahsulotga to'g'ri keluvchi elektr energiyasi miqdori va h.k.).

3. Ko'rilayotgan elektr energiya iste'molchilari va tumanning loyihalash davriga rivojlanish dinamikasi.

4. Elektr iste'molchilarining ishlash xarakteristikasi (yuklanish darajasi; smena davomida ishlashining uzluksizligi va sutkalar davomida ish smenalarining soni).

5. Turli iste'molchilar maksimal yuklamalarining vaqt bo'yicha sutka va yil (mavsumli yuklamalar uchun) davomida ustma-ust tushish darajasi (maksimumlarning turli vaqtdaligi).

Maksimumlarni aniqlash nazariy yoki ishlab chiqarish jarayonidagiga o'xshash statistik materiallar asosida hosil qilingan sutkalik yuklama grafiklarining ordinatalarini qo'shish orqali amalga oshirilishi mumkin. Bunda aktiv va reaktiv yuklamalarning sutkalik va mavsumli maksimumlari alohida hisobga olinishi lozim.

Yuklamaning maksimumini hosil qilishda ta'sir etuvchi yuqorida sanab o'tilgan faktorlar tasodiy xarakterga ega bo'lganligi sababli maksimumning o'zi ham aniqlash uchun ehtimollar nazariyasi va matematik statistika apparatlaridan foydalanishni ko'zda tutuvchi

tasodifiy kattalikdir. Elektr iste'molchilari guruhi uchun hisoblash asosida aniqlanuvchi yuklama maksimumi ehtimolli miqdor bo'lib, uning kutilayotgan real miqdordan kichik bo'lishi ta'minlanadi. Elektr yuklamalarini hisoblashning bunday tartibi ko'p hisoblashlarni va mos vaqtni talab etadi hamda sanoat korxonalarini elektr ta'minoti tizimini spetsifik loyihalashda qo'llaniladi.

Ko'pgina hollarda mahalliy elektr tarmoqlarini loyihalashda maksimal yuklamalarni o'rnatilgan quvvatlar va hisobiy koeffitsiyentlar bo'yicha aniqlash usullaridan foydalaniladi. Loyihalashning birinchi bosqichida maksimal yuklamalar korxonaning bir kvadrat metriga to'g'ri keluvchi solishtirma yuklama zichligi, elektr energiya birligining mahsulotga to'g'ri keluvchi solishtirma sarfi yoki boshqa yiriklashtirilgan solishtirma ko'rsatkichdan foydalanishga asoslangan usul bo'yicha topilishi mumkin.

Sanoat korxonalarining yuklamalarini „hisobiy koeffitsiyentlar“ usulida aniqlashda korxonaning texnologik qismini loyihalash yoki ishlab turgan uskunalarni tahlil qilish asosida aniqlangan o'rnatilgan quvvatlaridan foydalaniladi.

*O'rnatilgan quvvat*  $P_u$  — elektr iste'molchisining pasportida ko'rsatilgan nominal quvvatdir.

*Hisobiy quvvat*  $P_h$  — o'rnatilgan quvvat orqali quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$P_h = k_t P_u. \quad (6.1)$$

Bu yerda  $k_t$  — hisobiy quvvat o'rnatilgan quvvatning qanday qismini tashkil etishini ko'rsatuvchi talab koeffitsiyenti.

Talab koeffitsiyentining qiymati quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$k_t = \frac{k_{yu} k_o}{\eta_m \eta_r}. \quad (6.2)$$

Bu yerda  $k_{yu}$  — elektr iste'molchisining yuklanish koeffitsiyenti bo'lib, uning nominal quvvatga nisbatan yuklanish darajasini ko'rsatadi;  $k_o$  — bir vaqtlik koeffitsiyenti bo'lib, u mazkur korxonada iste'molchilar ishlashining bir vaqtdamasligini ko'rsatadi;  $\eta_m$  va  $\eta_r$  — elektr motorlari va taqsimlovchi tarmog'ining foydali ish koeffitsiyentlari.

Turli xarakterdagi va turli yuklama grafigiga ega bo'lgan bir nechta iste'molchilarni ta'minlovchi elektr tarmog'ini hisoblashda iste'molchilarning har bir guruhi yoki sanoatning har bir sohasiga

keltirilgan talab koeffitsiyentlaridan foydalaniladi. Elektr iste'molchilari guruhlari uchun talab koeffitsiyentining taxminiy qiymatlari 6.1- jadvalda keltirilgan. Butun korxonaga uchun bu koeffitsiyentning qiymati quyidagichadir:

- kimyo — 0,17—0,4;
- to'qimachilik — 0,3—0,6;
- yog'ochni qayta ishlash — 0,15—0,3.

6.1- jadvalda, shuningdek, turli elektr iste'molchilari uchun quvvat koeffitsiyentlarining o'rtacha qiymatlari ham keltirilgan bo'lib, ular bo'yicha reaktiv quvvatning hisobiy qiymatlarini topish mumkin.

6.1- jadval

**Elektr iste'molchilari guruhi uchun talab va quvvat koeffitsiyentlari**

Elektr iste'molchilarining nomi	$k_t$	$\cos\varphi$
Yirik seriyali ishlab chiqarishda individual yuritmagaga bo'lgan metallni qayta ishlovchi dastgohlar	0,22—0,28	0,65
Kichik seriyali ishlab chiqarishda individual yuritmagaga bo'lgan metallni qayta ishlovchi dastgohlar	0,15—0,2	0,4—0,6
Kichik seriyali ishlab chiqarishda individual yuritmagaga bo'lgan metallni qayta ishlovchi dastgohlar og'ir ish holatida (shtamplovchi presslar, avtomatlar, yo'nuvchi dastgohlar va sh .k.) bo'lganda	0,1—0,14	0,65
Ventilatsiyalovchi va kompressor qurilmalar	0,6—0,8	0,8
Nasos qurilmalari	0,5—0,8	0,8
Ko'tarish mexanizmlari va kranlar	0,15—0,4	0,5—0,6
Elektr pechlar (qarshilikli, eritish va boshqa pechlar)	0,8—0,9	0,8—0,95
Induksion pechlar	0,8	0,1—0,35
Payvandlash apparatlari	0,3—0,5	0,7—0,8
Oshxona va restoranlarning elektr jihozlari (elektr isitish)	0,7	0,95
Sovitish jihozlari	0,3—0,5	0,7—0,8
Elektr yoritish tizimini ta'minlovchi tarmoqlar:		
— savdo va kichik ishlab chiqarish binolari;	1,0	1,0
— yirik ishlab chiqarish binolari;	0,95	1,0
— ma'muriy va umumovqatlanish binolari, kutubxonalar;	0,9	1,0
— bir nechta xonalardan iborat bo'lgan ishlab chiqarish binolari;	0,85	1,0
— davolash va o'quv tashkilotlari, idora xonalari.	0,8	1,0

Sex yoki bitta transformatorli podstansiyadan ta'minlanuvchi sexlar guruhining quvvatini aniqlashda har bir iste'molchi uchun (6.1) formula bo'yicha hisobiy aktiv quvvat, quyidagi formula bo'yicha hisobiy reaktiv quvvat:

$$Q_x = P_x \operatorname{tg}\varphi$$

va so'ngra barcha iste'molchilar uchun hisobiy yuklamalar  $P_{xi}$  va  $Q_{xi}$  larni qo'shib, podstansiyaning to'la quvvati topiladi:

$$\dot{S} = \sum_1^n P_{xi} + j \sum_1^n Q_{xi}.$$

Loyihalashtirilayotgan elektr tarmog'i sutkalik yuklama grafiklarining maksimumlari vaqt bo'yicha usma-ust tushmaydigan iste'molchilarni (masalan, bir va ikki smenali korxonalar va yoritish yuklamasini) ta'minlagan hollarda quvvatning umumiy qiymatiga *maksimumda qatnashish koeffitsiyenti* deb yuritiluvchi kamaytiruvchi koeffitsiyent kiritiladi:

$$P_{\max} = k_k \sum_1^n P_{xi}. \quad (6.3)$$

Turli xarakterdagi va kuchlanishdagi elektr tarmoqlarining yuklamalarini hisoblashda qatnashish koeffitsiyentining qiymati elektr uskunalarining tuzilish qoidalari (EUTQ) ga muvofiq ravishda qabul qilinadi.

Maksimal yuklamalarni aniqlashning yuqorida keltirilgan o'rnatilgan quvvat va talab koeffitsiyentidan foydalanishga asoslangan usulidan tashqari *solishtirma yuklama zichligi* usulidan ham foydalaniladi. Shunday qilib, sanoat korxonalari uchun quyidagi kattalikdan foydalaniladi:

$$s_{\text{sol}} = \frac{S_{\max}}{F}.$$

Bu yerda  $F$  — muayyan korxonaning ishlab chiqarish maydoni,  $\text{m}^2$ ;  $S_{\max}$  — maksimal yuklama, kVA.

Korxonaning texnologik loyihada mo'ljallangan maydoni va ayni paytda faoliyat ko'rsatayotgan yoki loyihalashtirilgan shunga o'xshash korxonalar bo'yicha solishtirma yuklama zichligi  $s_{\text{sol}}$  ni bilgan holda sex podstansiyalarining (yoki taqsimlovchi shchitlarning) quvvatlarini va asosiy ta'minlovchi liniyalarning kesim yuzalarini (iste'molchilarning aniq ro'yxatiga ega bo'lmasdan) aniqlash mumkin.



Korxanalarning taxminiy yuklamalarini aniqlashning yana bitta soddalashtirilgan usuli birlik mahsulot uchun *elektr energiya-ning solishtirma sarfi* usulidir. Elektr energiyasining solishtirma sarfi  $w$ ,  $t$  vaqt davomida (smena, sutka, yil va h.k.) ishlab chiqarilishi rejalashtirilgan mahsulot miqdori  $P$  ni bilgan holda bu vaqt davomida o'rtacha iste'mol qilinuvchi quvvat quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$P_{o'r} = \frac{wP}{t}.$$

Bu qiymat asosida hisobiy maksimum quyidagicha topiladi:

$$P_{\max} = k_m P_{o'r}.$$

Bu yerda  $k_m$  — maksimum koeffitsiyenti bo'lib, uning qiymati ayni paytda faoliyat ko'rsatayotgan korxonalaridagi kabi miqdorda qabul qilinadi.

Pasaytiruvchi podstansiyalar va ta'minlash manbalari joylashuvining qulay variantini aniqlash uchun joyning loyihalashtirilayotgan uchastkasini topografik rejasidan iborat bo'lgan yuklamalar kartogrammasi tuziladi. Bu kartogrammada yuklamalar yuzalari mazkur yuklamaga proporsional bo'lgan doirachalar ko'rinishida tasvirlanadi.

Yuklamalar kartogrammasi asosida taqsimlovchi va sex podstansiyalarini, 380—220 kV kuchlanishli tarmoqlarni loyihalashda esa guruhli taqsimlovchi shchitlarni, imkoni boricha yuklamalarga yaqinroq bo'lishiga harakat qilib joylashtirishning eng qulay varianti aniqlanadi.

Bir vaqtning o'zida tarmoqning mumkin bo'lgan ta'minlash manbalari va ularning joylashuvi aniqlanadi. Agar ushbu tumanda oldindan ta'minlash manbasi mavjud bo'lmasa, u holda yuqori kuchlanish liniyasiga ulanuvchi pasaytiruvchi podstansiya ko'rinishidagi yangi ta'minlash markazi loyihalashtiriladi. Bu podstansiyaning joylashish o'rni uni imkoni boricha eng katta yuklamalarga yaqin, taqsimlovchi tarmoqning uzunligi kam hamda har ikkala kuchlanishdagi havo va kabel liniyalarini o'tkazishning qulay bo'lishi shartlarini hisobga olib tanlanadi.

Hisobiy yuklamalarning qiymatlari va joylashish o'rinlari hamda ta'minlash manbalari aniqlanganidan so'ng tarmoq sxemasining bir nechta varianti mo'ljallanadi va tarmoqning kuchlanishini tanlashga kirishiladi.

## 6.2. Elektr tarmog'ining kuchlanishini tanlash

Elektr tarmog'ining kuchlanishini tanlash — loyihalashning asosiy masalalaridan biridir. Kuchlanishning qiymatiga o'tkazgich materiali uchun xarajatlar, energiya isrofi, liniya va apparaturalar izolatsiyasining narxi bog'liqdir.

Yuqorida ta'minlovchi elektr tarmoqlarida kuchlanishni tanlash usullari bilan tanishib o'tdik. Mahalliy ahamiyatga ega bo'lgan elektr tarmoqlari uchun nominal kuchlanishni tanlash ancha soddalashtirilgan tartibda amalga oshirilishi mumkin. Quyida ushbu usullar bilan tanishamiz.

Har qanday elektr tarmog'ida kuchlanishni tanlash uchun asosiy mezon turli kuchlanishlar uchun sxemaning tuzilishini ko'rib chiqish asosida minimal hisobiy keltirilgan xarajatlar ta'minlangan variantni aniqlashdan iboratdir. Agar solishtirilayotgan variantlar uchun iqtisodiy ko'rsatkichlar bir-biriga yaqin bo'lsa, u holda nominal kuchlanishi katta bo'lgan variant tanlanadi. Chunki, bu tarmoqning keyingi taraqqiyoti uchun qulay sharoitni vujudga keltiradi.

Elektr tarmoqlarini loyihalash tajribasidan kelib chiqib, ayrim tarmoqlarning kuchlanishlarini tanlashda variantlarni texnik-iqtisodiy solishtirishni amalga oshirmaslik mumkin.

Masalan, yuqorida aytib o'tilganidek, past kuchlanishli shahar taqsimlovchi elektr tarmoqlari, EUTQga muvofiq, uch fazali to'rt o'tkazgichli, qat'iy zaminlangan neytralli va 380/220 V kuchlanishli bo'lishi shart.

O'rta kuchlanishli shahar elektr tarmoqlari, EUTQga muvofiq, uch fazali, izolatsiyalangan neytralli va, qoidaga ko'ra, 10 kV va undan yuqori kuchlanishli bo'lishi shart.

Yangidan quriluvchi shahar elektr tarmoqlarida 6 kV kuchlanishning qo'llanilishiga faqat tarmoq bevosita (transformatsiyalashsiz) generatorlarning 6 kV kuchlanishli shinasiga ulanuvchi yoki tarmoqning faoliyat ko'rsatish hududida sanoat korxonolari ko'p miqdordagi 6 kV kuchlanishli motorlar bilan jihozlangan hollardagina (ularning tarmoqdagi yuklamasi 25 % dan kam bo'lmagan hollarda) ruxsat etiladi.

Shahar elektr tarmog'ini ta'minlash markazlari uchun kuchlanish tizimlarining mumkin bo'lgan variantlaridan iqtisodiy jihatdan eng foydalisi bo'lib 110/10 kV bir marta transformatsiyali sxema hisoblanadi.

35, 110 kV va ba'zan 220 kV kuchlanishli *chuqur kirishlash* katta shaharlar, sanoat korxonalarini va boshqa yuklamalari jamlangan obyektlar uchun tavsiya etiladi. Bunday hollarda iste'molchilarni elektr energiyasi bilan 10 kV kuchlanishda ta'minlash bunday tarmoqning uzatish qobiliyatini pastligi va katta isroflar tufayli mumkin bo'lmay qoladi.

Sanoat korxonalarining taqsimlovchi tarmoqlari 380, 660 V, 6, 10 kV nominal kuchlanishlarda quriladi. U yoki bu kuchlanishni tanlash tarmoqqa ulanuvchi elektr iste'molchilarining birlik quvvati va ular joylashgan maydonga bog'liqdir. Kuchlanishni tanlash uchun mezon bo'lib mumkin bo'lgan variantlarni texnik-iqtisodiy baholash hisoblanadi.

Shunday qilib, zamonaviy sanoat qurilmalarida quyidagi kuchlanishlardan foydalanish tavsiya etiladi:

1) elektr motorlarining quvvatlari 100 kW gacha bo'lganda — yoritish yuklamasiga ulangan 380/220 kV kuchlanishli tarmoqni qo'llash;

2) quvvat 500 kW gacha bo'lganda — 660 kV;

3) quvvat 200 kW dan 12500 kW gacha bo'lganda — 6 kV;

4) quvvat 630 kW dan 20000 kW gacha bo'lganda — 10 kV.

Yakuniy qaror, yuqorida eslatib o'tilganidek, texnik-iqtisodiy asoslashlar natijasida qabul qilinadi. Bunda, masalan, 380/220 V foydalanilganda 380/220 V kuchlanishli umumiy kuch va yoritish transformatorlarini qo'llash natijasidagi qo'shimcha ta'sir, 660 V o'rnida 6 yoki 10 kV kuchlanish foydalanilganda esa transformatorli podstansiya va jihozlarning qimmatlashuvi hisobga olinadi.

### **6.3. Elektr tarmoqlarining sxemalari**

Katta shaharlarni elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun 6—10 kV kuchlanishli elektr tarmoqlari sxemalarini qurishning ikkita prinsipial jihatdan farqlanuvchi tizimlari qo'llaniladi:

a) ta'minlovchi va taqsimlovchi liniyalarni o'zaro bog'lash vazifasini bajaruvchi taqsimlovchi punktli (TP) tizimlar;

b) iste'molchilarning transformatorli podstansiyalari (TrP) ta'minlash markazlariga bevosita taqsimlovchi tarmoq orqali ulangan tizimlar.

Katta shaharlarda, o'tmishda, ta'minlash markazi bilan ko'p bo'lmagan sondagi katta uzatish qobiliyatiga ega bo'lgan liniyalar orqali bog'langan TPga ega bo'lgan elektr ta'minoti tizimi keng qo'llanilgan. TP shinalariga taqsimlovchi tarmoqning kerak bo'lgan sondagi liniyalari ulanadi. Shunday qilib, TP go'yoki ta'minlash manbasini takrorlagan.

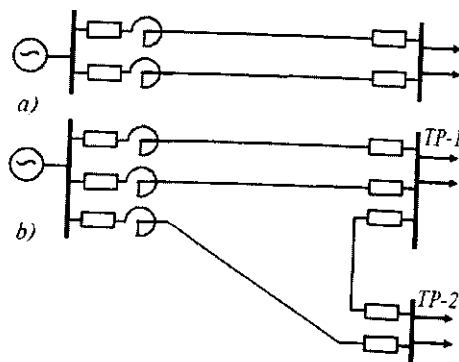
Bunday ikki pog'onali tarmoq, jumladan, qisqa tutashuv toklarini cheklash maqsadida alohida reaktivlangan (reaktorlar ulangan) chiqib ketuvchi liniyalarga ega bo'lgan ta'minlash markazlari uchun xarakterlidir.

Umumiy yuklamasi 3000 kVA va undan katta bo'lgan iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlovchi tarmoqlar har qanday shikastlanishlarda normal sharoitlarda ulab qo'yiluvchi zahiradagi liniyalar yoki zahirani avtomatik kiritish (ZAK) orqali ta'minot uzluksizligini saqlashi shart.

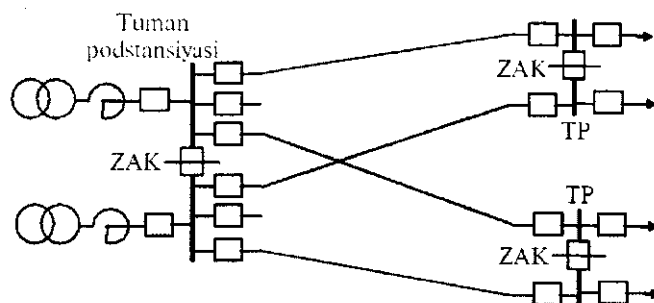
6.1- rasmda liniyalari parallel ishlovchi radial (a) va sirtmoqsimon (b) ta'minlovchi elektr tarmoqlarining sxemasi tasvirlangan (sxemalarda ajratkichlar shartli ravishda ko'rsatilmagan).

Agar ko'p sonli liniyalar parallel ishlaganda TP shinasida qisqa tutashuv quvvati ruxsat etilmagan darajagacha katta bo'lsa, u holda TP-1 va TP-2 taqsimlovchi punktlari alohida ishlovchi sxema qo'llaniladi. Bunday holatda TP-1 va TP-2 punktlarni tutashiruvchi shoxobchadagi (6.1, b- rasm) uzgichlardan biri uzib qo'yiladi. Ta'minlovchi liniya shikastlanganda bu uzgich avtomatik tarzda ulanadi.

Agar TPning yuklamasi yetarlicha katta bo'lsa, u holda 6.1- rasmda ko'rsatilganidek sxemada kabellar ikki qator o'rnatilib,



6.1- rasm. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarining sxemalari: a— radial; b— sirtmoqsimon.

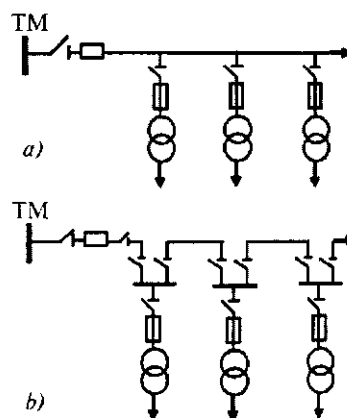


6.2-rasm. Chuqur seksiyalangan elektr tarmog'ining sxemasi.

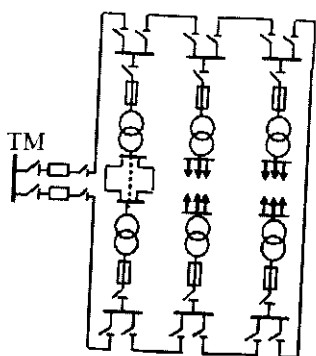
TPlarni tutashtiruvchi zahiraviy shoxobchada ZAK qurilmasi joylashtiriladi. Ta'minlovchi tarmoqqa ulanuvchi TPlar soni ikkitadan ortiq bo'lishi va, shuningdek, ular har xil ta'minlash manbalaridan ham ta'minlanishi mumkin.

Hozirgi davrda tuman podstansiyalarining zaruriy reaktiv qarshiliklarni parchalangan reaktorlar yoki parchalangan chulg'amli transformatorlar yordamida guruhli tartibda ta'minlovchi sxemalari keng qo'llaniladi. Bunday sxemalar 6—10 kV taqsimlovchi qurilmalarning jihozlanishini soddalashtirish va ular uchun yanada soddaroq seksiyalangan sxemalarni qo'llash imkoniyatini yaratadi. Shu munosabat bilan elektr tarmoqlarini tuman podstansiyalari va TPlarda ZAK qurilmasi bilan jihozlangan seksiyalararo uzgichlardan foydalanishga asoslangan chuqur seksiyalash prinsipi bo'yicha qurish imkoniyatlari paydo bo'ladi. Bunday sxema 6.2- rasmda tasvirlangan.

Elektr tarmog'ini qurishning u yoki bu tizimini tanlash yuklamalarning zichligi, ta'minlash manbalarini (TM) yuklamalar markaziga yaqinlashtirish imkoniyatlari, yuklamalarni maydon bo'yicha taqsimlanganliklariga bog'liq holda amalga oshiriladi va mumkin bo'lgan variantlarni texnik-iqtisodiy jihatdan solishtirish bilan yakunanadi.



6.3- rasm. Ochiq taqsimlovchi elektr tarmoqlarining sxemalari.



6.4-rasm. Yuqori kuchlanishli sirtmoqsimon taqsimlovchi elektr tarmog'i sxemasi.

bir uchastkani ta'mirlash uchun uzish mumkin. Bu jihatdan ushbu sxema oldingisiga nisbatan qulayroq bo'lsa-da, iqtisodiy jihatdan ancha qimmatdir. Bu sxemada avariya sodir bo'lganda faqat ushbu joydan keyin joylashgan (ta'minlash manbasidan hisoblanganda) iste'molchilar uzilib qoladi.

Sxemasi 6.4- rasmda tasvirlangan sirtmoqsimon taqsimlovchi elektr tarmog'i ochiq holatda ishlaydi (tarmoqning oxiridagi aylanib o'tish shoxobchasi *a-b* normal sharoitda uzib qo'yiladi); har bir magistral liniya ta'minlash manbasidan mustaqil ta'minlanadi. Agar liniyalardan birining qandaydir uchastkasi shikastlansa, u holda releli himoya vositasining ishlashi ta'sirida liniyaning boshlanishida joylashgan uzgich uzadi va bu liniyaga ulangan barcha iste'molchilar ta'minotsiz qoladi. Avariya joyi aniqlanganidan so'ng shikastlangan uchastka ajratkich yordamida uziladi va aylanib o'tish shoxobchasi *a-b* ulanib, podstansiya-larning ta'minoti tiklanadi. Shikastlanish ta'minlash manbasidan keyingi birinchi uchastkada yuz bergan eng og'ir holatda barcha yuklama bitta liniyaga o'tadi. Liniya bunday yuklamani ko'tara olishini ta'minlash uchun uni avariya holatida qizish sharti bo'yicha tekshirish hisobini amalga oshirish lozim. Bunda kuchlanish isrofining maksimal ruxsat etilgan qiymati avariya holati uchun qabul qilinadi.

Normal holat uchun sirtmoqni ochish tokning bo'linish nuqtasiga (har ikkala tomondan tok oqib keluvchi punkt) to'g'ri

6.3, *a*- rasmda shahar va qishloq xo'jaligi elektr iste'molchilari uchun eng sodda va arzon yuqori kuchlanishli ochiq taqsimlovchi tarmoqning sxemasi tasvirlangan. Bu sxemaning kamchiligi shundan iboratki, tarmoqning har qanday joyida sodir bo'luvchi avariya barcha iste'molchilarda elektr ta'minotining uzilishiga olib keladi.

6.3, *b*- rasmda tasvirlangan sxemada liniya har bir podstansiyaning shinasiga kirib kelgan. Kirish joylarida ajratkichlar o'rnatilganligi sababli har

keluvchi podstansiyada amalga oshirilishi lozim. Chunki, bunda tarmoqdagi isrof minimal bo'ladi.

6—10 kV kuchlanishli sirtmoqsimon tarmoqqa ulangan transformatorli podstansiyalarning soni 10—12 tadan (ya'ni har bir liniyada 5—6 tadan) oshmasligi lozim.

### *Nazorat savollari*

1. Mahalliy elektr tarmoqlarini loyihalashda yuklama qanday aniqlanadi?

2. O'rnatilgan, maksimal va hisobiy quvvatlarga ta'rif bering.

3. Talab koeffitsiyenti nima va u qanday aniqlanadi?

4. Mahalliy tarmoqlarni loyihalashda ta'minlash manbasi qanday tanlanadi?

5. Mahalliy tarmoqlarni loyihalashda nominal kuchlanish qanday tanlanadi?

6. Mahalliy tarmoqlarni ta'minlashda qanday tipik sxemalar qo'llaniladi?

Ularni ta'riflang.

7. Mahalliy taqsimlovchi tarmoqlarning qanday tipik sxemalari mavjud?

Ularning afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?

## 7. TA'MINLOVCHI ELEKTR TARMOQLARI ELEMENTLARINING SXEMALARI VA PARAMETRLARI

### 7.1 Elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari va parametrlari

Ta'minlovchi elektr tarmoqlari asosan 110—220 kV kuchlanishli tarmoqlar bo'lib, elektr stansiyalari va sistemani vujudga keltiruvchi tarmoqlarni taqsimlovchi (mahalliy) elektr tarmoqlari bilan tutashtiradi. Bunday elektr tarmoqlari *tuman elektr tarmoqlari* deb ham yuritiladi. Yuqorida ko'rib o'tilgan mahalliy elektr tarmoqlaridagidan farqli ravishda tuman elektr tarmoqlarida ayrim parametrlarning qiymatlari va ularning elektr tarmog'i holatiga ta'siri sezilarli bo'ladi. Shunga mos ravishda bunday tarmoq elementlarining almashtirish sxemalari va parametrlari mahalliy tarmoqlardagidan biroz farq qiladi.

Ushbu bo'limda ta'minlovchi elektr tarmoqlari elementlarining almashtirish sxemalari, parametrlari va ularni hisoblash uslubi bilan tanishamiz.

Ko'pgina hollarda elektr uzatish liniyalarining parametrlari (aktiv va reaktiv qarshiliklari, aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklari) uning uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlangan 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  $x_p$ , aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklari  $g_l$  va  $b_l$  lardan foydalanish mumkin.

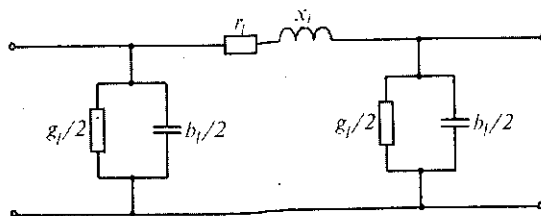
Uzunligi 300—400 km dan oshmagan 110 kV va undan yuqori kuchlanishda ishlovchi havodagi elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi odatda  $\Pi$ -simon ko'rinishda tasvirlanadi (7.1-rasm).

*Aktiv qarshilik* quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$r_l = r_0 l. \quad (7.1)$$

Bu yerda  $r_0$  — liniya 1 km aktiv qarshiligi (muhitning harorati  $+20^\circ\text{C}$  bo'lgan holatdagi),  $\Omega/\text{km}$ ;  $l$  — liniyaning uzunligi, km.





7.1- rasm. Havodagi elektr uzatish liniyasining II-simon almashtirish sxemasi.

O'tkazgichlar va kablarning aktiv qarshiliklari 50 Hz chastotada taxminan omik qarshilikka (ya'ni o'zgarmas tokdagi qarshiligi) tengdir. Shu tufayli yuza effekti hodisasi e'tiborga olinmaydi.  $r_0$  ning qiymati po'lataluminiy va boshqa rangli metallardan tayyorlangan o'tkazgichlar uchun (2.2) formula bo'yicha hisoblanishi yoki ko'ndalang kesim yuzalariga bog'liq ravishda qo'llanma jadvaldan aniqlanishi mumkin. 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 jadvaldan olinadi. O'tkazgichning harorati 20 °C dan farq qilganda  $r_0$  mos formulalar bo'yicha topiladi.

Reaktiv qarshilik quyidagi tartibda topiladi:

$$x_l = x_0 l. \quad (7.2)$$

Bu yerda  $x_0$  — liniya 1 km uzunligining reaktiv qarshiligi,  $\Omega/\text{km}$ .

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

$$x_0 = 0,144 \lg(D_{o'r} / r) + 0,0157. \quad (7.3)$$

Bu yerda  $r$  — o'tkazgichning radiusi;  $D_{o'r}$  — faza o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}. \quad (7.4)$$

Bu yerda  $D_{ab}$ ,  $D_{bc}$ ,  $D_{ca}$  — mos faza o'tkazgichlari oralaridagi masofa.

Ikki zanjirli tayanchlarda ikkita liniya parallel joylashganda har bir faza o'tkazgichini kesib o'tuvchi 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 qiymatli 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 (7.3) formuladagi  $r$  o'rniga quyidagi formula bo'yicha topiluvchi bitta fazadagi o'tkazgichlarning ekvivalent radiusi  $r_{ek}$  foydalaniladi:

$$r_{ek} = \sqrt[n]{ra_{or}^{n-1}}. \quad (7.3)$$

Bu yerda  $a_{or}$  — bitta fazadagi o'tkazgichlar oralaridagi o'rtacha geometrik masofa;  $n$  — bitta fazadagi o'tkazgichlar soni.

Parchalangan o'tkazgichli elektr uzatish liniyalari uchun (7.3) formuladagi so'nggi tashkil etuvchi  $0,0157/n$  ko'rinishda bo'ladi. Shuningdek, bunday liniyalar uchun solishtirma aktiv qarshilik quyidagicha topiladi:

$$r_0 = r_{0or} / n.$$

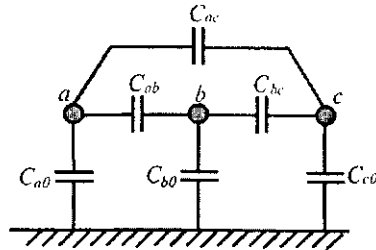
Bu yerda  $r_{0or}$  — fazadagi bitta o'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi.

Po'lataluminiy o'tkazgichlar uchun  $x_0$  (7.3) formula bo'yicha hisoblanishi yoki o'tkazgichning kesim yuzasi va liniyaning nominal kuchlanishi bo'yicha qo'llanma jadvaldan olinishi mumkin. Po'latal o'tkazgichlar uchun esa uning qiymati kesim yuzasi va tokka bog'liq holda qo'llanma jadvaldan olinadi.

*Liniyaning 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  $70 \text{ mm}^2$ , 150 kV uchun  $120 \text{ mm}^2$ , 220 kV uchun  $240 \text{ mm}^2$ .

220 kV gacha kuchlanishli tarmoqlarning barqaror holatlarini hisoblashda aktiv o'tkazuvchanlik amalda e'tiborga olinmaydi. 330 kV va undan yuqori kuchlanishli tarmoqlarda quvvat isroflarini



7.2- rasm. Havo liniyasi o'tkazgichlari va ular bilan yer orasida hosil bo'luvchi sig'implar.

aniqlash va optimal holatlarni hisoblashda tojlanish isrofi hisobga olinishi lozim. Buning uchun odatda tojlanish isrofining kuchlanishga turli ko'rinishdagi bog'lanishlari hisobga olinadi.

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi  $b_p$  alohida faza o'tkazgichlari oralaridagi va faza o'tkazgichlari bilan er orasidagi sig'im ta'sirida (7.2- rasm) vujudga keladi va quyidagicha hisoblanadi:

$$b_i = b_0 l. \quad (7.6)$$

Bu yerda  $b_0$  — liniyaning 1 km uzunligi uchun sig'im o'tkazuvchanlik bo'lib, qo'llanma jadvaldan aniqlanishi yoki quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_0 r}{r}} \cdot 10^{-6}. \quad (7.7)$$

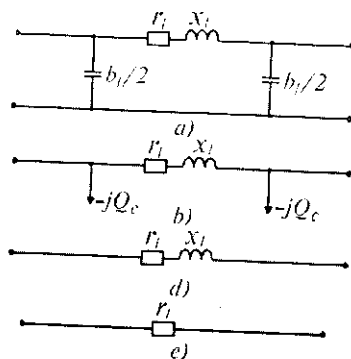
Ayrim hollarda 110—220 kV kuchlanishli havo liniyalarini hisoblashda ularning sxemalari yetarlicha sodda ko'rinishda (7.3, b- rasm) ifodalanadi. Bu sxemada sig'im o'tkazuvchanlik o'rniga u ta'sirida ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvat hisobga olinadi (7.3, a-rasm). Bunday liniya sig'im quvvatining yarmi quyidagicha topiladi:

$$Q_c = 3I_c U_f = 3U_f^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_0 l = \frac{1}{2} U^2 b_l. \quad (7.8)$$

Bu yerda  $U_f$  va  $U$  — faza va liniya kuchlanishlari, kV;  $I_c$  — yerga tomon oquvchi sig'im toki,  $I_c = U_f b_l / 2 \cdot U_2$ .

(7.8) dan ko'rinadiki, liniyada ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvat (zaryad quvvati) kuchlanishning kvadratiga to'g'ri proporsionaldir.

35 kV va undan past kuchlanishli havodagi liniyalarda  $b_c$  va bunga mos ravishda  $Q_c$  juda kichik bo'lganligi sababli e'tiborga



7.3- rasm. Elekt uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari: a, b— 110—220 kV kuchlanishli havodagi uzatish liniyalari uchun; d— 35 kV va undan past kuchlanishli havodagi uzatish liniyalari uchun; e— 10 kV va undan past kuchlanish kabelli elektr uzatish liniyalari uchun.

olinmaydi (7.3, d- rasm). 330 kV va undan yuqori kuchlanishli 300—400 km dan uzun liniyalarning  $\Pi$ - simon almashtirish sxemasi parametrlarini aniqlashda qarshilik va o'tkazuvchanliklarning liniya davomida bir tekis taqsimlanganligi hisobga olinadi.

**Kabelli elektr uzatish liniyalarining** almashtirish sxemalari ham umumiy hollarda havodagi liniyalardagi kabi  $\Pi$ -simon ko'rinishda ifodalanadi (7.1-rasm). Ularda ham 1 km uzunlikdagi aktiv va reaktiv qarshiliklar, havodagi liniyalardagi kabi hisoblanishi yoki qo'llanma jadval bo'yicha aniqlanishi mumkin. (7.3), (7.7) formulalardan ko'rinib turibdiki, o'tkazgichlarning yaqinlashishi bilan  $x_0$  kamayadi va  $b_0$  ortadi. Kabelli liniyalarda faza o'tkazgichlari oralaridagi masofalar kam bo'lganligi sababli  $x_0$  havodagi liniyalardagiga nisbatan juda kam bo'ladi. 10 kV va undan past kuchlanishli kabelli liniyalarning holatlarini hisoblashda faqat aktiv qarshilikni hisobga olish mumkin (7.3, e- rasm). Kabelli liniyalarda sig'im toki va mos ravishda  $Q_c$  havodagi liniyalardagiga nisbatan kattadir. Yuqori kuchlanishli kabel liniyalarida  $Q_c$  hisobga olinib (7.3, b- rasm), bunda liniyaning 1 km uzunligi uchun zaryad quvvati  $Q_{c0}$  qo'llanma jadvaldan aniqlanishi mumkin.  $g_l$  aktiv o'tkazuvchanlik 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabelli liniyalarda hisobga olinadi. Kabeli liniyalar almashtirish sxemalarining qo'llanma jadvalarda berilgan solishtirma parametrlari  $r_0$ ,  $x_0$  va  $Q_{c0}$  taxminiydir. Kabelning zavod xarakteristiklari bo'yicha ularni yanada aniqroq hisoblash mumkin.

## 7.2. Elektr uzatish liniyalarini II-simon sxemasi bo'yicha hisoblash

Har qanday elektr tarmog'ini, jumladan, elektr uzatish liniyasini 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.

**Oxirida tok  $I_2$  va kuchlanish  $U_{2f}$  berilgan holat.**

*Ma'lum parametrlar (7.4, a- rasm):*  $U_{2f}$  — 2-tugunning faza kuchlanishi,  $I_2$  — liniya oxiridagi tok,  $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$ ,  $b_{12}$  — liniyaning bo'ylama qarshiligi va sig'im o'tkazuvchiligi.

*Aniqlanuvchi parametrlar:*  $U_{1f}$ ,  $I_1$  — EUL boshidagi kuchlanishi va tok,  $I_{12}$  — liniyaning bo'ylama qismidagi tok,  $\Delta S_{12}$  — liniyadagi quvvat isrofi.

Bunday holatni hisoblashda noma'lum o'zgaruvchilarning qiymatlari liniyaning oxiridan boshlanishigacha tomon ketma-ket tartibda aniqlanadi. Tok va kuchlanishni aniqlashda Om va Kirxgof qonunlaridan foydalaniladi.

Hisoblashlarni faza kuchlanishi  $U_f$  va toki  $I$  bo'yicha olib borish tartibi bilan tanishamiz. Liniya oxiridagi sig'im toki Om qonuniga binoan (7.4, b- rasm) quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{c2} = jU_{2f}b_{12}/2. \quad (7.9)$$

Liniyaning bo'ylama qismidagi tok Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha topiladi:

$$I_{12} = I_2 + I_{c2}. \quad (7.10)$$

Om qonuni bo'yicha liniya boshlanishidagi kuchlanish hisoblanadi:

$$U_{1f} = U_{2f} + I_{12}Z_{12}. \quad (7.11)$$

Liniya boshlanishidagi sig'im toki:

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

Liniyaning kirishidagi tok Kirxgofning 1-qonuniga asosan aniqlanadi:

$$I_1 = I_{12} + I_{c1} \quad (7.1)$$

Uchta fazada umumiy quvvat isroflari:

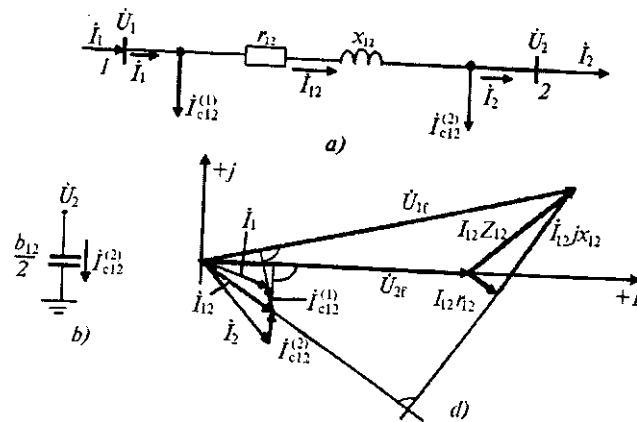
$$\Delta S_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12}$$

**Liniya tok va kuchlanishlarning vektor diagrammasi** (7.4, - rasm) (7.9)–(7.10) ifodalarga muvofiq tuziladi. Avvalki diagrammada berilgan  $U_{2f}$  va  $I_2$  lar ko'rsatiladi.  $U_{2f}$  ni haqiqiy sonli o'qi bo'yicha yo'nalgan deb qabul qilamiz. Sig'im toki  $I_{c2}$  kuchlanish  $U_{2f}$  dan  $90^\circ$  oldinda bo'ladi. Sxemaning bo'ylama qismidagi tok  $I_2$  vektori  $I_2$  va  $I_{c2}$  vektorlarining yig'indisiga teng.

(7.11) ning o'ng tomonidagi ikkita qo'shiluvchilarning vektorlarini alohida quramiz:

$$U_{12f} = I_{12} r_{12} + jI_{12} x_{12}$$

Bu yerda aktiv qarshilikda kuchlanish pasayishi vektori  $I_{12} r_{12}$  tok vektori  $I_{12}$  ga parallel va induktiv qarshilikdagi kuchlanish pasayishi vektori  $jI_{12} x_{12}$  tok vektorini  $90^\circ$  ga ortda qoldiradi. Liniya boshlanishidagi kuchlanish vektori  $U_{1f}$  liniya oxiridagi kuchlanish  $U_{2f}$  va qarshiliklarda kuchlanish pasayishlari  $I_{12} r_{12}$  va  $jI_{12} x_{12}$  vektorlarining yig'indisiga tengdir. Liniyaning boshlanishidagi sig'im toki vektori  $I_{c1}$  u yerdagi kuchlanish vektori  $U_{1f}$  dan  $90^\circ$  oldinda bo'lib, (7.12) bo'yicha topiladi.



7.4-rasm. Elektr uzatish liniyasini hisoblash:  
 a— almashtirish sxemasi; b— sig'im tokini aniqlash;  
 d— yuklamali liniya kuchlanish va tokleri vektor diagrammasi.

Liniya oxiriga yuklama ulangan bo'lsa, bu nuqtada kuchlanish moduli boshlanishidagi kuchlanish moduliga nisbatan kichik bo'ladi:  $U_{1f} < U_{1r}$  (7.11, d- rasm).

Salt ishlash holatida  $I_2=0$  bo'lganligi sababli liniya orqali faqat sig'im toki oqadi, ya'ni  $I_{12} = I_{c2}$  bo'ladi. Buning natijasida liniya oxiridagi kuchlanish uning boshlanishidagiga nisbatan katta bo'ladi:  $U_{2f} < U_{1r}$ . Salt ishlash holati uchun tok va kuchlanishlarning vektor diagrammalarini yuqoridagi tartibda qurish orqali bunday holatni kuzatish mumkin.

### 7.3 Oxirida yuklama quvvati berilgan liniyani hisoblash

**Liniya oxirida kuchlanish berilgan holat** ( $\dot{U}_2 = \text{const}$ ). Ushbu holatda yuklama quvvati  $\dot{S}_2$ , kuchlanishi  $\dot{U}_2$ , liniyaning qarshiligi  $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$  va o'tkazuvchanligi  $b_{12}$  ma'lum (7.5, 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 liniyaning oxiridan boshlanishiga tomon qidiriluvchi quvvat va kuchlanishlarni Kirxgof va Om qonunlaridan foydalanib aniqlash tartibida olib boriladi.

Liniyaning oxiridagi zaryad (sig'im) quvvati hisoblanadi:

$$Q_{c12}^{(2)} = 3\tilde{I}_{c12}^{(2)}\dot{U}_{2f} = \frac{1}{2}U_2^2jb_{12}. \quad (7.13)$$

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

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{c12}^{(2)}. \quad (7.14)$$

Liniyadagi quvvat isrofi aniqlanadi:

$$\Delta\dot{S}_{12} = 3I_{12}^2Z_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2}Z_{12}. \quad (7.15)$$

Liniya bo'ylama qismining boshlanishi va oxirida tok bir xildir. Bo'ylama qismi boshlanishida quvvat bu qism oxiridagiga nisbatan quvvat isrofi miqdoriga ko'pligini e'tiborga olib, u quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (7.18)$$

Liniyaning boshlanishidagi kuchlanish Om qonuniga muvofiq quyidagicha hisoblanadi:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{\dot{S}_{12}^{(2)}}{\dot{U}_2} Z_{12}. \quad (7.19)$$

Liniyaning boshlanishidagi zaryad quvvati aniqlanadi:

$$Q_{c12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 j b_{12}. \quad (7.18)$$

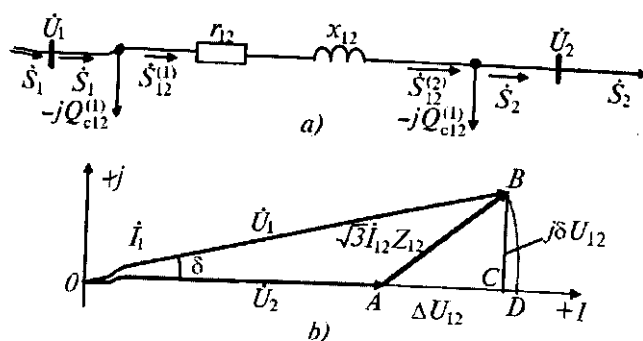
Liniyaning boshlanishidagi quvvat Kirxgofning 1-qonunida foydalanib quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - j Q_{c12}^{(1)}. \quad (7.19)$$

**Liniya boshlanishida kuchlanish berilgan holat** ( $\dot{U}_1 = const$ ),

$\dot{S}_2, \dot{U}_1, Z_{12} = r_{12} + jx_{12}, b_{12}$  lar berilgan hisoblanib,  $\dot{U}_2, \dot{S}_{12}^{(2)}, \dot{S}_{12}^{(1)}, \Delta \dot{S}_{12}, \dot{S}_1$  larni topish talab etiladi (7.5, a-rasm).

Ushbu holatda  $\dot{U}_2$  noma'lum bo'lganligi uchun Kirxgof va Om qonunlaridan foydalanib liniyaning oxiridan boshlanishiga tomon ketma-ket ravishda noma'lum tok va kuchlanishlarni topish mumkin emas. Bunday liniyani hisoblashni Kirxgofning 1-qonuni asosida yoziluvchi egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasini yechish orqali amalga oshirish mumkin. 2-tugun uchun bunday



7.5-rasm. Elektr uzatish liniyasini hisoblash:

a — yuklama quvvati berilgan holatda liniyani hisoblash sxemasi; b — oxirida berilgan ma'lumot bo'yicha liniya holati hisoblanganda uning boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning vektor diagrammasi.



egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Y_{22}\dot{U}_2 + Y_{12}\dot{U}_1 = \dot{I}_2(U) = \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2}. \quad (7.20)$$

Bu tenglamani yechib, noma'lum  $\dot{U}_2$  ni topish va so'ngra (7.13) — (7.16), (7.18), (7.19) 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 taqribiy *ikki bosqichli* usul yordamida hisoblash mumkin.

*1-bosqich.* Faraz qilaylik,

$$\dot{U}_2 = U_n \quad (7.21)$$

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

$$Q_{cl2}^{(2)} = \frac{1}{2} U_2^2 j b_{12}; \quad (7.22)$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - j Q_{cl2}^{(2)}; \quad (7.23)$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_{12}^{(2)2}}{U_2^2} Z_{12}; \quad (7.24)$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}. \quad (7.25)$$

*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:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\dot{S}_{12}^{(1)}}{\dot{U}_1} Z_{12}. \quad (7.26)$$

(7.22) va (7.23) formulalarda  $\dot{U}_2$  ning o'rniga  $\dot{U}_n$  foydalanilganligi uchun 1- bosqichda quvvat oqimlarining taqribiy qiymatlari

aniqlanadi. Bunga mos ravishda 2- bosqichda topilgan kuchlanish  $\dot{U}_2$  ning qiymati ham taqribiy 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 (7.22) va (7.24) formulalardagi  $\dot{U}_2$  o'rniga uning bundan oldingi qadamda topilgan qiymatini qo'yish lozim. Bunday hisoblashlarni EHMda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

#### 7.4 Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va kuchlanish isrofi

7.5, b- rasmda liniyaning 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 ayirmasidir. Kuchlanish pasayishi vektor (kompleks) kattaligidir. 7.5, b- rasmda kuchlanish pasayishi vektori  $\overline{AB}$  vektordir:

$$\overline{AB} = \Delta \dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3} I_{12} Z_{12} = \Delta U_{12} + j \delta U_{12}.$$

Kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi  $\Delta U_{12}$  kuchlanish pasayishi vektorining haqiqiy sonlar o'qidagi yoki  $\dot{U}_2$  vektori o'qidagi proyeksiyasi bo'lib, 7.5, b- rasm bo'yicha u qabul qilingan masshtabda  $AC$  kesmaning uzunligiga teng. Kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi  $\delta U_{12}$  esa kuchlanish pasayishi vektorining mavhum sonlar o'qidagi proyeksiyasi bo'lib, 7.5, b- rasm bo'yicha u  $CB$  kesmaning uzunligiga teng.

**Kuchlanish isrofi** — elektr uzatish liniyasining boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlarning modullari orasidagi farqdir, ya'ni

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

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

Elektr tarmoqlarining holatlarini hisoblash asosan yuklamlarning quvvatlari berilgan holatda olib boriladi. Shu sababli kuchlanish pasayishi, uning tashkil etuvchilari va kuchlanish isrofini liniyadagi quvvat oqimlari orqali ifodalash zarur bo'ladi.

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

$$\Delta \dot{U}_{12} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \Delta U_{12} + j\delta U_{12} = \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \frac{\dot{S}_{12}^{(2)}}{\dot{U}_2} Z_{12}.$$

Agar kuchlanish  $\dot{U}_2$  vektorini 7.5, b- rasmdagidek haqiqiy sonlar o'qi bo'yicha yo'naltirib, qolgan barcha vektorlarning yo'nalishlarini unga nisbatan belgilasak, kuchlanish pasayishi va uning tashkil etuvchilari uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

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

Hosil bo'lgan 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:

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

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

Liniya boshlanishidagi kuchlanish:

$$\dot{U}_1 = U_2 + \Delta \dot{U}_{12}^{(2)} + j\delta \dot{U}_{12}^{(2)}.$$

Yuqoridagilarga muvofiq liniya boshlanishidagi kuchlanishning moduli va fazasi quyidagicha aniqlanadi:

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

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

**Liniyaning boshlanishida quvvat va kuchlanish berilgan holda**  
 Yuqorida ko'rib o'tilgan holatdagi singari liniya toki  $I_{12}$  ni liniyaning bo'ylama qismi boshlanishidagi quvvat  $S_{12}^{(1)}$  va kuchlanish  $U_1$  orqali ifodalasak, u holda ma'lum shakl almashtirishlardan so'ng liniyaning kuchlanish pasayishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari uchun liniya boshlanishidagi ma'lumotlar bo'yicha ifodalarni hosil qilamiz:

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

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

Liniya oxiridagi kuchlanish:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}^{(1)} - j\delta U_{12}^{(1)}.$$

Yuqoridagilarga muvofiq liniya oxiridagi kuchlanish moduli va fazasi quyidagicha aniqlanadi:

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

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

7.5, b- rasmda tasvirlangan kuchlanishlar vektor diagrammasidan ko'rinadiki, kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi  $\delta U_{12}$  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.

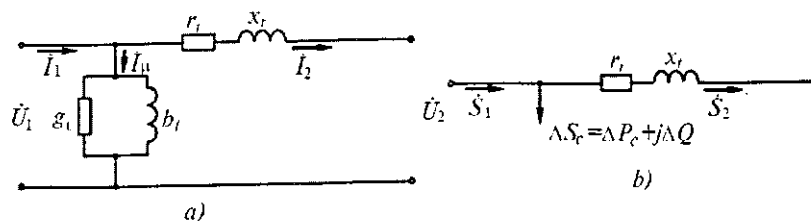
## 7.5. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning almashtirish sxemalari va parametrlari

**Ikki chulg'amli transformatorning** almashtirish sxemasini  $\Gamma$ -simon ko'rinishda ifodalash mumkin (7.6-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 vig'indasiga 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 birgalikda 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  $g_1, b_1$  dan tashkil topgan. Aktiv o'tkazuvchanlik transformatorning po'latdan yasaluvchi o'zagida magnetlovchi tok  $I_\mu$  orqali isrof bo'luvchi aktiv quvvat isroflarini ifodalaydi. Reaktiv o'tkazuvchanlik esa transformator chulg'amlaridagi o'zaro induksiya magnit oqimi bilan belgilanadi.

220 kV va undan past kuchlanishli elektr tarmoqarini hisoblashda transformatorlar soddalashtirilgan almashtirish sxemalari bilan tasvirlanadi (7.6, b- rasm). Bu sxemada magnitlanish shoxobchasing o'rniga transformator po'latida yoki salt ishlash holatida isrof bo'luvchi quvvat yuklama sifatida hisobga olinadi.



7.6-rasm. Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi:  
 a— $\Gamma$ -simon almashtirish sxemasi; b—soddalashtirilgan almashtirish sxemasi.

Har bir transformator uchun quyidagi parametrlar (katalog ma'lumotlari) ma'lumdir:  $S_n$  — transformatorning nominal quvvati, MVA;  $U_{y\text{un}} U_{p\text{n}}$  — yuqori va pastki chulg'amlarining nominal kuchlanishlari, kV;  $\Delta P_c$  — salt ishlash holatidagi aktiv isrof, kW;  $I_c \%$  — salt ishlash toki,  $I_n$  dan %;  $\Delta P_k$  — qisqa tutashuv isrofi, kW;  $u_k \%$  — 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 (7.7, a- rasm) natijalaridan foydalanib topiladi. Bu tajribada transformatorning ikkilamchi chulg'ami ochiq holatda bo'lib, birlamchi chulg'amga nominal kuchlanish beriladi. Bunda 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 holatidagiga teng bo'lgan quvvatni isrof qiladi:

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

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

$$g_t = \Delta P_c / U_n^2; \quad (7.27)$$

$$b_t = \Delta Q_c / U_n^2. \quad (7.28)$$

Transformatorning, odatda, po'latdan yasaluvchi o'zagida isrof bo'luvchi aktiv quvvat asosan kuchlanish bilan belgilanadi va u yuklamaning toki va quvvatiga ( $I_2$  va  $S_2$ ) bog'liq emas deb nazarda tutiladi. 7.6, b- rasmdagi sxemada  $\Delta P_c$  o'zgarmas va katalog qiymatiga tengdir. Transformatorida magnitlash toki juda kichik aktiv tashkil etuvchiga ega, shu sababli

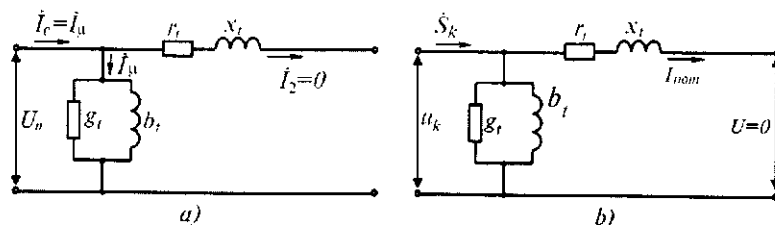
$$I_\mu = I_c \approx I_c''.$$

Bu yerda  $I_c''$  — tok  $I_c$  ning reaktiv tashkil etuvchisi.

Yuqoridagidan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\Delta Q_c = 3I_c''U_{f.n} \approx 3I_c U_{f.n} = 3 \cdot \frac{I_c \% I_n}{100} \cdot U_{f.n} = \frac{I_c \% S_n}{100}. \quad (7.29)$$

Transformatorning salt ishlash holatidagi aktiv quvvati isrofi  $\Delta P_c$  reaktiv quvvat isrofi  $\Delta Q_c$  dan ancha kichik bo'lib, salt ishlash



7.7-rasm. Ikki chulg'amli transformatorning salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari sxemalar: a— salt ishlash tajribasi: b— qisqa tutashuv tajribasi.

holatidagi to'la quvvati  $S_c$  taqriban magnitlovchi quvvat  $\Delta Q_c$  ga teng.

(7.29) ni hisobga olib,  $b_t$  quyidagicha aniqlanadi:

$$b_t = \frac{I_c \% S_n}{100 U_n^2}. \quad (7.28a)$$

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. Qisqa tutashuv holatida  $u_k$  endi  $U_n$  ga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli magnitlanish shoxobchasida isrof bo'luvchi quvvat ham juda kichik bo'ladi va bu holatda deyarli barcha quvvat chulg'amda isrof bo'ladi, ya'ni

$$\Delta P_k = 3 I_n^2 r_t = \frac{S_n^2}{U_n^2} r_t. \quad (7.30)$$

(7.30) formuladan  $r_t$  uchun formulani hosil qilamiz:

$$r_t = \frac{\Delta P_k U_n^2}{S_n^2}. \quad (7.31)$$

Zamonaviy katta quvvatli transformatorlarda  $r_t \ll x_t$  va  $u_k \approx u'_k$ . Buni hisobga olib qisqa tutashuv tajribasidan quyidagini yozish mumkin (7.7, b- rasm):

$$u_k = \frac{u_k \% U_n}{100} \approx \sqrt{3} I_n x_t.$$

Oxirgi ifodadan  $x_t$  uchun formulani hosil qilamiz:

$$x_t = \frac{u_k \% U_n^2}{100 S_n}. \quad (7.32)$$

Transformator chulg'amidagi, ya'ni  $r_t$  qarshilikdagi aktiv quvvat isrofi yuklama toki  $I_2$  va quvvati  $S_2$  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 (7.31) dagi ifodasini qo'ysak va  $U_2^2 \approx U_n^2$  ekanligini hisobga olsak, u holda quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\Delta P_t = \frac{\Delta P_k S_2^2}{S_n^2}. \quad (7.33)$$

$x_t$  dagi reaktiv quvvat isrofi ham (7.33) kabi quyidagicha aniqlanadi:

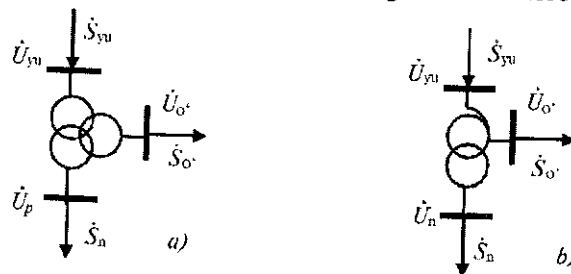
$$\Delta Q_t = 3I_2^2 x_t \frac{S_2^2}{U_n^2} = \frac{u_k \% S_2^2}{100 S_n}. \quad (7.34)$$

Yuklama toki  $I_2$  va quvvati  $S_2$  oqib o'tib turgan transformatorlarda quvvat isrofi (7.29), (7.33) va (7.34) larni hisobga olib, quyidagicha topiladi:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_t = \Delta P_c + \frac{\Delta P_k S_2^2}{S_n^2}, \quad (7.35)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_c + \Delta Q_t = \frac{I_c \% S_n}{100} + \frac{u_k \% S_2^2}{S_n^2}. \quad (7.36)$$

**Uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar.** Ko'p hollarda podstansiyada uchta nominal kuchlanish — yuqori  $U_{yu}$ , o'rta  $U_o$  va past  $U_p$  kuchlanishlar talab etiladi. Buning uchun ikkita ikki chulg'amli transformatorlardan foydalanish mumkin. Biroq ularga nisbatan bitta uch chulg'amli transformator yoki



7.8-rasm. Uchta nominal kuchlanishli podstansiyaning sxemalari: a— uch chulg'amli transformator; b— uch chulg'amli avtotransformator.



uch chulg'amli avtotransformatordan foydalanish iqtisodiy jihatdan samaralidir. Uch chulg'amli transformatorning chulg'amlari o'zaro magnitik bog'lanishda bo'ladi (7.8, a- rasm). Avtotransformator chulg'amlarining tutashish sxemasi 7.8,b-rasmda tasvirlangan bo'lib, unda pastki chulg'ami qolgan ikkala chulg'am bilan magnitik, ketma-ket (P) va umumiy (O) chulg'amlari esa bir-biri bilan o'zaro elektrik va magnitik bog'lanishda bo'ladi (7.9, b- rasm). Ketma-ket chulg'am bo'ylab  $I_{yu}$ , umumiy chulg'am bo'ylab esa  $I_{yu} - I_o$  tok oqadi.

*Avtotransformatorning nominal quvvati* deb uning nominal ish sharoitlarida yuqori kuchlanish tarmog'idan olishi yoki unga uzatishi mumkin bo'lgan eng katta quvvatga aytiladi:

$$S_n = \sqrt{3}U_{yun} I_{yun} \quad (7.37)$$

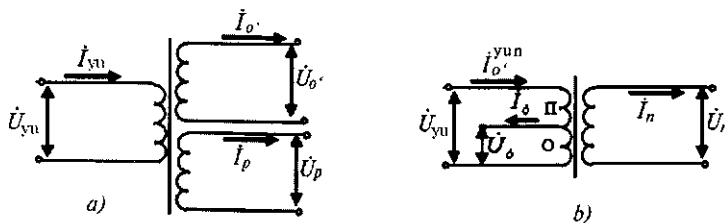
Bu quvvat, shuningdek, *o'tish quvvati* deb ham yuritiladi. Bu quvvat avtotransformatorning quyi chulg'amida yuklama bo'lmagan holda yuqori kuchlanish tarmog'idan o'rta kuchlanish tarmog'iga yoki teskari yo'nalishda uzatishi mumkin bo'lgan eng katta quvvatdir.

Avtotransformatorning ketma-ket chulg'ami *II tip quvvatga* mo'ljallab quriladi (7.9, b- rasm):

$$S_{tip} = \sqrt{3}(U_{yun} - U_{o'n})I_{yun} = \sqrt{3}U_{yun} I_{yun} (1 - \frac{U_{o'n}}{U_{yun}}) = \alpha S_n \quad (7.38)$$

Bu yerda  $\alpha = 1 - U_{o'n}/U_{yun}$  — tip quvvati  $S_{tip}$  ning  $S_n$  ganisbatan necha marta kichik ekanligini ko'rsatib, *afzallik koeffitsiyenti* deb yuritiladi.

Umumiy chulg'amda kuchlanish  $U_{yun}$  ga, tok esa  $I_{yu} - I_o$  ga teng, shu sababli uning quvvati  $S_n$  ga nisbatan kichikdir. Umumiy



7.9-rasm. Uch chulg'amli transformator va avtotransformator chulg'amlarining tutashish sxemalari:

- a— uch chulg'amli transformator chulg'amlarining tutashish sxemasi;
- b— uch chulg'amli avtotransformator chulg'amlarining tutashish sxemasi;

chulg'amning quvvati ham tip quvvatiga teng ekanligini ko'rsatish mumkin. Past kuchlanish chulg'ami ham  $S_{tip}$  ga yoki undan kichik quvvatga mo'ljallab quriladi. Uning nominal quvvati avtotransformatorning nominal quvvati orqali quyidagicha ifodalanadi:

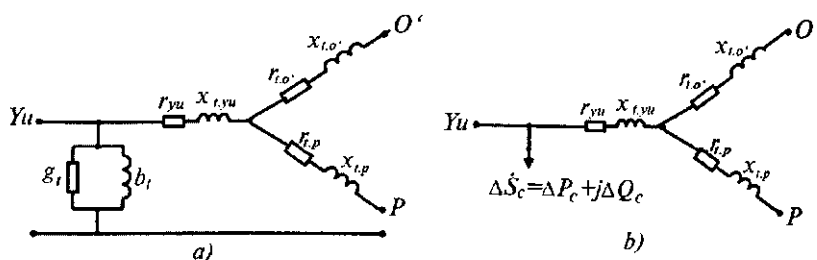
$$S_{pn} = \alpha_{pn} S_n. \quad (7.38a)$$

$U_{yun} \leq 330$  kV bo'lgan holatlarda  $\alpha_{pn} = 0,25; 0,4; 0,5$  bo'lishi mumkin.

$U_n > 220$  kV bo'lgan holatlar uchun uch chulg'amli transformator va avtotransformatorning almashtirish sxemasi 7.10, a-rasmda,  $U_n \leq 220$  kV bo'lgan holatlar uchun esa 7.10, b-rasmda tasvirlangan. Uch chulg'amli transformator va avtotransformatorlarda ham salt ishlash isroflari  $\Delta P_c$  va  $\Delta Q_c$  ikki chulg'amli transformatorlardagidek hisoblanadi. Uch chulg'amli transformator va avtotransformatorlar uchun qisqa tutashuv isroflari va kuchlanishlari uchala chulg'am juftliklari uchun, ya'ni  $\Delta P_{k(yu-o)}$ ,  $\Delta P_{k(yu-p)}$ ,  $\Delta P_{k(o'-p)}$ , va  $u_{k(yu-o)}\%$ ,  $u_{k(yu-p)}\%$ ,  $u_{k(o'-p)}\%$  ko'rinishida beriladi. Har bir  $\Delta P_k$  va  $u_k\%$  mumkin bo'lgan uchta tajribaning biriga taalluqlidir. Masalan,  $\Delta P_{k(yu-p)}$  va  $u_{k(yu-p)}$  larning qiymatlari quyi chulg'am qisqa tutashtirilgan, o'rta chulg'am ochiq holda bo'lgan, yuqori chulg'amga quyi chulg'am orqali nominal tok oqishini ta'minlovchi  $u_{k(yu-p)}$  kuchlanish berilgan holatda aniqlanadi.

Bunday holatda xuddi ikki chulg'amli transformatorlardagidek,

$$r_{t,yu} + r_{t,p} = \Delta P_{k(yu-p)} U_n^2 / S_n^2, \quad (7.39)$$



7.10-rasm. Uch chulg'amli transformator va avtotransformatorning almashtirish sxemasi: a—Y— simon almashtirish sxemasi; b— soddalashtirilgan almashtirish sxemasi.

$$r_{t,yu} + r_{t,o'} = \Delta P_{k(yu-o')} U_n^2 / S_n^2, \quad (7.40)$$

$$r_{t,o'} + r_{t,p} = \Delta P_{k(o'-p)} U_n^2 / S_n^2. \quad (7.41)$$

(7.39) — (7.41) tenglamalarda uchta noma'lum aktiv qarshilik mavjud. Ularni birgalikda yechish asosida alohida chulg'amlarning qarshiliklari uchun ifodalarni hosil qilamiz:

$$r_{t,yu} = \frac{\Delta P_{k,yu} U_n^2}{S_n^2}, \quad (7.42)$$

$$r_{t,o'} = \frac{\Delta P_{k,o'} U_n^2}{S_n^2}, \quad (7.43)$$

$$r_{t,p} = \frac{\Delta P_{k,p} U_n^2}{S_n^2}. \quad (7.44)$$

Bu ifodalardagi  $\Delta P_{k,yu}$ ,  $\Delta P_{k,o'}$ ,  $\Delta P_{k,p}$  lar quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

$$\Delta P_{k,yu} = 0,5(\Delta P_{k(yu-o')} + \Delta P_{k(yu-p)} - \Delta P_{k(o'-p)}), \quad (7.45)$$

$$\Delta P_{k,o'} = 0,5(\Delta P_{k(yu-o')} + \Delta P_{k(o'-p)} - \Delta P_{k(yu-p)}), \quad (7.46)$$

$$\Delta P_{k,p} = 0,5(\Delta P_{k(yu-p)} + \Delta P_{k(o'-p)} - \Delta P_{k(yu-o')}). \quad (7.47)$$

Xuddi shunga o'xshash tartibda  $u_{k,yu}\%$ ,  $u_{k,o'}$ ,  $u_{k/p}\%$  lar hisoblanadi:

$$u_{k,yu}\% = 0,5(u_{k(yu-o')}\% + u_{k(yu-p)}\% - u_{k(o'-p)}\%), \quad (7.48)$$

$$u_{k,o'}\% = 0,5(u_{k(yu-o')}\% + u_{k(o'-p)}\% - u_{k(yu-p)}\%), \quad (7.49)$$

$$u_{k,p}\% = 0,5(u_{k(yu-p)}\% + u_{k(o'-p)}\% - u_{k(yu-o')}\%). \quad (7.50)$$

$u_{k,yu}\%$ ,  $u_{k,o'}$ ,  $u_{k,p}\%$  larning topilgan qiymatlaridan foydalaniib, quyidagi formulalar bo'yicha alohida chulg'amlarning reaktiv qarshiliklari aniqlanadi:

$$x_{t,yu} = \frac{u_{k,yu}\% \cdot U_n^2}{100 S_n}, \quad (7.51)$$

$$x_{t,o'} = \frac{u_{k,o'}\% \cdot U_n^2}{100 S_n}, \quad (7.52)$$

$$x_{r,p} = \frac{u_{k,p} \% \cdot U_n^2}{100 S_n} \quad (7.53)$$

Barcha zamonaviy uch chulg'amli transformatorlar chulg'amlarining nominal quvvatlari bir xil qilib ishlab chiqariladi. Chulg'amlarining nominal quvvatlari turlicha bo'lgan oldingi paytlarda ishlab chiqarilgan transformatorlarda yuqoridagi formulalar asosida qarshiliklarni topishda juft chulg'amlar uchun katalog ma'lumotlari  $u_k \%$ ,  $\Delta P_k$  lar avvalo bitta quvvatga (odatda, yuqori chulg'amning quvvatiga) keltirilishi shart.  $u_k \%$  ni keltirish chulg'amlarning quvvatlari nisbatiga proporsional,  $\Delta P_k$  ni keltirish esa bu nisbatning kvadratiga proporsional tarzda amalga oshiriladi.

Avtotransformatorlar uchun qo'shimcha tartibda past chulg'amining nominal quvvati ham avtotransformatorning nominal quvvatiga nisbatan foizlarda ( $\alpha_{p,n}$ ) ko'rsatiladi. Juft chulg'amlar uchun  $u_k \%$  ning qiymati yuqori chulg'am kuchlanishi va avtotransformatorning nominal quvvatiga keltirilgan.  $\Delta P_{k(yu-o')}$  ning qiymati avtotransformatorning nominal quvvati  $S_n$  ga,  $\Delta P_{k(yu-p)}$ ,  $\Delta P_{k(o'-p)}$  larning qiymatlari esa past chulg'amining nominal quvvatiga, ya'ni  $\alpha_{pn} S_n$  ga keltirilgan. Parametrlarning bunday ko'rinishda berilishi avtotransformatorning qisqa tutashuv tajribasi shartlari bilan belgilanadi. Masalan, yuqori va past kuchlanish chulg'amlari juftligi uchun qisqa tutashuv tajribasida yuqori kuchlanish chulg'amida kuchlanish shunchalik darajagacha ortadiki, bunda  $S_{p,n}$  ga mo'ljallangan qisqa tutashirilgan past kuchlanish chulg'amida tok  $S_n$  ga emas, balki  $S_{p,n}$  mos keladi. Yuqori va o'rta kuchlanish chulg'amlari juftligi uchun qisqa tutashuv tajribasida (7.9, b- rasm) ketma-ket chulg'amda tok  $S_n$  ga mos keladigan qiymatgacha ortadi. Avtotransformatorning juft chulg'amlari uchun  $\Delta P_k$  ning turli kuchlanishlarga keltirilgan pasport qiymatlarini bitta quvvat — nominal quvvatga keltirish lozim. Yuqorida aytib o'tilganidek, bu keltirish chulg'amlar quvvatlarining kvadratlari nisbatiga proporsionaldir. Demak,

$$\Delta P_{k(yu-p)} = \frac{\Delta P_{k(yu-p)}^n}{\alpha_{n,n}^2}, \quad (7.54)$$

$$\Delta P_{k(o'-p)} = \frac{\Delta P_{k(o'-p)}^n}{\alpha_{n,n}^2}. \quad (7.55)$$

### *Nazorat savollari*

1. Ta'minlovchi elektr tarmoqlari liniyalarining almashtirish sxemalari umumiy va xususiy hollarda qanday tasvirlanadi?
2. Liniyalarning hisobiy parametrlariga nimalar kiradi, ular nimalarga bog'liq va qanday aniqlanadi?
3. Liniyaning zaryad quvvati nima va u qanday aniqlanadi?
4. Oxirida yuklama toki va kuchlanishi ma'lum bo'lgan liniyani hisoblash tartibini tushuntiring.
5. Oxirida yuklama quvvati va kuchlanishi ma'lum bo'lgan liniyani hisoblash tartibini tushuntiring.
6. Oxirida yuklama quvvati va boshlanishida kuchlanish ma'lum bo'lgan liniyani hisoblash tartibini tushuntiring.
7. Liniyaning vektor diagrammasini tushuntiring.
8. Liniyada kuchlanish pasayishi, uning tashkil etuvchilari va kuchlanish isrofini ta'riflang. Ular orasida qanday bog'liqlik mavjud?
9. Liniyada kuchlanish pasayishi va isrofini uning boshlanishi va oxiridagi parametrlar orqali ifodalang.
10. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarida ikki va uch chulg'amli transformator va avtotransformatorlarning almashtirish sxemalari va hisob parametrlarini ta'riflang.
11. Transformatorning katalog (pasport) ma'lumotlariga nimalar kiradi?
12. Transformatorlarning almashtirish sxemasi parametrlari ularning katalog ma'lumotlari bo'yicha qanday topiladi?
13. Transformator va avtotransformator orasidagi farqni tushuntiring.
14. Avtotransformatorning nominal, o'tish va tip quvvatlarini ta'riflang. Ular bir-biri orqali qanday ifodalanadi?

---

## 8. TA'MINLOVCHI ELEKTR TARMOQLARINI HISOBLASH

### 8.1. Asosiy tushuncha va ta'riflar

Bir nechta elektr stansiyalaridan ta'minlanuvchi elektr tarmoqlarini hisoblashda bitta elektr stansiyasidan boshqa barcha elektr stansiyalari berilgan yuklama grafigi bo'yicha ishlaydi deb qaralib, ularning quvvatlari tarmoqning manfiy yuklamasi ko'rinishida belgilanadi.

Tizimning elektr stansiyalaridan bittasi mo'ljallangan yuklama grafigi bo'yicha ishlab, tizimning har qanday qismida har qanday paytda to'satdan yuzaga kelishi mumkin bo'lgan barcha qo'shimcha yuklamalarni va yuklamaning o'zgarishi hamda qayta taqsimlanishiga mos holda o'zgaruvchi quvvat isrofini qoplab turishi shart. Elektr tarmog'ini hisoblashda bu elektr stansiyasi ta'minlash manbasini sifatida qaraladi.

Elektr tarmog'ining hisobiy sxemasini tuzishda podstansiya va stansiyalarning pastki va o'rta kuchlanish tomonlarida berilgan barcha yuklamalar yuqori kuchlanish tomoniga keltirilishi lozim.

Qabul qiluvchi podstansiyaning yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan yuklama uning o'rta va pastki tomonlaridagi yuklamalar hamda transformatorlarning qarshiliklari va o'tkazuvchanliklarida isrof bo'luvchi quvvatlarning yig'indisiga tengdir. Elektr stansiyasining yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan quvvati undagi generatorlar quvvatlarining yig'indisidan o'z ehtiyoj va mahalliy iste'molchilar quvvatlari hamda transformatorlarning qarshiliklari va o'tkazuvchanliklarida isrof bo'luvchi quvvatlarni ayrilganiga tengdir.

Podstansiya yoki stansiyaning *hisobiy yuklamasi* keltirilgan yuklama va mazkur podstansiya yoki stansiyaning yuqori tomoniga tutashgan liniyalarning zaryad quvvatlari yarimlarining yig'indisidan iboratdir. Bunda liniyalarning zaryad quvvatlari nominal kuchlanish bo'yicha aniqlanadi. Loyihalashtirilayotgan liniyalarning o'tkazgichlari hali tanlanmagan holatlarda zaryad quvvatlari liniyaning qabul qilingan tuzilishi va unga muvofiq kutilayotgan o'tkazgichning kesim yuzasi bo'yicha aniqlanadi.

Elektr tarmog'ining sxemasida hisobiy yuklamalar ko'rsatilganidan so'ng tarmoqda quvvatlarning dastlabki taqsimlanishi isrofni e'tiborga olmasdan hisoblanadi. So'ngra loyihalashtirilayotgan liniyalarning o'tkazgichlari tanlanadi va quvvat isrofni e'tiborga olgan holda qaytadan yakuniy taqsimlanadi.

Yopiq elektr tarmoqlarida quvvat oqimini isrofni e'tiborga olib taqsimlashda hisoblash quvvat oqimining bo'linish nuqtasidan ta'minlash manbasiga tomon yo'nalishda olib boriladi. Bunda har bir uchastkada oquvchi quvvat dastlabki taqsimlashda aniqlangan quvvat, ushbu va undan keyin quvvat oqimining bo'linish nuqtasigacha bo'lgan oraliqda joylashgan barcha uchastkalarda isrof bo'luvchi quvvatlar yig'indisidan iborat bo'ladi.

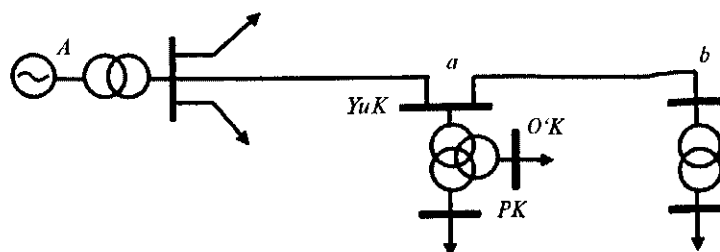
Quvvat, quvvat oqimlari hisoblanganidan so'ng tarmoqning turli nuqtalaridagi kuchlanishlar aniqlanadi va transformatorlarning lozim bo'lgan transformatsiyalash koeffitsiyentlari tanlanadi.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarini hisoblash ta'minlash manbasining kuchlanishi va yuklamalarning quvvatlari bo'yicha olib borilganligi sababli ularning barcha elementlaridagi quvvat isroflarining nominal kuchlanish bo'yicha hisoblanuvchi taqribiy qiymatlaridan foydalaniladi.

## 8.2. Bir nechta yuklamaga ega bo'lgan ochiq elektr tarmoqlarini hisoblash

Energetika tizimining *A* stansiyasi shinasidan bir nechta liniyalar, jumladan *Aab* radial liniya chiqib, unga quvvatlari transformatorlari soni turlicha bo'lgan bir qator podstansiyalar ulangan (8.1- rasm).

Stansiyaning yuqori kuchlanish shinasidan bir nechta turli xarakterdagi iste'molchilarni ta'minlovchi liniyalar chiqqan.



8.1- rasm. Energetika tizimi ochiq tarmog'i bir qismining sxemasi.

Bunday holatlarda ta'minlovchi manba bo'lib ushbu shina hisoblanadi va, odatda, uning talab etilgan kuchlanishi beriladi.

Faraz qilaylik, sxemasi 8.1- rasmda keltirilgan tarmoqni elektr hisoblash talab etiladi. Hisoblash quyidagi tartibda olib boriladi.

**1. Podstansiyalarning yuklamalarini yuqori kuchlanish shinalariga keltirish.** Har bir podstansiya uchun (transformatorlar soni har qanday bo'lgan holatda) ekvivalent transformatorlar chulg'amlarining qarshiliklari va o'tkazuvchanliklardagi quvvat isroflari bilan karakterlanuvchi almashtirish sxemalari tuziladi. Buning natijasida, masalan, *a* podstansiyasi uchun, 8.2- rasmdagi sxema hosil bo'ladi.

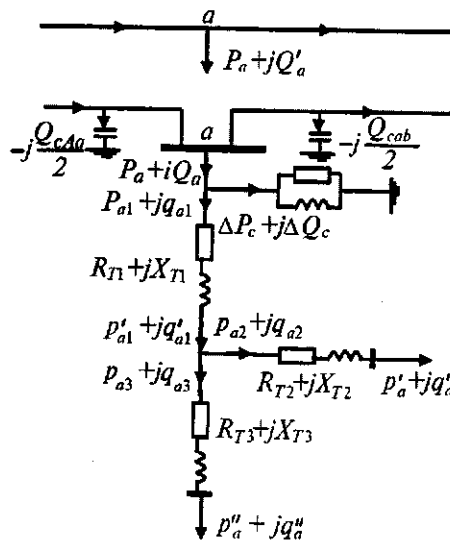
Hisoblash tartibi bilan tanishamiz.

Transformatorning pastki va o'rta chulg'amlarida isrof bo'luvchi quvvatlar nominal kuchlanishdan foydalanish asosida quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta s_3 = \Delta p_3 + j\Delta q_3 = \frac{P_a'^2 + Q_a'^2}{U_n^2} R_{T3} + j \frac{P_a'^2 + Q_a'^2}{U_n^2} X_{T3}, \quad (8.1)$$

$$\Delta s_2 = \Delta p_2 + j\Delta q_2 = \frac{P_a''^2 + Q_a''^2}{U_n^2} R_{T2} + j \frac{P_a''^2 + Q_a''^2}{U_n^2} X_{T2}. \quad (8.2)$$

Pastki va o'rta chulg'amlarga kirib boruvchi quvvatlar ushbu



8.2- rasm. *a* podstansiyasining almashtirish sxemasi (8.1- rasmda qaralsin) va uning hisobiy yuklamasini aniqlash.



tomonlardagi mos yuklamalarga transformatorning mos chulg'amlaridagi isroflarni qo'shish orqali topiladi:

$$\dot{s}_{a3} = p_{a3} + jq_{a3} = p_a'' + \Delta p_3 + j(q_a'' + \Delta q_3), \quad (8.3)$$

$$\dot{s}_{a2} = p_{a2} + jq_{a2} = p_a' + \Delta p_3 + j(q_a' + \Delta q_3). \quad (8.4)$$

Transformatorning yuqori kuchlanish chulg'amidan chiquvchi quvvatni Kirxgofning 1- qonunidan foydalanib topiladi:

$$\dot{s}'_{a1} = p'_{a1} + jq'_{a1} = p_{a2} + p_{a3} + j(q_{a2} + q_{a3}). \quad (8.5)$$

Transformatorning yuqori chulg'amida isrof bo'luvchi va unga kirib keluvchi quvvatlar yuqoridagi tartibda hisoblanadi:

$$\Delta \dot{s}'_1 = \Delta p_1 + j\Delta q_1 = \frac{p_{a1}'^2 + q_{a1}'^2}{U_n^2} R_{T1} + j \frac{p_{a1}'^2 + q_{a1}'^2}{U_n^2} X_{T1}, \quad (8.6)$$

$$\dot{s}_{a1} = p_{a1} + jq_{a1} = p'_{a1} + \Delta p_1 + j(q'_{a1} + \Delta q_1). \quad (8.7)$$

Transformator almashtirish sxemasining o'zaro parallel ulangan aktiv va reaktiv o'tkazuvchanliklaridagi isroflar nominal kuchlanishda transformatorning salt ishlash holatidagi aktiv va reaktiv quvvat isroflari  $\Delta P_c$  va  $\Delta Q_c$  ga tengdir. Bunday holatda podstansiyaning yuqori shinasiga keltirilgan yuklama Kirxgofning 1- qonunidan foydalanib, quyidagicha topiladi:

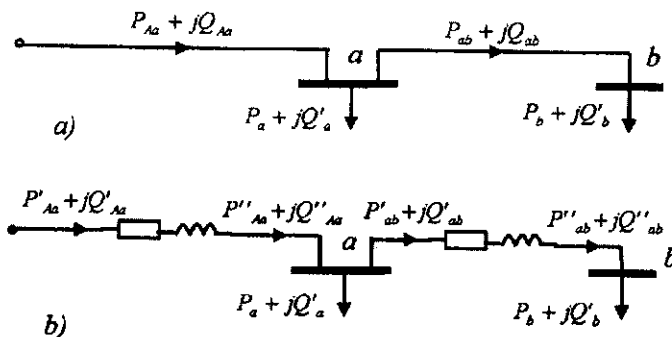
$$\dot{S}'_a = P_a + jQ_a = p_{a1} + \Delta P_c + j(q_{a1} + \Delta Q_c). \quad (8.8)$$

**2. Podstansiyalarning hisobiy yuklamalarini aniqlash.** Podstansiyaning hisobiy yuklamasi uning yuqori kuchlanish shinasiga keltirilgan yuklamasi va bu shinaga ulangan liniyalar zaryad quvvatlari yarimlarining geometrik yig'indisiga tengdir. Bundan kelib chiqqan holda ko'rilayotgan tarmoq  $a$  podstansiyasining hisobiy yuklamasi quyidagicha topiladi:

$$\dot{S}'_a = P_a + jQ'_a = P_a + j \left( Q_a - \frac{Q_{cAa}}{2} - \frac{Q_{cab}}{2} \right). \quad (8.9)$$

Barcha podstansiyalar uchun, jumladan ko'rilayotgan holatda  $b$  podstansiyasi uchun, yuqori kuchlanish shinasiga keltirilgan yuklama va hisobiy yuklamalar yuqoridagi tartibda hisoblanadi.

**3. Tarmoqda quvvatning dastlabki taqismlanishini (liniyalardagi isroflarni e'tiborga olmasdan) hisoblash.** Bu amal podstansiyalarning hisobiy yuklamalarini liniyaning oxiridan



8.3- rasm. Elektr tarmog'ining sxemasida quvvatning dastlabki (a) va yakuniy (b) taqsimlanishi.

boshlanishiga tomon ketma-ketlikda qo'shib borish orqali bajariladi (8.3, a- rasm):

$$\dot{S}_{ab} = P_{ab} + jQ_{ab} = P_b + jQ'_b, \quad (8.10)$$

$$\dot{S}_{Aa} = P_{Aa} + jQ_{Aa} = P_a + P_b + j(Q'_a + Q'_b). \quad (8.11)$$

**4. Elektr tarmog'ining uchastkalarida o'tkazgichning kesim yuzasini tanlash.** O'tkazgichlarning iqtisodiy kesim yuzalari yuqorida ko'rib o'tilgan usullardan mosini qo'llash asosida tanlanadi.

**5. Elektr tarmog'ida quvvatning yakuniy taqsimlanishini (liniyalardagi isroflarni e'tiborga olib) hisoblash.** Agar liniyaning o'tkazgichlari oldindan ma'lum bo'lsa, u holda 4- punkt bajarilmaydi.

Liniyalarning uzunliklari va ular o'tkazgichlarining 1 km uzunlikka to'g'ri keluvchi hisobiy parametrlari bo'yicha aktiv va reaktiv qarshiliklar hamda sig'im o'tkazuvchanliklar topiladi. So'ngra uning oxiridan boshlanishiga tomon ketma-ketlikda uchastkalarda quvvat isroflari va quvvatning yakuniy taqsimlanishi (isroflarni e'tiborga olib) quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$\dot{S}_{ab}^n = P_{ab}^n + jQ_{ab}^n = P_b + jQ'_b, \quad (8.12)$$

$$\Delta \dot{S}_{ab} = \Delta P_{ab} + j\Delta Q_{ab} = \frac{P_{ab}^n{}^2 + Q_{ab}^n{}^2}{U_n^2} R_{ab} + j \frac{P_{ab}^n{}^2 + Q_{ab}^n{}^2}{U_n^2} X_{ab}, \quad (8.13)$$

$$\dot{S}'_{ab} = P'_{ab} + jQ'_{ab} = P_{ab}^n + \Delta P_{ab} + j(Q_{ab}^n + \Delta Q_{ab}), \quad (8.14)$$

$$\dot{S}'_{Aa} = P'_{Aa} + jQ'_{Aa} = P_a + P'_{ab} + j(Q'_a + Q'_{ab}), \quad (8.15)$$

$$\Delta \dot{S}_{Aa} = \Delta P_{Aa} + jQ_{Aa} = \frac{P_{Aa}^{\prime 2} + Q_{Aa}^{\prime 2}}{U_n^2} R_{Aa} + j \frac{P_{Aa}^{\prime 2} + Q_{Aa}^{\prime 2}}{U_n^2} X_{Aa}, \quad (8.16)$$

$$\dot{S}'_{Aa} = P'_{Aa} + jQ'_{Aa} = P''_{Aa} + \Delta P_{Aa} + j(Q''_{Aa} + \Delta Q_{Aa}). \quad (8.17)$$

**6. Podstansiyalarning yuqori tomonidagi kuchlanishlarni topish.** Hisoblashlar elektr liniyalarini  $\Pi$ -simon almashtirish sxemalari bo'yicha oxirida yuklama va boshlanishida kuchlanish berilgan holatda hisoblashning yuqorida tanishib o'tilgan tartibiga muvofiq tarzda amalga oshiriladi.

$A$  podstansiyaning yuqori tomonidagi kuchlanishni hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= U_A - \frac{\hat{S}'_{Aa}}{U_A} Z_{Aa} = U_A - \frac{P'_{Aa} - jQ'_{Aa}}{U_A} \cdot (R_{Aa} + jX_{Aa}) = \\ &= U_A - \frac{P'_{Aa} R_{Aa} + Q'_{Aa} X_{Aa}}{U_A} - j \frac{P'_{Aa} X_{Aa} - Q'_{Aa} R_{Aa}}{U_A} = U_A - \Delta U_{Aa} - j\delta U_{Aa}. \end{aligned} \quad (8.18)$$

Bu yerda  $\Delta U_{Aa}$ ,  $\delta U_{Aa}$  — liniyaning  $Aa$  uchastkasida kuchlanish pasayishining bo'ylama, ko'ndalang tashkil etuvchilari.

$A$  podstansiyaning yuqori tomonidagi kuchlanishning ta'sir etuvchi (effektiv) qiymati kuchlanishning  $\dot{U}_a$  moduliga teng. Yuqorida aytib o'tilganidek, 110 kV kuchlanishli tarmoqlarda kuchlanish pasayishining ko'ndalang tashkil etuvchisi yetarlicha kichik bo'lganligi sababli kompleks kuchlanish  $\dot{U}_a$  ning haqiqiy qismi va moduli o'rtasidagi farq juda kichikdir. Shu sababli bunday tarmoqlarda kuchlanish isrofi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga teng deb qaralishi mumkin. Bu shartni e'tiborga olganimizda  $a$  podstansiyaning yuqori tomonidagi kuchlanish quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$U_a = U_A - \frac{P'_{Aa} R_{Aa} + Q'_{Aa} X_{Aa}}{U_A}. \quad (8.19)$$

$a$  punktdagi kuchlanishni bilgan holda  $b$  podstansiyaning yuqori tomonidagi kuchlanish quyidagicha hisoblanadi:

$$U_b = U_a - \frac{P'_{ab} R_{ab} + Q'_{ab} X_{ab}}{U_a}. \quad (8.20)$$

Yuklamalari soni har xil bo'lgan va shoxobchalangan elektr tarmoqlari ham yuqorida ko'rib o'tilgan tartibda hisoblanadi.

---

### **8.3. Bitta yoki bir nechta elektr stansiyalariga ega bo'lgan oddiy yopiq elektr tarmoqlarini hisoblash**

Oddiy yopiq elektr tarmoqlari quyidagi ketma-ketlikda hisoblanadi:

1. Podstansiya va stansiyalarning yuklamalari yuqori kuchlanish shinasiga keltiriladi va hisobiy yuklamalar hisoblanadi.
2. Elektr tarmog'i ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq ko'rinishiga keltiriladi va uning uchastkalaridagi quvvat oqimlari hisoblanadi.
3. Loyihalashtirilayotgan liniyalar o'tkazgichlarining kesim yuzalari tanlanadi va ular avariya dan keyingi holat uchun qizish shartlariga tekshiriladi.
4. Quvvatning dastlabki taqsimlanishi, tanlangan o'tkazgichlarni hisobga olib, aniqlanadi.
5. Uchastkalarda quvvat isroflari topiladi va quvvat oqimining yakuniy taqsimlanishi (isrofni e'tiborga olgan holda) hisoblanadi.
6. Stansiya va podstansiyalarning yuqori kuchlanish shinalaridagi kuchlanishlar hisoblanadi, transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentlari tanlanadi va stansiyalarning generator shinalaridagi hamda yuklama podstansiyalarining o'rta va pastki shinalaridagi kuchlanishlar normal va avariya holatlari uchun topiladi.

#### ***Nazorat savollari***

1. Ta'minlovchi ochiq elektr tarmoqlarida podstansiyaning keltirilgan va hisobiy yuklamalarini ta'riflang. Ular qanday hisoblanadi?
2. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarini hisoblash tartibini tushuntiring.
3. Ta'minlovchi elektr tarmoqlari holatlarini hisoblashda qanday zanjir qonunlaridan foydalaniladi?
4. Bitta yoki bir nechta elektr stansiyalariga ega bo'lgan oddiy yopiq elektr tarmoqlarini hisoblash tartibini tushuntiring.

---

## 9. ENERGETIKA TIZIMIDA ELEKTR TARMOQLARINING ISH HOLATLARI

### 9.1. Elektr tizimining ish holatlari haqida umumiy ma'lumotlar

**Elektr energiyasining sifati** tarmoqdagi kuchlanish va chastotani ularning meyorlangan qiymatlariga mos kelish darajasini aniqlovchi ko'rsatkichlar bilan xarakterlanadi. Odatda, texnik va iqtisodiy nuqtayi nazaridan barcha elektr is'temolchilari va apparatlarining nominal parametrlarda ishlashi ( $f_{nom}$ ,  $U_{nom}$ ,  $I_{nom}$ ) maqsadga muvofiq hisoblanadi. Boshlang'ich bosqichlarda elektr energiyasining sifati ta'minlash tarmoqdagi kuchlanish va chastotani ularning nominal qiymatlariga yaqin darajada tutib turishdan iborat edi. So'nggi yillarda ko'p miqdordagi yuklamasi tez o'zgarib turuvchi, shuningdek, yuklamasi fazalar bo'yicha bir tekis taqsimlanmagan va nosinusoidal kuchlanish hamda tokni hosil qiluvchi noan'anaviy elektr qabul qilgichlar (EQQ) paydo bo'lishi (prokat stansiyalari, yoyli po'lat erituvchi pechlar, to'g'rilagich qurilmalar, elektrlashtirilgan transportlar, elektroliz va h.k.) elektr energiyasi sifatining buzilishiga olib keladi.

Hozirgi davrda 50 Hz chastotali uch fazali va bir fazali umumfoydalaniladigan elektr tarmog'ining EQQlar yoki is'temolchilar ulanadigan nuqtalarida elektr energiyasi sifatiga talabni o'rnatuvchi Davlat standarti amal qiladi.

*Elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari* (EESK) ikki guruhga bo'linadi: asosiy EESK va qo'shimcha EESK. Asosiy EESKlarga elektr energiyasining sifati belgilovchi parametrlar kiradi.

Ruxsat etiluvchi qiymatlar belgilangan asosiy EESKga kuchlanishning og'ishi, kuchlanish diapazoni, kuchlanish tebranishlarining dozasi, kuchlanish egri chizig'ining nosinusoidal koeffitsiyenti,  $v$ -garmonik tashkil etuvchi koeffitsiyenti, kuchlanishlarning ketma-ketlik koeffitsiyenti, kuchlanishlarning nol ketma-ketlik koeffitsiyenti va chastotaning og'ishi kiradi.

Qo'shimcha EESK esa boshqa meyoriy-texnik hujjatlarda foydalaniluvchi ko'rsatkichlarni o'z ichiga oladi.

Chastotaning og'ishi butun energetika tizimi uchun bir xil chunki uning ayni vaqtdagi qiymati generatorlarning aylantirish chastotasi bilan belgilanadi. Normal turg'un holatlarda barot generatorlar sinxron chastotaga egadir. Shu sababli chastotaning og'ishi elektr energiyasi sifatining umumtizimiy — global ko'rsatkichidir. Kuchlanish tarmoqning turli nuqtalarida turlicha qiymatga ega bo'lganligi sababli u elektr energiyasi sifatining lokal ko'rsatkich hisoblanadi.

Elektr tarmoqlarining real holatlarida kuchlanishlar doimiy nominal kuchlanishdan farq qiladi. Bu farqni bir qator — kuchlanishning og'ishi, kuchlanishning o'zgarish diapazoni, kuchlanish tebranishining dozasi kabi EESK xarakterlaydi.

*Kuchlanishning og'ishi* — bu kuchlanishning ayni vaqtdagi haqiqiy  $U$  va tarmoq uchun nominal  $U_n$  qiymatlari orasidagi farqdir.

Agar  $U$  va  $U_n$  volt yoki kilovoltlarda ifodalansa, u holda kuchlanish og'ishi shu birliklarda quyidagicha aniqlanadi:

$$V = U - U_n.$$

Kuchlanishning og'ishi nominalga nisbatan foiz hisobida ham aniqlanishi mumkin:

$$V\% = \frac{U - U_n}{U_n} \cdot 100\%.$$

*Kuchlanish o'zgarishining diapazoni* — bu kuchlanish bir marta tebranganda uning oldingi va keyingi amplituda yoki ta'sir etuvchi qiymatlari orasidagi farqdir.  $U$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi, %:

$$V_i\% = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{\sqrt{2}U_n} \cdot 100\%.$$

Bu yerda  $U_i, U_{i+1}$  — kuchlanishning ketma-ket keluvchi amplituda qiymatlari.

Kuchlanish o'zgarishi diapazonining me'yori va ruxsat etilgan qiymatlari faqat yoritish qurilmalari uchun aniqlangan. Elektr energiyasining boshqa qabul qilgichlari uchun kuchlanish o'zgarishining diapazoni meyorlanmaydi.

*Kuchlanishning teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti* — bu kuchlanishning nosimmetrikligini belgilovchi sifat ko'rsatkichidir, %:

$$K_{2u} = \frac{U_{2(1)}}{U_{nom}} \cdot 100.$$

Bu yerda  $U_{2(1)}$  — umumiy chastotali uch fazali tizim teskari ketma-ketlik kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati.

Uch fazali to'rt o'tkazgichli tizimning nol ketma-ketlik koeffitsiyenti  $K_{0u}$  ham shu tartibda aniqlanadi.  $K_{0u}$  koeffitsiyenti  $K_{2u}$  koeffitsiyentini aniqlash formulasi bo'yicha topilib, faqat  $U_{2(1)}$  o'rniga umumiy chastotali nol ketma-ketligi kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati  $U_{0(1)}$  qo'yiladi.

*Kuchlanishlar egri chizig'ining nosinusoidallik koeffitsiyenti:*

$$K_{HCu} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^N U_v^2}}{U_{nom}} \cdot 100.$$

Bu yerda  $U_v$  — kuchlanishni  $v$  - garmonik tashkil etuvchisining ta'sir etuvchi qiymati;  $v$  — kuchlanishni garmonik tashkil etuvchisining tartibi;  $N$  — kuchlanishni hisobga oluvchi garmonik tashkil etuvchilar so'nggisining tartibi.

$K_{HCu}$  ni aniqlashda tartibi  $v > 40$  va (yoki) qiymati 0,3 % dan kichik bo'lgan garmonik tashkil etuvchilarni hisobga olmaslikka ruxsat etiladi.

*Elektr energiyasi sifati pastligining tarmoqlar va elektr jihozlarga ta'siri* elektr energiyasi isrofining ortishi; jihozlar xizmat muddatining qisqarishi; ishlab chiqarish darajasining pasayishi; sifatning yomonlashuvi va ba'zan nuqsonli yaroqsiz mahsulot ishlab chiqarilishiga olib keluvchi texnik zararlarda ko'rinadi.

*Elektr tarmog'i va jihozlaridagi quvvat isrofi* kuchlanish qiymatiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Masalan, yuk isroflari, ya'ni elektr uzatish liniyalari va transformatorlar almashtirish sxemalarining bo'ylama qismlaridagi isroflar tokning kvadratiga to'g'ri va kuchlanishning kvadratiga teskari proporsionaldir. Salt ishlash isroflari esa kuchlanishning kvadratiga to'g'ri proporsionaldir. Bundan kelib chiqadiki, kuchlanishni rostdash quvvat va energiya isroflarini o'zgartiradi.

Toklar va kuchlanishlar simmetrikligi va sinusoidalligining buzilishi liniyalar, transformatorlar, aylanuvchi mashinalar va kondensator batareyalarida qo'shimcha isroflarni hosil qiladi. Shu sababli elektr energiyasi sifatini oshiruvchi tadbirlar elektr energiyasi isrofining kamayishiga olib keladi.

Elektr energiyasi sifatining elektr jihozlarini xizmat qilish muddatiga ta'siri asosan o'tkazgichlar va izolatsiyadagi haroratning

ruxsat etilgan qiymatidan ortib ketishi natijasida ularning tez eskirishida namoyon bo'ladi. Cho'g'lanma lampalar xizmat muddatining kamayishiga kuchlanishning musbat og'ishi, xususan, kuchli ta'sir etadi. Yuqori garmonikalar, xususan, rezonansning yuz berishi kondensator batareyalarining ishdan chiqishiga olib keladi.

*Texnologik zarar* — texnologik jarayon va ishlab chiqariluvchi mahsulot turlari bilan belgilanadi. Odatda, texnologik zarar ishlab chiqariluvchi mahsulot miqdori yoki sifatining pasayishi, mahsulotning yaroqsiz bo'lishi va hattoki texnologik jarayonning buzilishida namoyon bo'ladi. Mahsulot miqdori va sifatining pasayishi mahsulot umumiy narxi o'zgarishining berilgan kuchlanish darajasiga bog'liqligini belgilovchi iqtisodiy xarakteristika bilan baholanadi. Eksperimental iqtisodiy xarakteristikalar har bir turdagi korxonalar uchun olinadi. Har xil korxonalar uchun ular turlicha bo'ladi. Ayrim korxonalarda texnologik jarayon kuchlanish sifatiga juda sezgir bo'lsa, ayrimlarida aksinchadir.

Texnologik jarayonlarning buzilishi avtomatika tizimlarining noto'g'ri ishlashi natijasida sodir bo'ladi. Avtomatik boshqaruv tizimlari elektr energiyasi sifatiga sezgir bo'lgan ko'plab elektron elementlardan tashkil topgan.

Sanoat va shahar elektr tarmoqlarida elektr energiyasining texnologik zarar va isrofini belgilovchi asosiy sifat ko'rsatkichi bo'lib kuchlanishning og'ishi hisoblanadi. Qator ishlab chiqarish korxonalar uchun kuchlanish sifatining pastligidan ko'riladigan iqtisodiy zarar asosiy o'rin kasb etadi. Kuchlanishning pasayishi lampalarning yorug'lik berishini tez kamayishiga olib keladi. Shahar tarmoqlarida kuchlanishning nostabilligi ommaviy ravishda kuchlanish stabilizatorlaridan foydalanishni talab etadi.

EESKni quvvat isrofi va jihozlarning xizmat qilish muddatining kamayishi, shuningdek, mahsulot miqdori va sifati pasayishiga ta'sir darajasiga muvofiq ketma-ketlikda quyidagicha yozish mumkin: 1) kuchlanish va chastotaning og'ishi; 2) kuchlanish va tokning nosimmetrikligi; 3) kuchlanish va toklar egri chiziqlarining nosinusoidalligi; 4) kuchlanish o'zgarishining diapazoni. Texnologik jarayonlarga ta'sir darajasi bo'yicha esa bu ko'rsatkichlar quyidagi ketma-ketlikda bo'ladi: 3, 4, 2, 1.

## **9.2. Elektr tarmoqlarida kuchlanishni rostlash**

Elektr tarmog'ining kuchlanishi doimo yuklama, ta'minlash manbasining ish holatlari, zanjirning qarshiligi o'zgarishi bilan



o'zgarib turadi. Kuchlanishning og'ishi har doim ham ruxsat etilgan qiymatlar intervalida joylashavermaydi. Buning sababi bo'lib quyidagilar hisoblanadi: a) tarmoq elementlari orqali oqayotgan yuklama toklari hosil qiluvchi kuchlanish isrofi; b) tok o'tkazuvchi elementlar 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 tizimidagi joyi bo'yicha — elektr tarmog'ning ma'lum nuqtalarida, masalan, liniyaning boshlanishi yoki oxirida, tuman podstantsiyasida; 3) kuchlanish og'ishi mavjud bo'lishining davomiyligi bo'yicha.

*Kuchlanishni rostdash* deb elektr tizimining xarakterli nuqtalarida kuchlanish darajasini maxsus texnik vositalar yordamida o'zgartirish jarayoniga aytiladi. Avvaldan kuchlanish va reaktiv quvvatni rostdash usullari va yo'llari energetika tizimlarini boshqarishning quyi iyerarxik darajalaridan yuqorisi tomon kelib chiqqan. Jumladan, boshlanishda kuchlanishni rostdash taqsimlovchi tarmoqlarning ta'minlash markazlarida — ish holati o'zgarganda istemolchilardagi kuchlanish transformatsiyalash koeffitsiyentini o'zgartirish orqali tutib turiladigan tuman podstantsiyalarida amalga oshirilgan.

Kuchlanishni rostdashning bu usullari hozirgi davrgacha ham saqlanib qolib, ular avtomatlashtirilgan dispetcherlik boshqaruvi tizimlari (ADBT)ning quyi iyerarxik darajalarida qo'llaniladi. ADBTning yuqori darajalari nuqtayi nazaridan bular rostdashning lokal usullaridir. Yuqori daraja ADBT lokal rostdash tizimlari va butun energetika tizimining holatini optimallashtirish ishlarini koordinatsiyalaydi.

Kuchlanishni lokal rostdashni ta'minlash markazida (TM) amalga oshiriladigan markazlangan va bevosita istemolchilarda amalga oshiridigan mahalliy usullarga bo'lish mumkin.

Kuchlanishni mahalliy rostdashni guruhli va individual usullarga bo'lish mumkin. Guruhli rostdash istemolchilar guruhi uchun, individual rostdash asosan maxsus maqsadlarda amalga oshiriladi.

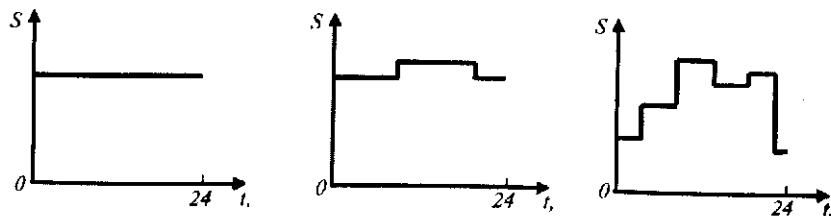
Yuqorida ko'rsatilgan kuchlanishni rostdash usullarini yuklamani o'zgarish xarakteriga bog'liq ravishda bir nechta kichik usullarga

ajratish mumkin. Masalan, kuchlanishni markazlashgan rostdashda uchta usulni ajratish mumkin. Bular, kuchlanishni stabillash; kuchlanishni ikki pog'onali rostdash va kuchlanishni qarama-qarshi rostdashdir.

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 is'temolchilarning sutkalik yuklama grafigi 9.1, *a*- rasmida keltirilgan.

Ayon ifodalangan ikki pog'onali yuklama grafigiga ega bo'lgan is'temolchilar, masalan, bir smenli korxonalar uchun *ikki pog'onali rostdash* qo'llaniladi (9.1, *b* -rasm). Bunda sutka davomida yuklama grafigiga mos ravishda kuchlanishning ikkita pog'onasi tutib turiladi. Yuklama sutka davomida o'zgaruvchan bo'lgan hollarda *qarama-qarshi rostdash* amalga oshiriladi (9.1, *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 rostdash lozim.

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 rostdash kuchlanishni nafaqat yuklamaning sutka davomida o'zgarishi bo'yicha, balki mavsum davomida ham o'zgarishi bo'yicha rostdashdan iboratdir. U elektr stansiyalari va podstansiyalari shinalaridagi kuchlanish darajasini eng katta yuklama davrida oshirilgan holatda, eng kichik yuklama davrida esa kamaytirilgan holatda tutib turishni nazarda tutadi.



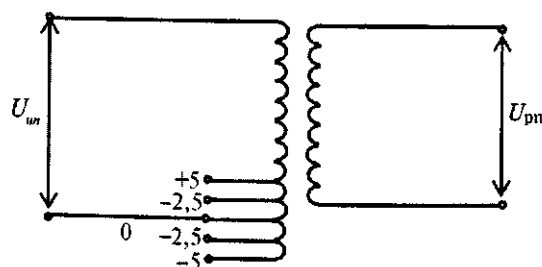
9.1-rasm. Yuklama grafiglari: *a*— o'zgarmas; *b* — ikki pog'onali; *d* — ko'p pog'onali.

### 9.3. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiyalarda rostlash

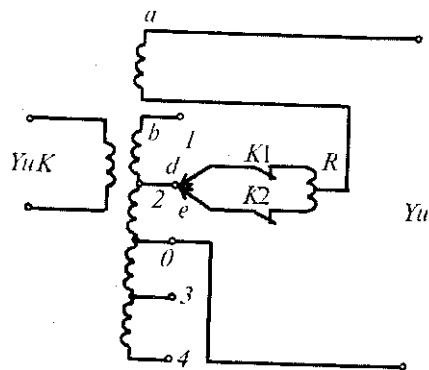
Pasaytiruvchi podstansiyalarning transformatorlari tuzilishi bo'yicha ikki turga bo'linadi: a) rostlovchi shoxobchalarni qo'zg'atishsiz almashlab ulovchi, ya'ni tarmoqdan uzish orqali (qisqacha, „QAUIli transformatorlar“); b) rostlovchi shoxobchalarni yuklama ostida rostlovchi (qisqacha, „YuORli transformatorlar“). Odatda, rostlovchi shoxobchalar transformatorning kichik ishchi tok oquvchi yuqori chulg'ami tomonida yasaladi. Bunda almashlab ulash qurilmasining ishi yengillashadi.

**QAUIli transformatorlar** hozirgi davrda asosiy va to'rtta qo'shimcha shoxobchali qilib ishlab chiqariladi. Bunday transformator chulg'amining sxemasi 9.2-rasmda keltirilgan. Asosiy shoxobcha kuchlanishi transformator yuqori chulg'amining nominal kuchlanishidir ( $U_{yun}$ ). Pasaytiruvchi transformatorlar uchun  $U_{yun}$  ushbu transformator yuqori chulg'ami ulanadigan tarmoqning nominal kuchlanishi  $U_n$  ga taxminan tengdir. (Masalan, 6, 10, 20, 35 kV va h.k). Transformatorning asosiy shoxobchaga mos keluvchi transformatsiyalash koeffitsiyentini *nominal transformatsiyalash koeffitsiyenti* deb yuritiladi. To'rtta yordamchi shoxobchadan foydalanilganda transformatsiyalash koeffitsiyenti nominaldan +5; +2,5; -2,5 va -5 % farq qiladi. Transformatorning ikkilamchi (sxemada — pastki) chulg'ami unga ulangan tarmoqni ta'minlash markazi hisoblanadi.

Shu sababli transformatorlarda ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi tarmoqning nominal kuchlanishiga nisbatan kattadir. Bu farq kichik quvvatli transformatorlar uchun 5 % va qolganlari uchun 10 % ni tashkil etadi. Faraz qilaylik, asosiy shoxobchadan foydalanilganda birlamchi shoxobchaga tarmoqning nominal kuchlanishiga teng kuchlanish berilmoqda va salt ishlash



9.2-rasm. QAUIli transformator chulg'amlarining sxemasi.



9.3-rasm. YuORli transformator chulg‘amlarining sxemasi.

holatida PK tomonidagi kuchlanish  $1,05 U_{pn}$ . Bunda qo‘shimcha kuchlanish 5 % ni tashkil etadi. QAUli transformator shoxobchasini o‘zgartirish orqali yaxlitlangan qiymatlari quyidagicha bo‘lgan qo‘shimcha kuchlanishlarni olish mumkin:

Birlamchi chulg‘am shoxobchasi, %: +5 +2,5 0 -2,5 5  
Salt ishlash holatida PK

tomonidagi kuchlanish ( $U_p/U_{pn}$ ): 1 1,025 1,05 1,075 1,1  
Qo‘shimcha kuchlanish, %: 0 2,5 +5 +7,5 +10

QAUli transformatorning rostlash shoxobchalarini almashlab ulash uchun avvalo uni tarmoqdan ajratish talab etiladi. Bunday almashlab ulashlar kam — yuklamalarning mavsumiy o‘zgarishida amalga oshiriladi. Shu sababli sutka davomidagi eng katta va eng kichik yuklama holatlarida (masalan, kunduzi va tunda) QAUli transformator bitta rostlovchi shoxobcha va shunga mos yagona transformatsiyalash koeffitsiyenti bilan ishlaydi. Bunda kuchlanishni qarama-qarshi rostlash talablarini amalga oshirish mumkin emas.

O‘rnatilgan YuOR qurilmali **kuchlanishni yuklama ostida rostlovchi** transformatorlar QAUli transformatorlardan almashlab ulovchi maxsus qurilma va shuningdek shoxobchalar sonining ko‘pligi, diapazonining kattaligi bilan farq qiladi. Masalan, YuK chulg‘amini asosiy shoxobchasi kuchlanishi 115 kV bo‘lgan transformator har biri 1,78 % dan 18 ta rostlash darajali +16 % rostlash diapazoniga ega.

9.3-rasmda YuORli transformator chulg‘amlarining sxemasi tasvirlangan. Bu transformatorning YuK chulg‘ami ikki qismdan — rostlanmaydigan (a) va rostlanadigan (b) qismlardan tashkil

topgan. Rostlanadigan qismining 1, 4 qo'zg'almas kontaktlarida bir qator shoxobchalar mavjud. 1, 2 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlari bilan bir xil ulangan o'ramlar qismiga mos keladi. 1, 2 shoxobchalar ulanganda transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti oshadi. 3, 4 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlariga nisbatan qarama-qarshi ulangan o'ramlar qismiga mos keladi. Ularning ulanishi transformatsiyalash koeffitsiyentini kamaytiradi, chunki ular asosiy chulg'am o'ramlari bir qismining ta'sirini kompensatsiyalaydi. Transformator YuK chulg'amining asosiy chiqish joyi bo'lib 0 nuqta hisoblanadi.

Asosiy chulg'am o'ramlari bilan bir yo'nalishda va qarama — qarshi ta'sir etuvchi o'ramlar soni bir xil bo'lmasligi mumkin. Chulg'amning rostlovchi qismida qo'zg'aluvchi  $d$  va  $e$ , qo'zg'almas  $K1$  va  $K2$  kontaktlardan hamda  $R$  reaktorlardan tashkil topgan almashlab ulovchi qurilma mavjud. Reaktorning o'rtasi transformator chulg'amining rostlanmaydigan  $a$  qismi bilan tutashgan. Normal sharoitda YuK chulg'ami toki reaktor chulg'ami yarimlariga teng bo'linadi. Shu sababli reaktorda magnit oqimi va, shuningdek kuchlanish isrofi kamdir.

Faraz qilaylik, qurilmani shoxobcha 2 dan shoxobcha 1 ga almashlab ulash talab etiladi. Bunda kontakt  $K1$  uziladi, qo'zg'aluvchan kontakt  $d$  shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va  $K1$  kontakt qayta ulanadi. Shunday qilib, chulg'amning 1, 2 seksiyalari  $R$  reaktorning chulg'ami orqali yopiq ulanib qoladi. Bu vaqtda reaktorning induktivligi chulg'amning 1, 2 seksiyasidagi kuchlanish ta'sirida hosil bo'luvchi tenglashtiruvchi tokni cheklaydi. Shundan so'ng kontakt  $K2$  uziladi, qo'zg'aluvchan kontakt 2 shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va  $K2$  kontakt qayta ulanadi.

YuOR yordamida transformatorning shoxobchasini va transformatsiyalash koeffitsiyentini sutka davomida yuklama ostida o'zgartirish orqali qarama-qarshi rostlash talabini bajarish mumkin.

**Liniya rostlagich transformatorlari (LRT)** va ketma-ket rostlovchi transformatorlar kuchlanishni alohida liniyada yoki liniyalar guruhida rostlash uchun qo'llaniladi. Shunday qilib, ular yuklama ostida rostlaydigan transformatorlar foydalanilmagan mavjud tarmoqlarni qayta qurishda qo'llaniladi. Bunday hollarda podstantsiya shinasida kuchlanishni rostlash uchun LRT rostlanmaydigan transformator bilan ketma-ket ulanadi. Chiqib ketuvchi liniyalarda kuchlanishni rostlash uchun LRTlari bevosita liniyalariga ketma-ket ulanadi.

LRT yordamida kuchlanishni bo'ylama, ko'ndalang va bo'ylama-ko'ndalang rostdash mumkin.

Podstansiyaning ikkilamchi tomonida kuchlanishni rostdash orqali uning talab etilgan qiymatini ta'minlash uchun transformatorlarda zaruriy rostlovchi shoxobchani va mos transformatsiyalash koeffitsiyentini tanlash tartibi maxsus qo'llanmalar bo'yicha o'tkaziladi.

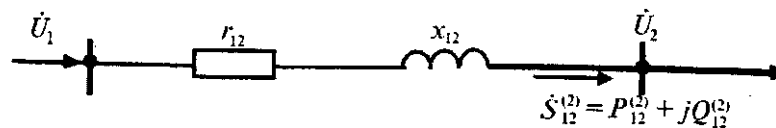
#### 9.4. Kuchlanishni tarmoqning reaktiv qarshiligini kompensatsiyalab rostdash

Iste'molchidagi kuchlanish tarmoqdagi kuchlanish isrofi qiymatiga bog'liqdir. Kuchlanish isrofi esa o'z navbatida tarmoq qarshiligiga bog'liq. Bunga sxemasi 9.4-rasmda tasvirlangan tarmoqda kuchlanish isrofining quyidagi ifodasini tahlil qilib, ishonch hosil qilish mumkin:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^{(2)} + Q_{12}^{(2)} X_{12}}{U_2}. \quad (9.1)$$

Taqsimlovchi va ta'minlovchi tarmoqlar uchun aktiv va reaktiv qarshiliklarning nisbatlari turlicha bo'ladi. Taqsimlovchi tarmoqlarda aktiv qarshilik reaktiv qarshilikka nisbatan katta, ya'ni  $r_0 > x_0$  bo'ladi. Bunda (9.1) da suratning asosiy tashkil etuvchisi  $P_{12}^{(2)} r_{12}$  bo'lib qoladi. Taqsimlovchi tarmoqlarda liniya o'tkazgichining ko'ndalang kesimi o'zgarganda  $r_0$  va unga mos ravishda  $r_{12}$ ,  $\Delta U_{12}$  va iste'molchidagi kuchlanish anchagina o'zgaradi. Shu sababli bunday tarmoqlarda o'tkazgichning ko'ndalang kesimi ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha aniqlanadi.

Ta'minlovchi elektr tarmoqlarida, aksincha,  $x_0 > r_0$  va shu sababli  $\Delta U_{12}$  asosan liniya o'tkazgichining ko'ndalang kesimiga kam darajada bog'liq bo'lgan reaktiv qarshilik bilan belgilanadi. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarida liniya o'tkazgichini ruxsat etilgan kuchla-



9.4-rasm. Kuchlanishni tarmoqning reaktiv qarshiligini kompensatsiyalab rostdash.

nish isrofi bo'yicha tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Reaktiv qarshilikni o'zgartirish uchun liniyaga ketma-ket tartibda kondensator uskunasini ulash lozim. Liniyada kondensator uskunasini ulashdan oldingi kuchlanish isrofi (9.1) bo'yicha aniqlanadi. Faraz qilaylik, liniyaning oxirida kuchlanish ruxsat etilganidan past, ya'ni

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

Liniyaga kondensator uskunasini shunday ulaymizki, buning natijasida  $U_2$  ruxsat etilgan  $U_{2\text{rux}}$  gacha oshsin.

Bu holat uchun yuqoridagi ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$U_{2\text{rux}} = U_1 - \frac{P_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} (x_{12} - x_k)}{U_{2\text{rux}}}. \quad (9.2)$$

Bu yerda  $x_k$  — kondensator uskunasining qarshiligi.

Kondensator uskunasini liniyada ketma-ket ulash *bo'ylama kompensatsiyalash* deb yuritiladi. Bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilma (BKQ) liniyada induktiv qarshilik va kuchlanish isrofini kompensatsiyalash imkonini beradi (9.5, a-rasm). Bunday roslashning vektor diagrammasi 9.5, b-rasmda tasvirlangan. Undan ko'rinadiki,

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

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

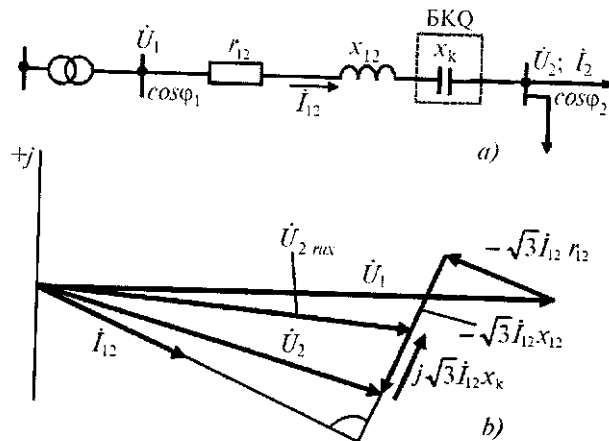
Bu yerda  $I_{12}$  — liniya toki.

$j\sqrt{3} I_{12} x_k$  ni manfiy kuchlanish yoki tarmoqqa kiritiluvchi qo'shimcha e.y.k sifatida qarash mumkin.

$U_1$ ,  $U_{2\text{rux}}$ ,  $r_{12}$ ,  $x_{12}$ ,  $P_{12}^{(2)}$ ,  $Q_{12}^{(2)}$  ni bilgan holda (9.2) dan  $x_k$  ni topish hamda kondensator uskunasida ketma-ket va parallel ulanishi lozim bo'lgan kondensatorlarning sonini aniqlash mumkin. Bunda kondensator uskunasidagi kuchlanish  $U_k$  va tok  $I_k$  quyidagicha aniqlanadi:

$$U_k = \sqrt{3} I_{12} x_k, \quad I_k = I_{12} = \frac{S_{12}^{(2)}}{\sqrt{3} U_2}.$$

Agar bitta kondensatorning nominal kuchlanish  $U_{k.n} < U_k / \sqrt{3}$  bo'lsa, u holda bir nechta kondensatorlar ketma-ket ulanib, ularning soni quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:



9.5-rasm. Bo‘ylama kompensatsiya:  
 a – BKQni ulash sxemasi; b – vektor diagrammasi.

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

Kondensatorning pasportida uning quvvati  $Q_k$  ko‘rsatiladi. Bu qiymatni bilgan holda uning nominal tokni aniqlash mumkin:

$$I_{k.n} = \frac{Q_k}{U_{k.n}}$$

Agar  $I_{k.n} < I_k$  bo‘lsa, u holda uskunada  $m$  ta kondensator parallel ulanadi. Bunda

$$m = \frac{I_k}{I_{k.n}}$$

BKQ sig‘im qarshiligini liniya induktiv qarshiligiga nisbatining foizlardagi qiymati *kompensatsiyalash foizi* deb ataladi:

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

Amalda liniyaning reaktiv qarshiligini qisman kompensatsiyalash qo‘llaniladi ( $C < 100\%$ ). Yuklamani bevosita ta‘minlaydigan taqsimlovchi tarmoqlarda to‘la yoki ortiqcha kompensatsiyalash ( $C > 100$ ) odatda qo‘llanilmaydi. Bu tarmoqda o‘ta kuchlanishning vujudga kelish mumkinligi bilan bog‘liq.

BKQni qo‘llash tarmoqda kuchlanish holatini yaxshilash imkonini beradi. Biroq, kuchlanishning ortishi BKQ orqali o‘tuvchi tok qiymati va fazasiga bog‘liqdir. Shu sababli BKQ yordamida



rostlash imkoniyatlari cheklangan. BKQni o'ta yuklangan radial liniyalarda kuchlanish og'ishini kamaytirish uchun qo'llash eng samaralidir.

Ta'minlovchi tarmoqlarda BKQlar foydalanishda murakkab va qimmatdir, qisqa tutashuv davrida ularni o'takuchlanishdan himoyalash uchun maxsus tadbirlarni qo'llash lozim bo'ladi. BKQ nafaqat kuchlanishni rostlash uchun, balki liniyaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish uchun ham qo'llaniladi.

### 9.5. Kuchlanishni reaktiv quvvatni kompensatsiyalab rostlash

Tarmoqda kuchlanish isrofining taqribiy qiymati  $\Delta U_T$  quyidagi ifodadan aniqlanadi (9.6, a- rasm):

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

Bu yerda  $R_{yu}$ ,  $Q_{yu}$  — quvvat oqimlari;  $r_T$ ,  $x_T$  — tarmoqning aktiv va reaktiv qarshiliklari.

Yuqoridagi ifodadan ko'rinadiki, kuchlanish isrofi tarmoqdagi aktiv va reaktiv quvvat oqimlariga bog'liq. Liniya orqali oquvchi aktiv quvvat iste'molchi quvvati bilan belgilanadi. Kuchlanishni rostlash uchun aktiv quvvatni o'zgartirish mumkin emas. Ta'minlovchi tarmoqlarda reaktiv qarshilik aktiv qarshilikka nisbatan katta bo'lmaganligi uchun quvvat oqimlarini o'zgartirib rostlashda kuchlanish pasayishiga  $Q_{yux}$  ko'paytma hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi.

Reaktiv quvvat oqimlarini kompensatsiyalash uchun kompensatsiyalovchi qurilmalar — kondensator batareyalari (KB), sinxron kompensatorlar (SK), shuningdek reaktiv quvvatni statik manbalari (RQSM) qo'llaniladi.

**Kompensatsiyalovchi qurilma sifatida sinxron kompensatorlardan foydalanish** 9.6, a- rasmda tasvirlangan.

Kompensator o'rnatishdan oldin liniya oxiridagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{yu}r_T + Q_{yu}x_T}{U_2} \quad (9.3)$$

Faraz qilaylik,  $U_2$  ruxsat etilganidan kichik. Liniya oxiriga SK ulanishi natijasida ruxsat etilgan kuchlanish  $U_{2rux}$  ta'minlanadi:

$$U_{2\text{rux}} = U_1 - \frac{P_{yu}r_T + (Q_{yu} - Q_{sk})x_T}{U_{2\text{rux}}}. \quad (9.4)$$

SKning kuchlanishni ruxsat etilgan qiymatini ta'minlaydigan quvvatini topamiz. Buning uchun (9.4) dan (9.3) ni ayiramiz va quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$Q_{sk} = \frac{(U_{2\text{rux}} - U_2)[U_{2\text{rux}}U_2 - (P_{yu}r_T + Q_{yu}x_T)]}{U_2x_T}.$$

Agar  $1/U_{2\text{rux}} = 1/U_2$  deb qabul qilsak, u holda bu ifoda yanada soddalashadi:

$$Q_{sk} = \frac{U_{2\text{rux}} - U_2}{x_T} \cdot U_{2\text{rux}}. \quad (9.5)$$

Amaliy hisoblashlarda  $Q_{sk}$  (9.5) bo'yicha topiladi.

Sinxron kompensatorlar o'ta qo'zg'alish va kam qo'zg'alish holatlarida ishlaydi. O'ta qo'zg'algan holatida ular nominalgacha bo'lgan quvvatni ishlab chiqarishi, kam qo'lg'algan holatida esa, nominalning yarmigacha bo'lgan quvvatni iste'mol qilishi mumkin. Reaktiv quvvatning iste'mol qilinishi kuchlanish isrofining ortishi va iste'molchidagi kuchlanishni kamayishiga olib keladi. 9.6, b-rasmda o'ta qo'zg'algan holat uchun vektor diagrammalar tasvirlangan.

Shunday qilib, SK ulanishidan oldin va ulanganidan keyingi holatlarda tarmoqning boshlanishi va oxiridagi kuchlanishlar hamda u orqali oquvchi toklar o'rtasidagi munosabat quyidagicha bo'ladi:

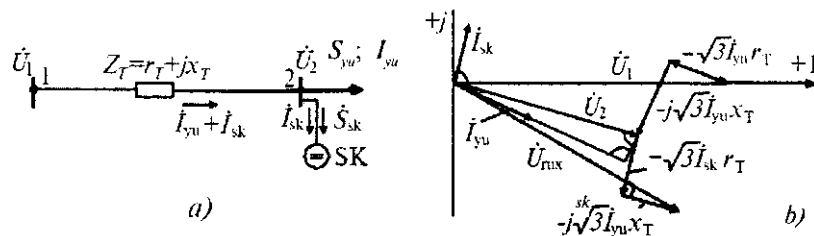
SK ulanishidan oldin:

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3}I_{yu}r_T - j\sqrt{3}I_{yu}x_T;$$

SK ulanganidan keyin:

$$U_{2\text{rux}} = U_1 - \sqrt{3}I_{yu}r_T - j\sqrt{3}I_{yu}x_T - \sqrt{3}I_{sk}r_T - j\sqrt{3}I_{sk}x_T.$$

SKning o'ta qo'zg'algan holatida tarmoqda oquvchi  $I_{sk}$  toki sig'im xarakterida bo'lib, uning vektori  $U_2$  kuchlanish vektorini  $90^\circ$  ga ortda qoldiradi. Vektor diagrammadan ko'rinadiki (9.6, b-rasm), bu holatda kuchlanish moduli  $U_2$  dan  $U_{2\text{rux}}$  gacha ortadi. Kam qo'zg'alish holatida SKning toki va quvvati o'z yo'nalishini teskari tomonga o'zgartiradi. Tarmoqda oquvchi  $I_{sk}$  toki induktiv xarakterda bo'lib, uning vektori  $U_2$  kuchlanish vektoridan  $90^\circ$  ortda qoladi. Bu holatda tarmoqning oxirida kuchlanish moduli  $U_2$  ga nisbatan kamayadi.



9.6-rasm. SKning ish holatlari:

a — SKning ulanishi; b — Skning o'ta qo'zg'algan holati uchun vektor diagrammasi.

## 9.6 Elektr energetika tizimida aktiv quvvat balansi va uning chastota bilan bog'liqligi

Elektr energetika tizimlarining xarakterli afzalligi shundaki, unda eyenrgiya manbaya istemolchiga deyarli bir lahzada uzatiladi va ishlab chiqarilgan elektr yig'ilib qolmaydi. Bu xususiyatlar elektr energiyasini ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayoni bir vaqtda yuz berishini ko'rsatadi.

Tizimning barqaror ish holatida undagi elektr stansiyalar shunday quvvat ishlab chiqarishi kerakki, bu quvvat tarmoqda iste'mol qilinadigan va isrof bo'ladigan quvvatlar yig'indisiga teng bo'lishi lozim, ya'ni ishlab chiqariluvchi va iste'mol qilinuvchi quvvatlar balansi saqlanishi shart:

$$\Sigma P_{i.ch.} = \Sigma P_{ist.} = \Sigma P_{yu} + \Sigma \Delta P. \quad (9.6)$$

Bu ifodada  $\Sigma P_{i.ch.}$  — stansiyalar ishlab chiqaruvchi umumiy aktiv quvvat (stansiyaning o'z ehtiyojlariga sarf bo'luvchi quvvatni hisobga olmaganda);  $\Sigma P_{ist.}$  — iste'mol qilinuvchi umumiy aktiv quvvat;  $\Sigma P_{yu}$  — iste'molchilarning umumiy aktiv yuklamasi;  $\Sigma \Delta P$  — umumiy aktiv quvvat isrofi.

Tizimning yuklamalari o'zgarmas bo'lganda ular iste'mol qiluvchi quvvat o'zgaruvchan tokning chastotasiga bog'liq. Quvvatlar balansi buzilganda chastotaning qiymati ham o'zgaradi. Ishlab chiqariluvchi aktiv quvvat kamaysa, chastota ham kamayadi, aktiv quvvat ortsa, chastota ortadi. Boshqacha aytganimizda,  $\Sigma P_{i.ch.} > \Sigma P_{ist.}$  bo'lganda turbinalar tez aylana boshlaydi va chastota ortadi. Quvvat balansining buzilishiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

- generatorning avaiya tufayli uzilishi;
- iste'molchilar quvvatlarining kutilmagan katta qiymatlar-

gacha ortishi (masalan, haroratning juda pasayib ketishi tufayli elektr isitgichlar iste'mol qiluvchi quvvatning ortishi tufayli);

d) katta quvvat uzatuvchi liniyalarning yoki transformatorlarning avariya tufayli uzilishi.

Oxirgi holatni bog'lovchi liniya orqali birlashtirilgan, ikki qismdan iborat bo'lgan tizim misolida ko'rib chiqamiz. Tizimning ikkala qismi birgalikda ishlaganda quvvat balansi saqlanadi:

$$\Sigma P_{g1.} = \Sigma P_{g2.} = \Sigma P_{ist.1} + \Sigma P_{ist.2.}$$

Biroq, tizimning birinchi qismida ishlab chiqarilayotgan quvvat iste'mol qilinayotgan quvvatdan katta, ya'ni  $\Sigma P_{g1.} > \Sigma P_{ist.1.}$  ikkinchi qismida esa aksincha  $\Sigma P_{g2.} < \Sigma P_{ist.2.}$  Agar bog'lovchi liniya avariya sababli ishdan chiqsa, tizimning har bir qismi mustaqil ishlaydi va ularning har birida quvvat balansi buziladi. Tizimning birinchi qismida chastota ortadi, ikkinchi qismida esa kamayadi.

Tizimning chastotasi — chastotaning og'ishi bilan belgilanadi. Chastotaning og'ishi — bu chastotaning haqiqiy qiymati nominal qiymatiga nisbatan og'ishidir:

$$\Delta f = f - f_n \quad (9.7)$$

yoki

$$\Delta f \% = \frac{f - f_n}{f_n} \cdot 100 \%$$

Chastotaning og'ishiga normal holatda  $\pm 0,2$  Hz gacha va uzoq davom etmaydigan chegaraviy holatlarda  $\pm 0,4$  Hz gacha ruxsat etiladi.

Chastota og'ishining yuqorida keltirilgan me'yorlari energetika tizimining normal ish holati uchun bo'lib, avariya dan keyingi holat uchun qo'llanilmaydi.

Avariya dan keyingi holat uchun chastotaning og'ishi  $+0,5$ — $-1$  Hz oraliqda ruxsat etiladi va bunday miqdorgacha og'ishlarning bir yil davomidagi umumiy vaqti 90 soatdan oshmasligi kerak.

Elektr tarmoqlarida chastotani me'yorida ushlab turish qat'iy talab etiladi, chunki uning katta qiymatga og'ishi stansiya jihozlarning ishdan chiqishiga, dvigatellar ishining susayishiga va ishlab chiqarishda texnologik jarayonning buzilishi sababli sifatsiz mahsulot chiqarilishiga olib keladi.  $\Sigma P_g > \Sigma P_{ist}$  bo'lganda generatorning quvvatini kamaytirib yoki ulardan bir qismini o'chirib, chastota ortishining oldini olish mumkin.  $\Sigma P_g < \Sigma P_{ist}$  bo'lganda chastotaning kamayishi esa avtomatik chastota yuksizlantirgich (ACHYU-ACHR) qurilmasini yoki quvvat rezervlarini ishga

tushirishni talab qiladi. Tizimning har qanday ish holatida yuklama ortishiga mos holda ishlatiladigan quvvat rezervi bo'lishi shart. Energetika tizimida issiq rezerv va ishga tushirilishi ko'p vaqt talab qilinadigan sovuq rezerv bo'lishi mumkin.

Energetika tizimining umumiy zaruriy quvvatlar rezervi quyidagilardan iborat: yuklama rezerv, tuzatish ishlari uchun rezerv, avariya holati uchun va xalq xo'jalik rezervlari. Yukalama rezervi tarmoqdagi yuklamaning kutilmagan qiymatga ortishi va boshqa tasodifiy o'zgarishlarni qoplash uchun ishlatiladi. Tuzatish ishlari uchun rezerv elektr stansiyasi jihozlarni zaruriy tuzatish ishlarini olib borish uchun imkoniyat yaratishi kerak. Avariya holati uchun rezerv — avariya tufayli ishdan chiqqan qurilmalarni almashtirish uchun mo'ljallangan. Xalq xo'jalik rezervi esa elektr energiyasi iste'mol qilishning mo'ljaldagidan ortib ketishini qoplash uchun xizmat qiladi.

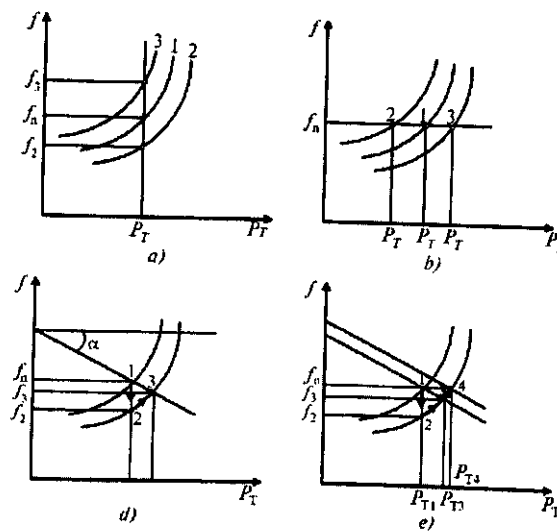
Tizimning elektr stansiyalarida quvvat rezervidan tashqari energiya rezervi ham bo'lishi shart. IESda yetarli yoqilg'i zahirasi, GESda esa yetarlicha suv zahirasi ta'minlangan bo'lishi kerak. Agar stansiya rezervi tugagan, lekin tizimda chastota nominal qiymatga yetmagan bo'lsa, ACHYU — avtomatik chastota yuksizlantirgich qurilmasi ishga tushadi. Bu qurilma iste'molchilarning muhimlik darajasi pastroq bo'lgan qismini uzib, quvvat balansini qisqa fursatda tiklash uchun mo'ljallangan. Hamma elektr energiyasi iste'molchilari ularni elektr bilan ta'minlash muhimligiga qarab uchta asosiy toifalarga bo'linadi. ACHYU birinchi navbatda III toifadagi iste'molchilarni uzadi. Bunday iste'molchilarni 24 soatdan ortiq bo'lmagan vaqtga zaruriy tuzatish ishlari uchun va tarmoqning shikastlangan qismini almashtirish uchun elektr ta'minotidan uzishga ruxsat etiladi.

Oxirgi navbatda eng muhim iste'molchilar uziladi. ACHYU iste'molchilarni pog'onali ravishda (navbati bilan) tarmoqdan uzib qo'yadigan diskret rostdash tizimidir. (Tizimda chastota  $\Delta f$  qiymatga kamaysa, ACHYU qurilmasi tarkibiga kiruvchi chastota relesi ishga tushadi va iste'molchilarning  $\Delta P$  quvvatga ega bo'lgan bir qismini uzib qo'yadi. Buning natijasida tizimda chastota oshib, rostlanadi.

### **9.7. Turbinalarning aylanish chastotasini rostdash**

Elektr tizimida chastotani rostdash uchun generatorning tarmoqqa uzatayotgan quvvatini o'zgartirish lozim bo'ladi. Barqaror ish holatida generatorlarning quvvati va ularning o'zgarishi shu

generatorlarni harakatga keltiruvchi turbinalarning quvvati bila belgilanadi. 9.7, *a*- rasmda tezligi rostlanmaydigan turbinaning xarakteristikasi tasvirlangan. Uning quvvati o'zgarmas ( $P_{T1} = \text{sonst}$ ) bo'lib, vertikal o'qqa parallel to'g'ri chiziqdan iborat.  $P_{yu3} < P_{yu1} < P_{yu2}$  yuklamalarga mos keluvchi 3, 1, 2 egri chiziqlar — yuklamaning chastota bo'yicha statik xarakteristikasidir. Bu xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, sistemada yuklama  $P_{yu1}$  bo'lganda uning holati turbina va 1 yuklama xarakteristikalarining kesishgan nuqtasi bilan aniqlanib, bunda chastota o'zining nominal qiymatiga teng. Elektr tizimida yuklamaning qiymati o'zgarsa, chastota nominal qiymatidan farq qiluvchi yangi qiymatga ega bo'ladi, ya'ni yuklamaning oshishi chastotaning kamayishiga olib keladi va, aksincha, yuklamaning kamayishi chastotaning oshishiga olib keladi. Agar turbinada *tezlikni avtomatik rostlagich* (TAP) bo'lsa, u turbinaga keluvchi bug' yoki suvning hajmini yuklamaga bog'liq holda o'zgartiradi. Turbina tezligini rostlagichlar elektr tizimida chastotani bir xilda tutib turishga yordam beradi. Shu sababli ular *chastotani birlamchi rostlagichlar* deyiladi. Bu rostlagichlarning ta'siri ostida chastotaning o'zgarishi esa *chastotani birlamchi rostlash* deyiladi. Turbinaning tezligi rostlagichlari astaik yoki statik xarakteristikaga ega bo'lishi mumkin (9.7. *b, d*- rasmlar). Yuklama o'zgartiril-



9.11-rasm. Turbina tezlik rostlagichlarining xarakteristikalari: *a*— rostlanmaydigan turbina; *b*— astaik xarakteristika; *d*— statik xarakteristika; *e*— chastotani ikkilamchi rostlash.

ganda tezlik rostagichning ta'siri ostida nominal chastota yoki shunga yaqinroq bo'lgan yangi chastota o'rnatiladi.

Birinchi holda, ya'ni yuklama o'zgartirilib, o'tish jarayoni tugagach, rostagich nominal chastotani tiklasa, roslash *astatik roslash* deyiladi (9.7, *b*-rasm). Agar yuklama o'zgarib, o'tish jarayoni tugaganidan keyin nominal chastotadan farq qiluvchi yangi chastota o'rnatilsa, bunday roslash statik roslash deyiladi (9.7, *d*-rasm).

Mavjud real tezlik rostagichlar statik xarakteristikaga ega. Tezlik rostagichlarda astatik xarakteristikaga erishish amalda juda mushkuldir.

Astatik roslash uchun, ya'ni elektr tizimida statik roslashdan keyin chastotani qo'shimcha roslash uchun *ikkilamchi roslash* qo'llaniladi.

Ikkilamchi roslash jarayonida o'zgaruvchan tok chastotasiga bog'liq holda turbina quvvati o'zgartiriladi. Ikkilamchi roslash *chastota avtomatik rostagichlar* yordamida yoki chastotani nazorat qilib turuvchi xizmatchi xodimlar tomonidan qo'lda amalga oshirilishi mumkin. Ikkilamchi roslash natijasida turbinaning statik xarakteristikasi dastlabki holatiga nisbatan parallel holda nominal chastota tiklanguncha suriladi (9.7, *e*-rasm).

### ***Nazorat savollari***

1. Elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlariga nimalar kiradi? Ular qanday aniqlanadi?
2. Elektr tarmoqlarida kuchlanishni roslash nima maqsadda amalga oshiriladi?
3. Markazlashgan va mahalliy roslash nima bilan xarakterlanadi? Ular qanday hollarda qo'llaniladi?
4. Kuchlanishni stabillash, ikki pog'onali roslash va qarama-qarshi roslashga ta'rif bering.
5. Kuchlanishni tarmoqning reaktiv qarshiligini kompensatsiyalab roslash usulining ma'nosini tushuntiring.
6. Kuchlanishni reaktiv quvvatni kompensatsiyalab roslash usulining ma'nosini tushuntiring.
7. Kuchlanishni roslashda tok va kuchlanishning vektor diagrammalarini tushuntiring.
8. Elektr energetika tizimida aktiv quvvat balansi va chastota o'rtasida qanday bog'liqlik mavjud? Sabablarini tushuntiring.
9. Elektr energetika tizimida turbinalarning aylanish tezligi nima sababdan roslab turiladi va qanday amalga oshiriladi?

---

## 10. HAVODAGI ELEKTR UZATISH LINIYALARINING MEXANIK QISMLARI

### 10.1. Havodagi elektr uzatish liniyalarining mexanik qismlarini hisoblashning mohiyati

Havodagi elektr uzatish liniyalari (HL)ning nominal kuchlanishari va o'tkazgichlarining iqtisodiy samarali kesim yuzalari ularning elektr qismlarini loyihalashda aniqlanadi. HLning konstruktiv qismlarini loyihalash tayanchlarning konstruksiyalarini tanlash va ularni HL trassasi bo'ylab joylashtirish, ularni turli hisobiy sharoitlar uchun tekshirishni nazarda tutadi. Bundan tashqari, HLning konstruktiv qismini loyihalashda o'tkazgichlar va trosalar ham mexanik mustahkamlikka hisoblanadi. Hozirgi davrda elektr uzatish liniyalarining konstruktiv qismlarini loyihalash va qurish uchun zarur bo'lgan maxsus qoida va standartlar yetarli darajada ishlab chiqilgan.

Elektr uzatish liniyalariga qo'yiluvchi asosiy talablar elektr uskunalarning tuzilish qoidalari — EUTQda belgilangan. Liniyalarning tayanchlarini loyihalash va qurish qurilish konstruksiyalari sifatida qurilish meyorlari va qoidalari — QMQga muvofiq amalga oshiriladi.

O'tkazgichlar, o'tkazgichlar bilan tayanch tanasi va o'tkazgichlar bilan yer o'rtasidagi masofalar shunday tanlanishi zarurki, ishchi kuchlanishda o'tkazgichlar, ular bilan tayanch hamda ular bilan yer o'rtasidagi oraliqda elektr razryadlari yuzaga kelmasin. Buning uchun izolatorlar va havoli izolatsion oraliqning yetarlicha elektr mustahkamligini ta'minlash zarur. Shuningdek, izolatorlar va havo oraliqlari yuqori ehtimollik darajasida liniyalarda sodir bo'luvchi o'ta kuchlanishlarda ham elektr razryadlanishning hosil bo'lmasligini ta'minlashi zarur.

Havodagi elektr uzatish liniyalari (HL)ning asosiy elementlari bo'lib o'tkazgichlar, izolatorlar, liniya armaturalari, tayanchlar va ularning fundamentlari hisoblanadi. Yordamchi elementlar bo'lib ayrim liniyalarning ishonchli ishlashini ta'minlash uchun xizmat qiluvchi yashindan himoyalovchi trosalar, yerga ulagichlar, razryadniklar va shu kabi boshqa elementlar hisoblanadi.



Havodagi elektr uzatish liniyalarida asosan aluminiy va po'lataluminiy o'tkazgichlardan foydalaniladi. Aluminiy o'tkazgichlar 35 kV gacha nominal kuchlanishli havo liniyalarida foydalaniladi.

O'tkazgichlarning osilish usuliga bog'liq ravishda tayanchlar ikkita asosiy guruhga ajratiladi:

a) o'tkazgichlar tutib turuvchi qisqichlarda mahkamlanuvchi oraliq tayanchlar;

b) o'tkazgichlarni taranglab turish uchun xizmat qiluvchi anker tayanchlar; bu tayanchlarda o'tkazgichlar taranglab turuvchi qisqichlar yordamida qat'iy mahkamlanadi.

Qo'shni tayanchlar oralaridagi masofa *o'tish oraliq'i*, anker tipidagi tayanchlar oralaridagi masofa esa *anker uchastkasi* deb yuritiladi. EUTQga muvofiq havodagi elektr uzatish liniyalarining ayrim muhandislik inshootlari (masalan, umumiy foylaniluvchi temiryo'llar) bilan kesishish joylarida anker tipidagi tayanchlar o'rnatiladi. HLLarning burilish burchaklarida burchak tayanchlari o'rnatilib, ularda o'tkazgichlar tutib turuvchi yoki taranglab turuvchi qisqichlar yordamida mahkamlanadi. Shunday qilib, tayanchlarning ikkita asosiy guruhlari — oraliq va anker tayanchlari maxsus vazifani bajaruvchi tayanch tiplariga bo'linadi. *Oraliq tayanchlari* asosan HLning to'g'ri uchastkalarida o'rnatiladi.

**Anker tayanchlari.** O'sma izolatorli liniyalarda o'tkazgichlar tortma izolatorlar shodasi qisqichlariga mahkamlanadi. Shtirli izolatorli HLLlarda o'tkazgichlar anker tayanchlariga maxsus qisqichlar yordamida qat'iy mahkamlanib, ular o'tkazgichning tortish kuchini to'liq anker tayanchiga o'tkazadi. Katta kesim yuzali o'tkazgichlarni osilishda ikkita yoki uchta shtirli izolatorlar qo'yiladi, chunki bitta izolator yetarlicha mexanik mustahkamlikni ta'minlay olmaydi.

Chekka tayanchlar havo liniyalarining tugallangan joylarida, ya'ni chekkalarida o'rnatiladi. Odatda, bunday tayanchlardan podstansiyalarning portallariga boruvchi o'tkazgichlar ketadi. Podstansiyani qurishdan oldin liniyaga o'tkazgichlar osilganda chekka tayanchlari o'tkazgichlar va troslarning bir tomonlama tortish kuchlarini qabul qiladi.

Havo uzatish yo'llarining mexanik mustahkamligi ostida o'tkazgichlar va troslarning o'z og'irligi, shamol, muzqoplama, harorat o'zgarishi va boshqa ta'sirlar oqibatida hosil bo'luvchi mexanik yuklamalarga bardoshlilik tushuniladi. Elektr tarmog'ining

ishonchli ishlashiga havodagi elektr uzatish liniyalarining mustahkamligi sezilarli darajada ta'sir etadi.

Liniya loyihasining elektr qismida ularning nominal kuchlanishlari o'tkazgichlarining iqtisodiy kesim yuzalari tanlanadi.

Havodagi elektr uzatish liniyalarini loyihalash quyidagilarni nazarda tutadi: tayanchning tuzilishini aniqlash, ularni havodagi liniyalarning trassalari bo'yicha o'rnatish, hisobiy holatlar uchun tekshirishdan iboratdir. Bundan tashqari, liniyalarning konstruktiv qismlarini loyihalashda o'tkazgich va trosalar mexanik mustahkamlikka tekshiriladi. Bunday hisoblashlar quyidagilarni aniqlashni o'z ichiga oladi:

1. O'tkazgich va trosalarga ta'sir etuvchi kuch va mexanik yuklamalar.

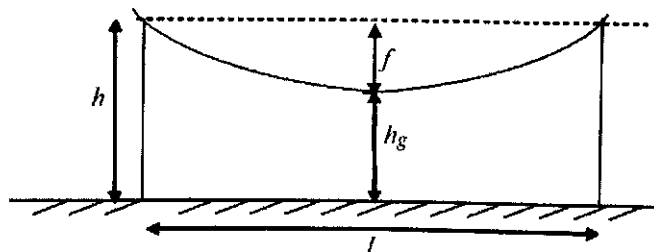
2. O'tkazgich va trosalarning turli sharoitlarda va turli nuqtalardagi mexanik kuchlanishi.

3. O'tkazgich va trosalarning solqiligi.

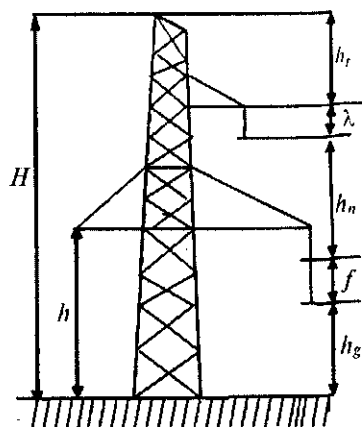
Bu hisoblashlarning natijalari o'tkazgich va trosalardagi mexanik yuklamalar va solqilikni tekshirish uchun kerakdir. Bundan tashqari, o'tkazgich va tayanchlarni mexanik mustahkamlikka hisoblash natijalari havodagi liniyalar tayanchlarini hisoblash va trassa bo'yicha joylashuvini tanlash uchun foydalaniladi.

10.1, 10.2- rasmlarda mos holda havodagi liniyaning tayanchlari oralaridagi qismi va oraliq tayanchidagi asosiy geometrik parametrlari tasvirlangan.

Bu rasmlarda  $h_g$  — liniyaning gabariti;  $f$  — o'tkazgichning solqiligi;  $l$  — oraliq uzunligi;  $h$  — o'tkazgichni osish balandligi;  $H$  — tayanchning balandligi;  $\lambda$  — izolatorlar shodasining uzunligi;  $h_n$  — o'tkazgichlar orasidagi vertikal masofa;  $h_t$  — tros ustunining balandligi.



10.1- rasm. HL oraliq'ining sxemasi.



10.2-rasm. Oraliq tayanchining o'lchamlari.

O'tkazgichning maksimal solqiligi  $f_{\max}$  har bir turdagi tayanch uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$f_{\max} = H - h_t - h_n - \lambda - h_g.$$

$h_g$  ning qiymati o'tkazgichning tagida bo'lishi mumkin bo'lgan hayvonlar, odamlar, aloqa liniyalari, transport vositalarining xavfsizligini ta'minlash va elektr maydon kuchlanganligidan kelib chiqib, beriladi.

## 10.2. Havo liniyalarining shikastlanish sabablari

Quyidagi faktorlar havo yo'llarining shikastlanishiga sabab bo'lishi mumkin: o'ta kuchlanishlar (atmosfera va kommutatsion); shamolning ta'siri; muz qoplamasining ta'siri; o'tkazgichlarning titrashi; o'tkazgichlarining silkinishi.

EUTQga muvofiq me'yoriy yuklamalarni aniqlash uchun 35 kV kuchlanishli liniyalar uchun 5 yil davomida kamida bir marta, 110—330 kV kuchlanishli liniyalar uchun 10 yil davomida kamida bir marta, 500 kV kuchlanishli liniyalar uchun 15 yil davomida kamida bir marta kuzatiluvchi eng noqulay iqlimiy sharoitlar qabul qilinadi. Ushbu holatda kuchlanishning ortib borishi bilan takrorlanish davrining ortishi yuqori kuchlanishli liniyalarning ishonchli ishlashiga talabning yanada yuqoriroq ekanligidan kelib chiqadi. Havodagi elektr uzatish liniyalarini ishlatish tajribasi ko'rsatadiki, ushbu usul HLLarning yetarli darajada ishonchli ishlashini ta'minlaydi.

Havo liniyalarining ishlashiga ta'sir etuvchi asosiy faktorlar va ularning mohiyati bilan tanishib o'tamiz.

Yuzaga shamolning beruvchi mexanik yuklamasi uning tezligiga emas, balki uning tezligi kvadratiga to'g'ri proporsionaldir. Hisoblashlarda shamol beruvchi yuklamani aniqlashda tezlik bosimi deb yuritiluvchi  $V^2/16=Q$  [kg/m<sup>2</sup>] kattalikdan foydalanish qulaydir.

Balandlikning ortishi bilan shamolning tezligi oshib boradi. O'tkazgich va trosarga shamolning beruvchi yuklamasi ularning og'magan holatida og'irlik markazlari joylashuvchi balandliklar uchun aniqlanadi. Daryo, boshqa katta suv havzalari va shu kabilarning ustidan o'tish joylaridan tashqari barcha holatlarda havo liniyasi o'tkazgichlari yoki trosarining og'irlik markazlari balandliklari gabarit oraliq uchun quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$h_c = \frac{h_1 + h_2}{2} - \frac{2}{3} f_{\max}$$

Bu yerda  $h_1+h_2$  — o'tkazgich yoki trosning tayanchga mahkamlanish balandliklari (tayanch o'rnatilgan joyda er sathiga nisbatan), m;  $f_{\max}$  — o'tkazgich yoki trosning maksimal solqiligi, m.

Shamlning o'tkazgich yoki trosga beruvchi yuklamasi birinchi zonaning tezlik bosimini ko'paytirish orqali aniqlanadi. Hisoblashlarda shamolning tezlik bosimi emas, balki tezligidan kelib chiquvchi hollarda ham balandlik bo'yicha tezlikni oshish koeffitsiyentidan foydalaniladi.

**O'tkazgichlarning titrashi va silkinishi.** Havodagi elektr uzatish liniyasining o'tkazgichi liniya o'qiga nisbatan ko'ndalang yoki unga nisbatan qandaydir burchak ostida yo'nalgan havo oqimi (shamol) ta'sirida bo'lganda uning shamiol yo'nalishidan pana bo'lgan tomonida uyurmalanish yuzaga keladi. Davriy tarzda shamolning to'xtashi yuz bera turib, uyurmalanish o'tkazgichning teskari tomonida ham paydo bo'lib turadi. Uyurmani o'tkazgichning pastki qismida yo'qolishi shamoldan pana tomonda aylanma oqimning paydo bo'lishiga olib keladi. Bularning ta'sirida shamol ta'sirining vertikal tashkil etuvchisi paydo bo'ladi. Uyurmalarining paydo bo'lish chastotasi tortib qo'yilgan o'tkazgichning xususiy tebranishlar chastotasi bilan bir xil bo'lganda o'tkazgich vertikal tekislikda tebrana boshlaydi. Utkazichning 2—35 mm amplituda, 1—10 mm to'lqin uzunligi va 5—60 Hz chastotada bilan bunday tebranishi *titrash* deb yuritiladi.

Titrash shamolning tezligi 0,6—0,8 m/s dan katta va 10—12 m/s dan kichik bo'lgan hollarda kuzatiladi. Shamolning tezligi yanada oshganda titrash amplitudasi ancha kamayadi.

Titrashning xavfliligi o'tkazgichdagi simlarning qisqichdan chiqish joylarida uzilishiga olib kelishidan iboratdir. Bunday uzilishlar titrash ta'sirida o'tkazgichdagi simlarning davriy tarzda egilishi natijasida asosiy mexanik yuklama bitta simga tushib qolishidan kelib chiqadi.

O'tkazgichlarning *silkinishi* ham titrash singari shamol ta'sirida sodir bo'lib, u titrashdan 12—14 m ga yetuvchi katta amplituda va katta to'lqin uzunligi bilan farq qiladi. Fazasida bitta o'tkazgich bo'lgan HLLarda, odatda, oraliqda bitta to'lqinli, ya'ni ikkita yarim to'lqinli, o'tkazgichlari parchalangan HLLarda esa oraliqda bitta yarim to'lqinli o'tkazgich silkinishi kuzatiladi.

Silkinish paytida o'tkazgich liniya o'qiga nisbatan perpendikular tekislikda katta o'qi vertikal yoki unga nisbatan kichik burchakka (10—20° gacha) oqqan cho'ziq ellips bo'ylab harakat qiladi. Ellipsning diametrlari solqilikka bog'liq bo'lib, oraliqdabitta yarim to'lqin bilan silkinish yuzaga kelganida bu solqilik uzunligidan 60—90 % gacha, oraliqda ikkita yarim to'lqinli silkinish bo'lganda esa 30—45 % gacha bo'lishi mumkin. Ellipsning kichik diametri odatda uning katta diametrining 10—30 % ni tashkil etadi.

### **10.3. Havo liniyalarining o'tkazgich va troslariga ta'sir qiluvchi solishtirma mexanik yuklamalar**

Havo liniyalarining o'tkazgich va troslariga vertikal va gorizontal yo'nalgan mexanik yuklamalar ta'sir qiladi. Natijada cho'zilish ta'sirida o'tkazgich metalida kuchlanish paydo bo'ladi. Mexanik mustahkamlikka hisoblashda dastlabki ma'lumotlar sifatida, o'tkazgich va trosarga ta'sir etuvchi solishtirma mexanik yuklamalar foydalaniladi.

Solishtirma mexanik yuklama — ko'ndalang kesim yuzasi 1 mm<sup>2</sup> bo'lgan 1 m uzunlikdagi o'tkazgichga mos keluvchi yuklamadir [n/m.mm<sup>2</sup>] (10.3, a- rasm).

1. O'tkazgichning xususiy og'irligidan hosil bo'luvchi solishtirma mexanik yuklama uning materialiga bog'liq bo'lib, quyidagicha topiladi (10.3, a- rasm):

$$\gamma_1 = 9,81 \frac{m_0}{F}. \quad (10.1)$$

Bu yerda  $m_0$  — o'tkazgichning solishtirma massasi [kg/m];  
 $F$  — o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasi [mm<sup>2</sup>]; 9,81 [m/s<sup>2</sup>]  
 — jismning erkin tushish tezlanishi.

2. Muz qoplamasining og'irligidan hosil bo'luvchi solishtirma mexanik yuklama (10.3, *b*- rasm). Liniya o'tkazgichiga yon tomondan uriluvchi shamol ta'sirida nul gradusga yaqin bo'lgan haroratda shamolning urilish tomonida muz qatlami hosil bo'ladi (10.4, *a*- rasm). Yopishgan muz qatlamining og'irligi ta'sirida o'tkazgichning buralishi natijasida muz qatlami uning boshqa tomonida ham hosil bo'ladi (10.4, *b*- rasm). Buning oqibatida o'tkazgich barcha tomondan muz bilan qoplanadi. Muz qoplamasining og'irligidan hosil bo'luvchi mexanik yuklamani aniqlashda  $d$  diametrli o'tkazgichning atrofidagi muz qoplamasining qalinligi hamma tomondan bir xil deb qaraladi (10.3, *b*- rasm):

$$\gamma_2 = \frac{9,81 \cdot G_0 \left( \frac{\pi(d + 2b_g)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right)}{F} = \frac{9,81 G_0 \pi b_g (d + b_g)}{F}. \quad (10.2)$$

Bu yerda  $d$  — o'tkazgichni diametri;  $b_g$  — muz qatlamining qalinligi;  
 $G_0 = 900 \text{ kg/m}^2$  — muzning zichligi.

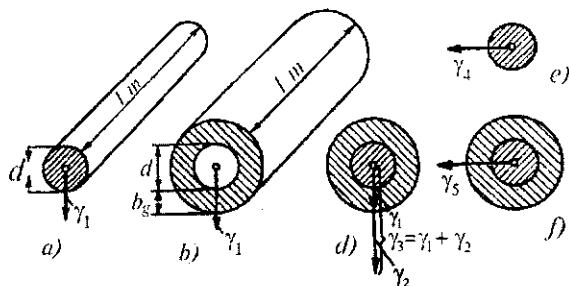
3. Muz qoplamasi va o'tkazgichning xususiy og'irligidan hosil bo'luvchi solishtirma mexanik yuklama (10.3, *d*- rasm):

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2. \quad (10.3)$$

4. Muz qoplamasiz o'tkazgichga shamolning bosimidan hosil bo'luvchi solishtirma mexanik yuklama (10.3, *e*- rasm):

$$\gamma_4 = \frac{\alpha K_l C_x Q_v d}{F} = \frac{\alpha K_l C_x V^2 d}{1,6 F}. \quad (10.4)$$

Bu yerda  $V$  — shamolning tezligi [m/s];  $Q_v$  — shamol teziligining bosimi, Pa;  $Q_v = \frac{V^2}{1,6}$ ;  $\alpha$  — havo liniyalarining tayanchlar orasida shamol tezligi bosimining notekislik koeffitsiyenti bo'lib,  $Q_v \leq 270$  Pa bo'lganda  $\alpha = 1$ ,  $Q_v = 400$  Pa bo'lganda  $\alpha = 0,85$ ,  $Q_v = 550$  Pa bo'lganda  $\alpha = 0,75$ ,  $Q_v = 760$  Pa va undan yuqori bo'lganda  $\alpha = 0,75$ ;  $K_l$  — oraliq uzunligining ta'sir koeffitsiyenti bo'lib, oraliq uzunligi 50 m gacha bo'lganda 1,2, 100 m bo'lganda 1,1, 150 m bo'lganda 1,05 va 350 m va undan katta bo'lganda 1 ga teng;  $C_x$  — o'tkazgichning



10.3- rasm. Solishtirma mexanik yuklamalar: a— o'tkazgichning xususiy og'irligidan; b— muz qoplamasining og'irligidan; d — o'tkazgichning va muz qoplamasining og'irligidan; e — muz qoplamasining o'tkazgichga shamolning bosimidan; f— muz bilan qoplangan o'tkazgichga shamolning bosimidan.

aerodinamik qarshiligi koeffitsiyenti bo'lib, diametri 20 mm dan kichik bo'lgan va muz bilan qoplangan hamma o'tkazgichlar uchun 1,2, diametri 20 mm va undan katta bo'lgan muz qoplamasiz o'tkazgichlar uchun 1,1 ga teng.

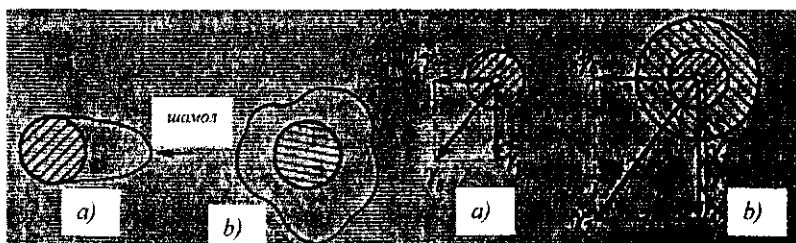
$\alpha$ ,  $K_f$  va  $C_x$  koeffitsiyentlarining oraliq qiymatlari interpolatsiyalash orqali aniqlanadi.

5. Muz qoplamali o'tkazgichga shamolning bosimidan hosil bo'luvchi solishtirma mexanik yuklama (10.3, f- rasm):

$$\gamma_5 = \frac{\alpha K_f C_x Q_v (d + 2b_g)}{F} = \frac{\alpha K_f C_x V^2 (d + 2b_g)}{1,6F}$$

6. Muz qoplamasiz o'tkazgichga shamolning bosimi va o'tkazgichning xususiy og'irligidan hosil bo'luvchi natijaviy solishtirma mexanik yuklama (10.5, a- rasm):

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}. \quad (10.6)$$



10.4- rasm. HLning o'tkazgichida muz qoplamasining hosil bo'lishi.

10.5- rasm. Natijaviy solishtirma yuklamalar.

7. O'tkazgichning xususiy og'irligi, muzqoplama va shamol bosimidan hosil bo'luvchi natijaviy solishtirma mexanik yuklama (10.5, b- rasm):

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}. \quad (10.7)$$

#### 10.4. Oraliqda o'tkazgichning holat tenglamasi. Turli sharoitlarda o'tkazgichlardagi mexanik kuchlanishlarni aniqlash

Havo liniyalarini mexanik mustahkamlikka hisoblash ularning har xil ish sharoitlarida o'tkazgichlaridagi mexanik kuchlanishlarni aniqlashni o'z ichiga oladi. Iqlimiy sharoit o'zgarganda solishtirma mexanik yuklama  $\gamma$ , o'tkazgichning harorati  $t$  va uning mexanik kuchlanishi  $\sigma$  ham o'zgaradi. Har xil iqlimiy sharoitlarda  $\sigma$  ni aniqlash uchun o'tkazgichning holat tenglamasidan foydalaniladi. U ikkita har xil iqlimiy sharoitlar uchun  $\gamma$ ,  $t$  va  $\sigma$  lar orasidagi bog'lanishni belgilovchi tenglamadir.

Holat tenglamasini hosil qilishda  $l$  oraliq uzunligidagi o'tkazgich uzunligining quyidagi formulasidan foydalanamiz:

$$f = \frac{\gamma l^2}{8\sigma}, \quad L = f + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{l} \quad \text{yoki} \quad (10.8)$$

$$L = l + \frac{\gamma^2 l^3}{24 \cdot \sigma^2}. \quad (10.9)$$

1- iqlimiy sharoitga mos keluvchi parametrlarni „0“ indeksi bilan va 2-sini indeksiz belgilaymiz.

„0“ — sharoitida o'tkazgichning uzunligini  $L_0$  orqali belgilaymiz. Harorat  $t_0$  dan  $t$  gacha o'zgarganda o'tkazgichning uzunligi

$$L_1 = L_0 \alpha (t - t_0) \quad (10.10)$$

miqdorga o'zgaradi. Bu yerda  $\alpha$  — o'tkazgich materialining issiqlik ta'sirida chiziqli kengayish koeffitsiyenti [ $\text{grad}^{-1}$ ].

Sharoitning o'zgarishi tufayli o'tkazgichga ta'sir etuvchi mexanik kuchlanish  $\sigma_0$  dan  $\sigma$  gacha o'zgaradi va buning ta'sirida oraliqdagi o'tkazgichning uzunligi ham Guk qonuniga muvofiq quyidagi miqdorga o'zgaradi:

$$\Delta L_2 = \frac{L_0}{E} (\sigma - \sigma_0) \quad (10.11)$$



Bu yerda  $E$  — o'tkazgichning elastiklik koeffitsiyenti (Yung moduli), Pa ( $10^7$  kg·kuch/mm<sup>2</sup>).

Yangi sharoitda o'tkazgichning uzunligi:

$$L = L_0 + \Delta L_1 + \Delta L_2. \quad (10.12)$$

Bu yerda  $L = l + \frac{\gamma^2 l^3}{24\sigma^2}$ ,  $L_0 = l + \frac{\gamma_0^2 l^3}{24\sigma_0^2}$  va  $L_0 \approx l$  ekanligini e'tiborga olib, oraliqda o'tkazgichning quyidagi holat tenglamasini hosil qilamiz:

$$\sigma - \frac{E\gamma^2 l^2}{24\sigma^2} = \sigma_0 - \frac{E\gamma_0^2 l^2}{24\sigma_0^2} - \alpha E(t - t_0). \quad (10.13)$$

Hosil bo'lgan holat tenglamasidan foydalanib, bizga ma'lum bo'lgan dastlabki holatning parametrlari  $\gamma_0$ ,  $t_0$ ,  $\sigma_0$  va yangi holat uchun solishtirma mexanik yuklama  $\gamma$  hamda harorat  $t$  bo'yicha (liniyaning har qanday oraliq uzunligi uchun) o'tkazgichdagi mexanik kuchlanish  $\sigma$  hisoblab topilishi mumkin.

### 10.5. Kritik oraliq uzunligi

Fazasida bitta o'tkazgich bo'lgan liniyaning o'tkazgichida eng katta kuchlanish quyidagi iqlimiy sharoitlardan birida paydo bo'lishi mumkin:

1)  $\gamma = \gamma_1$  va  $t = t_G = -5^\circ\text{C}$  bo'lgan holatga mos keluvchi maksimal mexanik yuklama sharoitida;

2)  $\gamma = \gamma_7$  va  $t = t_-$  bo'lgan holatga mos keluvchi minimal harorat sharoitida.

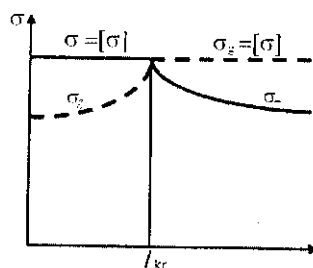
Maksimal mexanik yuklama, odatda, muz qoplamali shamolli holatda kuzatiladi. Bunday holat uchun hisobiy harorat,  $t_G = -5^\circ\text{C}$ .

Odatda, minimal harorat  $-40^\circ\text{C}$  ga to'g'ri keladi. Bunda muz qoplamasi va shamol mavjud bo'lmaydi, o'tkazgichga esa faqat xususiy og'irligining solishtirma yuklamasi  $\gamma_1$  ta'sir qiladi.

Agar o'tkazgichning holat tenglamasini oraliq uzunligi nolga intilgandagi limitini aniqlasak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$\sigma = \sigma_0 - \alpha E(t - t_0). \quad (10.14)$$

Bundan ko'rinadiki, oraliq uzunligi kichik bo'lganda kuchlanish asosan muhitning harorati bilan belgilanadi. Demak, kichik oraliq uzunliklarida o'tkazgichda maksimal kuchlanish minimal harorat sharoitida kuzatiladi.



10.6- rasm. Minimal harorat va maksimal mexanik yuklama sharoitlarida o'tkazgichdagi kuchlanishni oraliq uzunligiga bog'liqlik egri chiziqlari.

Agar o'tkazgichning holat tenglamasini  $l^2$  ga bo'lib, oraliq uzunligi cheksizlikka intilgandagi limitini aniqlasak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$-\frac{E\gamma^2}{24\sigma^2} = -\frac{E\gamma_0^2}{24\sigma_0^2} \text{ yoki } \sigma = \frac{\gamma}{\gamma_0} \cdot \sigma_0. \quad (10.15)$$

Hosil bo'lgan tenglamadan ko'rinadiki, katta oraliq uzunliklarida o'tkazgichdagi mexanik kuchlanish solishtirma mexanik yuklama bilan belgilanadi. Demak, katta oraliq uzunliklarida o'tkazgichda maksimal kuchlanish maksimal mexanik yuklama sharoitida kuzatiladi.

*Kritik oraliq uzunligi* deb minimal harorat va maksimal mexanik yuklama sharoitlarida o'tkazgichdagi kuchlanish shu sharoitlar uchun ruxsat etilgan maksimal kuchlanishga teng bo'lishi ta'minlanuvchi oraliq uzunligiga aytiladi. Bu oraliq uzunligini  $l_{kr}$  bilan belgilab, uni hisoblash formulasini hosil qilish uchun  $l_{kr}$  holat tenglamasida dastlabki holat parametrlari o'rniga minimal harorat sharoitining parametrlarini, yangi holat parametrlari o'rniga maksimal mexanik yuklama sharoiti parametrlarini, har ikkila sharoit uchun kuchlanishlar o'rniga esa o'tkazgich uchun ruxsat etilgan maksimal mexanik kuchlanish  $[\sigma]$  ni qo'yib, hosil bo'lgan tenglamadan  $l_{kr}$  ni ifodalaymiz:

$$l_{kr} = [\sigma] \sqrt{\frac{24\alpha(t_g - t_{\infty})}{\gamma_2^2 - \gamma_1^2}}. \quad (10.16)$$

10.6- rasmda minimal harorat va maksimal mexanik yuklama sharoitlarida o'tkazgichdagi kuchlanishning oraliq uzunligiga bog'liqlik egri chiziqlari tasvirlangan.

Umumiy holatda o'tkazgich uchun minimal harorat va

maksimal mexanik yuklama sharoitlarida ruxsat etilgan maksimal mexanik kuchlanishlarning qiymatlari o'zaro teng bo'lmisligi mumkin.

### 10.6. Ruxsat etilgan kuchlanishlar va o'rtacha yillik sharoit bo'yicha hisoblash

Havo liniyalarini hisoblashda o'tkazgichlardagi kuchlanishlar minimal harorat va maksimal mexanik yuklama sharoitlarida ruxsat etilgan maksimal kuchlanish  $[\sigma]$  dan oshmasligi tekshiriladi. Bundan tashqari, o'tkazgichlardagi kuchlanishlarning yillik o'rtacha sharoitlar uchun ruxsat etilgan maksimal kuchlanish  $\sigma_e$  dan oshmasligi tekshirilishi va zarurat bo'lganda ta'minlanishi shart.

Yillik o'rtacha sharoitlarda o'tkazgichdagi kuchlanishning ruxsat etilgan maksimal qiymatdan oshmasligi, ya'ni  $\sigma_e \leq [\sigma_e]$  shartning bajarilishi o'tkazgichning titrashi natijasida charchash holatining oldi olinishini kafolatlaydi.

Shunday qilib, o'tkazgichning kuchlanishi 3 ta sharoit uchun hisoblanadi:

- 1) minimal harorat sharoiti uchun;
- 2) yillik o'rtacha sharoit uchun;
- 3) maksimal mexanik yuklama sharoiti uchun.

Bunday holatda yana ikkita kritik oraliq uzunligi hosil bo'ladi. Oldingi paragrafda ko'rib o'tilgan kritik oraliq uzunligi *ikkinchi kritik oraliq uzunligi* deb yuritilib,  $l_{2kr}$  bilan belgilanadi.

*Birinchi kritik oraliq uzunligi*  $l_{1kr}$  deb minimal harorat va yillik o'rtacha sharoitlarida o'tkazgichdagi kuchlanish shu sharoitlar uchun ruxsat etilgan maksimal kuchlanishlar  $\sigma_-$  va  $\sigma_e$  ga teng bo'lishi ta'minlanuvchi oraliq uzunligiga aytiladi.

Shuningdek, *uchinchi kritik oraliq uzunligi*  $l_{3kr}$  deb yillik o'rtacha va maksimal mexanik yuklama sharoitlarida o'tkazgichdagi kuchlanish shu sharoitlar uchun ruxsat etilgan maksimal kuchlanishlar  $\sigma_e$  va  $\sigma_g$  ga teng bo'lishi ta'minlanuvchi oraliq uzunligiga aytiladi.

Yuqoridagi ta'riflarga muvofiq ravishda kritik oraliq uzunliklari uchun formulalar quyidagi ko'rinishlarda bo'ladi:

$$l_{1kr} = \sqrt{\frac{\sigma_e - \sigma_- + \alpha E(t_e - t_-)}{\frac{E}{24} \left( \frac{\gamma_1^2}{\sigma_e^2} - \frac{\gamma_1^2}{\sigma_-^2} \right)}}, \quad l_{2kr} = \sqrt{\frac{\sigma_g - \sigma_- + \alpha E(t_g - t_-)}{\frac{E}{24} \left( \frac{\gamma_2^2}{\sigma_g^2} - \frac{\gamma_1^2}{\sigma_-^2} \right)}}$$

$$l_{3kr} = \sqrt{\frac{\sigma_g - \sigma_c + \alpha E(t_g - t_c)}{\frac{E}{24} \left( \frac{\gamma_7^2}{\sigma_g^2} - \frac{\gamma_1^2}{\sigma_c^2} \right)}}$$

Ma'lum bo'lgan 3 ta kritik oraliq uzunliklarining o'zaro nisbati bo'yicha turli oraliq uzunliklarida o'tkazgichlardagi kuchlanishlarni aniqlash uchun qabul qilinuvchi dastlabki holatlarni osongina aniqlash mumkin:

1) agar  $l_{1kr} < l_{2kr} < l_{3kr}$  bo'lsa, u holda dastlabki holat sifatida 0- $l_{1kr}$  oraliq uzunliklarida minimal harorat holati;  $l_{1kr} - l_{3kr}$  oraliq uzunliklarida yillik o'rtacha sharoit holati va  $l_{3kr}$  dan katta bo'lgan oraliq uzunliklarida esa maksimal mexanik yuklama holati qabul qilinadi.

2) agar  $l_{1kr} > l_{2kr} > l_{3kr}$  bo'lsa, u holda dastlabki holat sifatida  $l_{2kr}$  dan kichik oraliq uzunliklarida minimal harorat holati;  $l_{2kr}$  ga teng va undan katta bo'lgan oraliq uzunliklarida esa maksimal mexanik yuklama holati qabul qilinadi.

3) agar  $l_{1kr}$  mavhum va  $l_{2kr} < l_{3kr}$  bo'lsa, u holda dastlabki holat sifatida  $l_{3kr}$  dan kichik oraliq uzunliklarida yillik o'rtacha sharoit holati;  $l_{3kr}$  ga teng va undan katta bo'lgan oraliq uzunliklarida esa maksimal mexanik yuklama holati qabul qilinadi.

4) agar  $l_{3kr}$  mavhum yoki juda katta qiymatga ega bo'lsa, u holda dastlabki holat sifatida  $l_{1kr}$  dan kichik oraliq uzunliklarida minimal harorat holati;  $l_{1kr}$  ga teng va undan katta bo'lgan oraliq uzunliklarida esa yillik o'rtacha holati qabul qilinadi.

### **Nazorat savollari**

1. EULLarining mexanik qismlarini hisoblash nimani nazarda tutadi?
2. Havodagi EULini mexanik hisoblashda foydalaniluvchi asosiy geometrik o'lchamlariga nimalar kiradi? Ularni ta'riflang.
3. Havodagi EUL shikastlanishiga sabab bo'luvchi faktorlarga nimalar kiradi? Ular nimasi bilan havfli.
4. Liniya o'tkazgichlariga ta'sir etuvchi qanday solishtirma mexanik yuklamalar hisobga olinadi? Ular qanday hisoblanadi?
5. Oraliqda o'tkazgichning holat tenglamasi qanday ko'rinishda bo'ladi?
6. Liniya o'tkazgichlaridagi mexanik kuchlanish u qanday aniqlanadi?
7. Kritik oraliq uzunligi nima va u qanday aniqlanadi?
8. Maksimal ruxsat etilgan mexanik kuchlanish nima va u qanday aniqlanadi?
9. Kritik oraliq uzunliklari o'rtasidagi nisbat turlicha bo'lgan hollarda kuchlanishni hisoblash uchun dastlabki holatlar qanday aniqlanadi?

---

---

## ADABIYOTLAR

1. Электрические системы. Электрические сети: Учебное пособие для вузов/Под ред. В.А.Веникова и В.А.Строева. — М.: Высшая школа, 1998, 512 с.
2. Электрические системы в примерах и иллюстрациях/Под ред. В.А.Строева. — М.: Высшая школа, 1999, — 352 с.
3. Лыкин А.В. Электрические системы и сети. Учебное пособие. — М.: Изд. Логос, 2008, 254 с.
4. Москаленко А.В. Электрические сети и системы: — М.: Изд. ГОУ УМЦ ЖДТ, 2007, 252 с.
5. G'oyibov T.Sh. Elektr tarmoqlari va tizimlari. Misol va masalalar to'plami./o'quv qo'llanma. — Toshkent, ToshDTU, 2006. 161 b.
6. Электротехнический справочник: Т. 3, Производство и распределение электрической энергии./ Под общ. ред. профессоров МЭИ. — М.: Энергоатомиздат, 2004, 880 с.
7. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ/Под редакцией И.Т. Горюнова, А.А. Любимова — М.: Папирус Про, 2003, 640 с.
8. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989, — 592 с.
9. Karimov X.G., Rasulov A.N. Elektr tarmoqlari va sistemalari. O'quv qo'llanma. 1-qism. — Toshkent: ToshDTU, 1996. — 165 b.
10. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. — Ташкент: Молия, 1999, 370 с.
11. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под общей ред. Ю.Н.Руденко и В.А.Семенова. — М.: Издательство МЭИ, 2000. — 648 с.
12. Электрические сети и системы./Н.Б.Буслова и др./Под ред. Г.И.Денисенко. — Киев: Вища школа, 1986. — 452 с.
13. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей: Учебное пособие для студентов электроэнергетических специальностей вузов./Под ред. В.М.Блок. — М.: Высшая школа, 1990, 383 с.
14. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование: Учеб.пособие для вузов. - 2-е изд. — Мн.: Выш.шк., 1988, 308 с.
15. Справочник по проектированию электроэнергетических систем./Под ред. С.С.Рокотяна и И.М.Шапиро. — М.: Энергия, 1985., 350 с.
16. Блок В.М. Электрические сети и системы. — М.: Высшая школа, 1986., 430 с.
17. Боровиков В.А., Косарев В.К., Ходот Г.А. Электрические сети энергетических систем./Учебник для техникумов. — Л.: „Энергия“, 1977.

---

---

## MUNDARIJA

<b>Kirish</b> .....	3
<b>1. Elektr tarmoqlari va tizimlarining tuzilmasi</b> .....	7
1.1. Asosiy tushuncha va ta'riflar.....	7
1.2. Turli kuchlanishli elektr tarmoqlari neytrallarining holatlari .....	9
1.3. Elektr uzatish liniyalarining konstruktiv elementlari.....	12
1.4. Kabellar va kabel liniyalarining tuzilishi.....	23
<b>2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlari</b> .....	29
2.1. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarining parametrlari.....	29
2.2. Liniyalarning aktiv qarshiliklari.....	30
2.3. Liniyalarning induktiv qarshiliklari.....	32
<b>3. Elektr tarmoqlarini texnik-iqtisodiy jihatdan hisoblash</b> .....	36
3.1. Asosiy tushunchalar.....	36
3.2. Liniyalarda quvvat va energiya isroflari.....	37
3.3. Transformatorlarda quvvat va energiya isroflari.....	43
3.4. Elektr tarmog'ining asosiy texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari.....	44
3.5. Elektr tarmoq variantlarini texnik-iqtisodiy jihatdan taqqoslash.....	46
3.6. Elektr tarmog'i variantini ishonchlilik darajasini hisobga olib tanlash.....	48
3.7. Nominal kuchlanishni tanlash.....	50
3.8. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash.....	53
3.9. Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini iqtisodiy intervallar usulida tanlash.....	57
3.10. Liniya o'tkazgichining kesim yuzasini kuchlanishning ruxsat etilgan isrofi bo'yicha tanlash.....	58
3.11. Liniyaning tanlangan o'tkazgichlarini qizish shartlari bo'yicha tekshirish.....	61
<b>4. Ochiq elektr tarmoqlarini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash</b> .....	65
4.1. Mahalliy elektr tarmoqlarining liniyalarida ruxsat etilgan kuchlanish isroflari.....	65
4.2. Oxiriga yuklama ulangan uch fazali tok liniyasini kuchlanish isrofi bo'yicha hisoblash.....	68
4.3. Bir nechta yuklamaga ega bo'lgan uch fazali tok liniyalarini hisoblash.....	73
<b>5. Yopiq mahalliy elektr tarmoqlarini hisoblash</b> .....	78
5.1. Asosiy ta'riflar va qo'llanilish sohasi .....	78

5.2. Ikki tomondan ta'minlanuvchi liniyalarni hisoblash.....	80
<b>6. Mahalliy elektr tarmoqlarini loyihalash .....</b>	<b>85</b>
6.1. Yuklamalarni aniqlash va ta'minlash manbalarini tanlash.....	85
6.2. Elektr tarmog'ining kuchlanishini tanlash.....	90
6.3. Elektr tarmoqlarining sxemalari.....	91
<b>7. Ta'minlovchi elektr tarmoqlari elementlarining sxemalari va parametrlari .....</b>	<b>96</b>
7.1 Elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari va parametrlari.....	96
7.2. Elektr uzatish liniyalarini II-simon sxemasi bo'yicha hisoblash.....	101
7.3. Oxirida yuklama quvvati berilgan liniyani hisoblash.....	103
7.4. Elektr uzatish liniyasida kuchlanish pasayishi va kuchlanish isrofi.....	106
7.5. Ikki va uch chulg'amli transformatorlarning almashtirish sxemalari va parametrlari.....	108
<b>8. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarini hisoblash.....</b>	<b>118</b>
8.1. Asosiy tushuncha va ta'riflar.....	118
8.2. Bir nechta yuklamaga ega bo'lgan ochiq elektr tarmoqlarini hisoblash.....	119
8.3. Bitta yoki bir nechta elektr stansiyalariga ega bo'lgan oddiy yopiq elektr tarmoqlarini hisoblash.....	123
<b>9. Energetika tizimida elektr tarmoqlarining ish holatlari.....</b>	<b>125</b>
9.1. Elektr tizimining ish holatlari haqida umumiy ma'lumotlar	
9.2. Elektr tarmoqlarida kuchlanishni rostdash.....	128
9.3. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiyalarda rostdash.....	131
9.4. Kuchlanishni tarmoqning reaktiv qarshiligini kompensatsiyalab rostdash.....	134
9.5. Kuchlanishni reaktiv quvvatni kompensatsiyalab rostdash.....	137
9.6. Elektr energetika tizimida aktiv quvvat balansi va uning chastota bilan bog'liqligi.....	139
9.7. Turbinalarning aylanish chastotasini rostdash.....	141
<b>10. Havodagi elektr uzatish liniyalarining mexanik qismlari .....</b>	<b>144</b>
10.1. Havodagi elektr uzatish liniyalarining mexanik qismlarini hisoblashning mohiyati.....	144
10.2. Havo liniyalarining shikastlanish sabablari.....	147
10.3. Havo liniyalarining o'tkazgich va troslariga ta'sir qiluvchi solishtirma mexanik yuklamalar.....	149
10.4. Oraliqda o'tkazgichning holat tenglamasi. Turli sharoitlarda o'tkazgichlardagi mexanik kuchlanishlarni aniqlash.....	152
10.5 Kritik oraliq uzunligi.....	153
10.6. Ruxsat etilgan kuchlanishlar va o'rtacha yillik sharoit bo'yicha hisoblash.....	155
<b>Adabiyotlar .....</b>	<b>157</b>

31.279  
G99  
G'oyibov, T. Sh.

**Elektr tarmoqlari va tizimlari:** Kasb-hunar kollejlari uchun darslik / T.Sh. G'oyibov; O'zR oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi. —T.: Voris-nashriyot, 2010. 160 b.

ББК 31.279я722+31.211я722

**To'liq Shernazarovich G'oyibov**

## **ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI**

*Kasb-hunar kollejlari uchun darslik*

„VORIS-NASHRIYOT“  
Toshkent — 2010

Muharrir *O'. Husanov*  
Badiiy muharrir *Sh. Xo'jayev*  
Musahhih *O'. Husanov*  
Kompyuterda sahifalovchi *D. Hamidullayev*

Bosishga ruxsat etildi 7.09.2010. Bichimi 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub> „Times TAD“ garniturası.  
Ofset bosma usulida bosildi. Shartli b.t. 10,0. Nashr b.t.8,8. Adadi 638 dona.  
Buyurtma № 312.

«Niso poligraf» ShK da chop etildi, Toshkent-182, H. Boyqaro-41.